

OLIMPIADA DE CHIMIE
etapa județeană/municipiului București
20 martie 2022
Clasa a XII-a

- Pentru rezolvarea cerințelor veți utiliza Tabelul periodic, care se găsește la sfârșitul variantei de subiecte.
- Timpul de lucru efectiv este de trei ore.

Subiectul I

25 de puncte

În contextul încălzirii globale, datorată în mare parte emisiilor de dioxid de carbon, tot mai mulți oameni vorbesc despre necesitatea adoptării unor măsuri care să ducă la scăderea acestor emisii.

a) Comparând masa de CO_2 , exprimată în mg, emisă pentru generarea a 1 kJ de căldură, stabilește care dintre cele două metode de încălzire, cu centrală termică clasică pe gaz metan, cu temperatura gazelor la evacuare de peste 110°C sau cea cu încălzire centralizată pe bază de cărbune, ar fi de preferat în contextul încălzirii globale.

b) De câțiva ani a fost interzisă instalarea centralelor termice clasice și recomandată instalarea de centrale termice cu condensare, care au temperatura gazelor la evacuare de $50\text{--}60^\circ\text{C}$. Explică de ce aceste centrale sunt mai eficiente și calculează cu cât poate crește eficiența termică a acestor centrale, exprimată prin procentul de căldură câștigată suplimentar prin condensarea vaporilor de apă.

c) În medie, un adult consumă, în timpul unui duș, 60 L de apă caldă la temperatura de 40°C , încălzită de la temperatura exterioară. Camera în care locuiește adultul, bine izolată, are pierderi de căldură direct proporționale cu diferența de temperatură dintre mediul ambiental și cel exterior și se situează undeva la aproximativ $p = 30 \text{ J}/(\text{K}\cdot\text{s})$. Câte ore s-ar putea menține constantă temperatura de 22°C în cameră, folosind aceeași cantitate de combustibil ca în timpul unui duș, temperatura medie exterioară fiind de 10°C ?

d) Un combustibil mai deosebit este hidrazina. Aceasta se folosește cu succes la propulsia rachetelor în combinație cu apa oxigenată (95%) ca agent oxidant. Scrie ecuațiile semi-reacțiilor redox și ecuația reacției globale, știind că produsul de oxidare este acidul azotic.

Se consideră că efectul termic al reacțiilor este independent de temperatură, iar cărbunele conține 80% C, restul substanțe necombustibile. Se neglijează căldura absorbită de substanțele necombustibile.

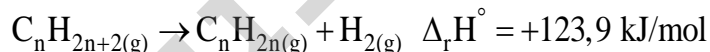
Se cunosc următoarele date termochimice: $\Delta_f H^\circ_{\text{CO}_2(\text{g})} = -393,5 \text{ kJ/mol}$, $\Delta_f H^\circ_{\text{CH}_4(\text{g})} = -74,8 \text{ kJ/mol}$,

$\Delta_f H^\circ_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})} = -241,8 \text{ kJ/mol}$, $\Delta_{\text{vap}} H^\circ_{\text{H}_2\text{O}(\text{l})} = 44 \text{ kJ/mol}$, $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4,186 \text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$, $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ g/mL}$

Subiectul al II-lea

25 de puncte

A. Pentru a se obține căldura necesară dehidrogenării unui alcan A, o parte din acesta de arde. Ecuația termochimică corespunzătoare procesului de dehidrogenare este:



a) determină formula moleculară a alcanului A, știind că puterea calorică inferioară a acestuia este $q_i = 91,241 \text{ MJ/m}^3$;

b) calculează procentul de alcan A care trebuie ars pentru a se asigura căldura necesară dehidrogenării;

c) aranjează hidrocarburile implicate în procesul de dehidrogenare în ordinea crescătoare a stabilității lor.

Se cunosc următoarele date termochimice:

$\Delta_f H^\circ_{\text{C}_n\text{H}_{2n+2(\text{g})}} = -103,9 \text{ kJ/mol}$, $\Delta_f H^\circ_{\text{CO}_2(\text{g})} = -393,5 \text{ kJ/mol}$, $\Delta_f H^\circ_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})} = -241,8 \text{ kJ/mol}$

10 puncte

B. În scopul determinării entalpiei de hidratare a CuSO_4 la formarea cristalohidratului $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}(\text{s})$, se dizolvă 3,2 g CuSO_4 anhidru în 289,8 g de H_2O , constatându-se că se degajă 318 cal, la 291 K și 1 atm. În aceleași condiții de temperatură și de presiune, se dizolvă 2,5 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ în x g de H_2O și se constată că se absorb 28 cal.

a) calculează valoarea numerică a lui x , astfel încât să fie posibilă determinarea entalpiei de hidratare a CuSO_4 la cristalohidratul $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$;

b) determină entalpia de hidratare, exprimată în kcal/mol, pentru formarea $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}(\text{s})$ din $\text{CuSO}_4(\text{s})$ și $\text{H}_2\text{O}(\ell)$, la 291 K și 1 atm.

8 puncte

C. O probă de 437,5 mL soluție de acid sulfuric, de concentrație 70% ($\rho = 1,6 \text{ g/mL}$), se prepară prin barbotarea trioxidului de sulf în apă.

Determină căldura degajată la prepararea soluției acide, știind că, în condiții standard, atunci când se dizolvă 1 mol de H_2SO_4 în n mol apă, căldura degajată este dată de relația:

$$Q = \frac{74,8 \cdot n}{1,8 + n} \text{ kJ/mol}.$$

Se cunosc efectele termice ale următoarelor procese:



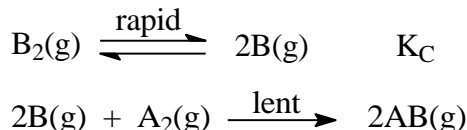
7 puncte

Subiectul al III-lea

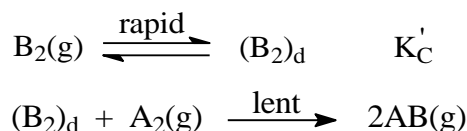
20 de puncte

Pentru o reacție chimică, legea vitezei se poate deduce din mai multe mecanisme posibile. Pentru reacția $\text{A}_2(\text{g}) + \text{B}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{AB}(\text{g})$, legea vitezei stabilită experimental, este: $v = k \cdot [\text{A}_2] \cdot [\text{B}_2]$. Inițial, s-a crezut că reacția de mai sus este o reacție dimoleculară simplă, dar ulterior au fost luate în considerare mai multe mecanisme posibile.

Mecanism (1):



Mecanism (2):



în care $(\text{B}_2)_d$ reprezintă o stare disociativă a moleculei B_2 .

Se cer:

a) știind că etapa determinantă de viteză este etapa lentă, stabilește care dintre mecanismele propuse este în concordanță cu legea vitezei stabilită experimental;

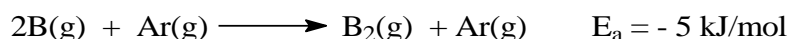
b) Pentru reacția dată, constantele de viteză la două temperaturi sunt date în tabelul de mai jos:

T (K)	k ($\text{mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{s}^{-1}$)
373, 15	10^{-14}
473, 15	10^{-9}

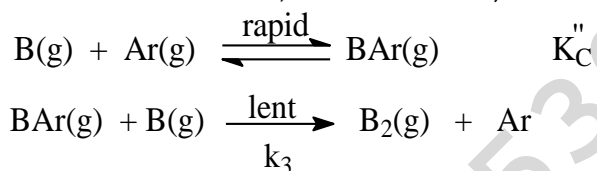
1) calculează energia de activare, E_a , a reacției date;

2) știind că energia de disociere a moleculei B_2 în atomi este 130 kJ/mol, explică de ce, în fiecare mecanism propus, etapa a doua este determinantă de viteză.

c) Energia de activare poate și negativă. Un exemplu îl constituie recombinarea, în fază gazoasă, a atomilor de B în prezența argonului:



Unul dintre mecanismele propuse pentru această reacție este:



unde BAr este o specie chimică foarte slab legată.

Folosind ecuația lui Arrhenius și relațiile $\Delta_r G_T^\circ = -RT \cdot \ln K_C = \Delta_r H^\circ - T \cdot \Delta_r S^\circ$, găsește o explicație posibilă pentru care energia de activare a procesului de recombinare a atomilor B în argon este negativă.

Subiectul al IV-lea

30 de puncte

A. O soluție care conține ioni Sn^{2+} este titrată potențiometric cu o soluție care conține ioni Fe^{3+} . Se cere:

- scrie ecuația reacției chimice care are loc la titrare;
- calculează variația entalpiei libere standard a acesteia;
- determină constanta de echilibru, K_C , a reacției care are loc la titrare.

Se cunosc potențialele de reducere standard:

$$\varepsilon_{\text{Sn}^{4+}|\text{Sn}^{2+}}^0 = 0,154 \text{ V}, \varepsilon_{\text{Fe}^{2+}|\text{Fe}}^0 = -0,44 \text{ V}, \varepsilon_{\text{Fe}^{3+}|\text{Fe}}^0 = -0,036 \text{ V}$$

9 puncte

B. 10 mL de soluție Sn^{2+} , de concentrație 0,1 M, se titrează cu o soluție de Fe^{3+} , de concentrație 0,2 M. În soluție se cufundă un electrod de platină, iar ca electrod de referință se folosește electrodul de calomel saturat (ECS), legat la borna negativă a voltmetrului. Se cer:

- calculează forța electromotoare a pilei obținute:
 - la punctul de echivalență;
 - când s-au adăugat 15 mL de soluție de Fe^{3+} 0,2 M;
- scrie ecuațiile semireacțiilor și ecuația reacției generatoare de curent electric când s-au adăugat 15 mL de soluție de Fe^{3+} 0,2 M;
- reprezintă simbolic pila electrică când s-au adăugat 15 mL de soluție de Fe^{3+} 0,2 M.

Se cunosc potențialele de reducere standard:

$$\varepsilon_{\text{Sn}^{4+}|\text{Sn}^{2+}}^0 = 0,154 \text{ V}, \varepsilon_{\text{Fe}^{2+}|\text{Fe}}^0 = -0,44 \text{ V}, \varepsilon_{\text{Fe}^{3+}|\text{Fe}}^0 = -0,036 \text{ V}, \varepsilon_{\text{ECS}}^0 = 0,242 \text{ V}$$

13 puncte

C. Titrarea iodometrică este o metodă analitică de determinare cantitativă a ionilor Cu^{2+} dintr-o soluție.

În reacția care are loc, ionii Cu^{2+} sunt reduși la ioni Cu^+ de către ionii I^- . Iodul pus în libertate este apoi titrat cu o soluție de tiosulfat de sodiu. Se cere:

- scrie ecuația reacției redox care are loc la titrarea iodometrică;
- calculează forța electromotoare standard a reacției redox care are loc.

Se cunosc:

- potențialele de reducere standard: $\varepsilon_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}^+}^0 = 0,153 \text{ V}, \varepsilon_{\text{I}_2|\text{I}^-}^0 = 0,535 \text{ V}$

- produsul de solubilitate al CuI, la 25 °C, $K_{s\text{CuI(s)}} = 1,1 \cdot 10^{-12}$

8 puncte

Informații:

1) Pentru procesul de reducere $ox + ne^- \rightarrow red$, ecuația lui Nernst, la 25 °C, este:

$$\varepsilon_{ox|red} = \varepsilon_{ox|red}^{\circ} + \frac{0,059}{n} \lg \frac{[ox]}{[red]}, \text{ unde } [ox] - \text{concentrația molară a formei oxidate, } [red] - \text{concentrația}$$

molară a formei reduse, $\varepsilon_{ox|red}$ - potențialul de reducere, $\varepsilon_{ox|red}^{\circ}$ - potențialul de reducere standard;

2) $\Delta_r G_T^{\circ} = \Delta_r H_T^{\circ} - T \cdot \Delta_r S_T^{\circ}$, unde $\Delta_r G_T^{\circ}$ - entalpia liberă de reacție standard la temperatura T, $\Delta_r H_T^{\circ}$ - entalpia de reacție standard la temperatura T, $\Delta_r S_T^{\circ}$ - variația de entropie care însoțește reacția chimică.

$\Delta_r G_T^{\circ} = -nFE^{\circ}$, unde n - numărul de electroni implicați în reacția redox, F - numărul lui Faraday, E° - forța electromotoare standard a unei reacții redox.

$\Delta_r G_T^{\circ} = -RT \cdot \ln K_C$, unde K_C - constanta de echilibru, exprimată folosind concentrații molare.

3) La apariția unui precipitat $X_m Y_n$ într-o soluție, se stabilește un echilibru între faza solidă și soluție

care poate fi redat prin ecuația: $X_m Y_{n(s)} \rightleftharpoons mX_{(aq)}^{n+} + nY_{(aq)}^{m-}$. Echilibrul este caracterizat prin

produsul de solubilitate al compusului $X_m Y_n$: $K_s (X_m Y_n) = [X^{n+}]^m \cdot [Y^{m-}]^n$.

4) constanta universală a gazelor: $R = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

5) numărul lui Avogadro: $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

6) numărul lui Faraday: $F = 96485 \text{ C/mol}$

7) $1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$

S U C C E S !

Subiecte elaborate, selectate și prelucrate de:

Iuliana Shajaani, Colegiul Național "Sf. Sava", București

Valeria Teoteoi, Colegiul Național "Tudor Vladimirescu", Tg. Jiu

Alexandru Sava, Liceul Tehnologic "Ferdinand I", Curtea de Argeș

Vasile Sorohan, Colegiul Național "Costache Negruzzi", Iași

ANEXA: TABELUL PERIODIC AL ELEMENTELOR

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1A	2A											3A	4A	5A	6A	7A	8A
1 H 1.008	2 He 4.003											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
3 Li 6.941	4 Be 9.012											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
11 Na 22.99	12 Mg 24.31	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B	9 8B	10 8B	11 1B	12 2B						
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.97	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.95	43 Tc (98)	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (263)	107 Bh (262)	108 Hs (265)	109 Mt (266)	110 Ds (281)	111 Rg (272)	112 Cn (285)	113 Nh (286)	114 Fl (289)	115 Mc (289)	116 Lv (293)	117 Ts (294)	118 Og (294)

58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (145)	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0
90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)