



CONCURSUL DE CHIMIE „ICHEMIST”

6 mai 2017

Clasa a IX-a

Problema I. Armura lui Iron Man (38p)

Titanul este metalul cel mai frecvent utilizat pentru repararea corpului, fie în șuruburi sau plăci pentru a ține oasele împreună, fie în ancorarea membrilor protetice în corp.

Până anul trecut, aliajul de aur-titan pe care Tony Stark l-a inventat pentru a construi armurile lui Iron Man erau o ficțiune. În 2016, o echipă de cercetători a anunțat crearea unui aliaj Ti-Au de patru ori mai rezistent decât titanul pur, care prelungește durata de viață a implanturilor, în general acestea fiind înlocuite din cauza uzurii odată la 10 ani. Titanul și aurul sunt netoxice, bio-compatibile și rezistente la coroziune în interiorul corpului. Titanul are, de asemenea, proprietatea rară de „*osseointegrație*”, care permite osului să se dezvolte ferm și să se atașeze de implant.

1. Determinați raportul atomic Ti:Au din acest aliaj, știind că partea de masă a titanului este de 42,23%. (3p)

Rezolvare: Dacă presupunem că masa aliajului este 100 g → $m(\text{Ti})=42,23 \text{ g}$ → $m(\text{Au})=100 \text{ g} - 42,23 \text{ g}=57,77 \text{ g}$
 $v(\text{Ti})= 42,23 \text{ g}:48 \text{ g/mol}= 0,8798 \text{ mol}$, $v(\text{Au})=57,77 \text{ g}:197 \text{ g/mol}= 0,293 \text{ mol}$
 → $v(\text{Ti}):v(\text{Au})=0,8798:0,293=3:1$.

Răspuns: Ti:Au= 3:1.

Ilmenitul este cel mai important mineral pentru obținerea titanului. El conține fier, titan și oxigen în raport de masă de 7:6:6.

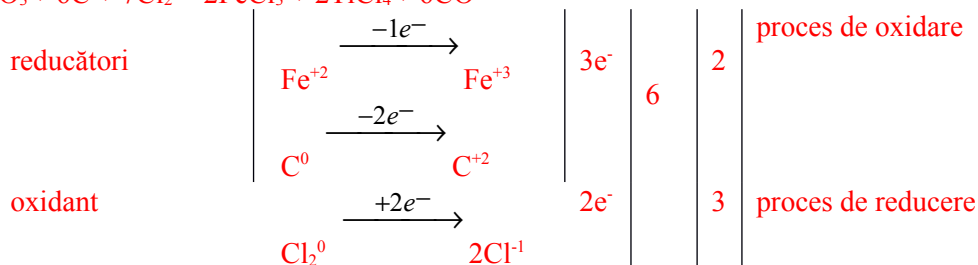
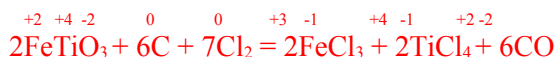
2. Determinați formula moleculară a minereului numit *ilmenit*. (4p)

Rezolvare: $m(\text{Fe}):m(\text{Ti}):m(\text{O})=7:6:6$. Considerăm masele fiecărui element egale cu valorile raportului dat, exprimate în grame. → $v(\text{Fe})= 7 \text{ g}:56 \text{ g/mol}=0,125 \text{ mol}$, $v(\text{Ti})= 6 \text{ g}:48 \text{ g/mol}=0,125 \text{ mol}$, $v(\text{O})= 6 \text{ g}:16 \text{ g/mol}=0,375 \text{ mol}$ → raportul molar Fe:Ti:O= 0,125:0,125:0,375 =1:1:3.

Răspuns: formula *ilmenitului* este FeTiO_3 .

Pentru producerea titanului, în prima etapă *ilmenitul* este redus la 900 °C cu **carbon**, într-un curent de clor, în urma acestui proces obținându-se un amestec de cloruri metalice și monoxid de carbon. Impuritățile sunt separate prin distilare, dat fiind faptul că TiCl_4 este una dintre puținele halogenurile metalice aflată în stare de agregare lichidă la temperatura camerei.

3. Scrieți ecuația reacției de obținere a TiCl_4 și egalați-o prin metoda bilanțului electronic, știind că al doilea metal din compoziția *ilmenitului* formează o clorură trivalentă. (5p)



4. Indicați rolul *ilmenitului* în procesul redox. (1p)

FeTiO_3 are rol de reducător.

5. Starea de agregare lichidă a TiCl_4 se explică prin faptul că: (*încercuțiți litera/literele corespunzătoare răspunsului corect*) (1p)

- a. titanul este un metal ușor fuzibil;
 b. substanța are o structură moleculară similară cu CCl_4 ;
 c. există o diferență mică de electronegativitate dintre titan și clor.

6. Calculați cum se modifică presiunea gazelor în procesul reducerii *ilmenitului* ($P_{\text{final}} \cdot P_{\text{inițial}}$). (3p)

Rezolvare: $2\text{FeTiO}_{3(s)} + 6\text{C}_{(s)} + 7\text{Cl}_{2(g)} = 2\text{FeCl}_{3(s)} + 2\text{TiCl}_{4(s)} + 6\text{CO}_{(g)}$

Se observă că doar Cl_2 și CO sunt gaze în condiții normale, deci reacția are loc cu contracție de volum: din 7 mol Cl_2 rezultă 6 mol CO . Presiunea este direct proporțională cu volumul gazelor, astfel raportul presiunilor va fi egal cu raportul molar de gaze. $P_{\text{final}}:P_{\text{inițial}} = v_{(\text{final gaze}):v_{(\text{inițial gaze})}}=6\text{mol}:7 \text{ mol}=0,86$. Deci, presiunea scade.

Răspuns: $P_{\text{final}}:P_{\text{inițial}}= 0,86$.

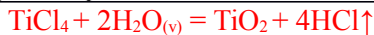
În contact cu aerul umed, clorura de titan (TiCl_4) formează nori opaci spectaculoși, datorită acestei interacțiuni substanța a fost utilizată un timp pentru producerea fumigenelor. Fumul alb este cel mai stabil oxid de titan, întâlnit și în natură în minereul numit *rutil*.

7. Determinați formula oxidului de titan, știind că are un conținut de 40% oxigen. (3p)

Rezolvare: Presupunem că masa oxidului de titan este 100 g. $\rightarrow m(\text{O})=40 \text{ g} \rightarrow m(\text{Ti})=100 \text{ g} - 40 \text{ g} = 60 \text{ g}$.
 $v(\text{Ti})= 60 \text{ g}:48 \text{ g/mol}= 1,25 \text{ mol}$, $v(\text{O})=40 \text{ g}:16 \text{ g/mol}= 2,5 \text{ mol} \rightarrow v(\text{Ti}):v(\text{O})=1,25:2,5=1:2$.

Răspuns: oxidul este: TiO_2 .

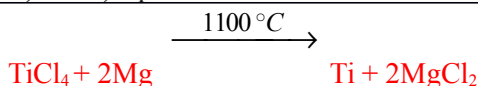
8. Scrieți ecuația reacției cu vaporii de apă din aer. Argumentați, pe scurt, motivul pentru care s-a renunțat la producerea fumigenelor prin această metodă. (3p)



Renunțarea la producerea acestor fumigene se datorează produsului secundar, HCl, clorura de hidrogen, un gaz foarte toxic, care la dizolvare în apă formează soluție de acid clorhidric.

Producția mondială de titan este de aproximativ 250.000 de tone pe an. Principala metodă de obținere are la bază procedeul Kroll, care constă în reducerea clorurii de titan cu magneziu, la temperatura de 1100°C . Magneziul este introdus în exces de 20%. Puritatea metalului obținut este de 99,2%.

9. Scrieți ecuația procesului de reducere a clorurii de titan. (2p)



10. Calculați raportul de masă al materiilor prime ($\text{TiCl}_4:\text{Mg}$), necesare pentru o zi de producție, dacă se știe că randamentul total al procesului de producție este de 85%. (8p)

Rezolvare: 1 an = 365 zile, $250000 \text{ t} : 365 \text{ zile} = 684,93 \text{ t Ti}_{\text{impur}}/\text{zi}$.

$$m(\text{Ti}_{\text{pur}}) = m(\text{Ti}_{\text{impur}}) \cdot 0,992 = 684,93 \text{ t} \cdot 0,992 = 679,45 \text{ t}$$

$$m_{\text{practică}}(\text{Ti}) = 679,45 \text{ t} \rightarrow m_{\text{teoretică}}(\text{Ti}) = m_{\text{practică}}(\text{Ti}) \cdot 100\% / 85\% = 679,45 \cdot 100\% / 85\% = 799,35 \text{ t}$$

$$v(\text{Ti}) = m/M = 799,35 \text{ t} : 48 \text{ g/mol} = 16,6532 \cdot 10^6 \text{ mol}$$

Conform ecuației reacției $v(\text{Ti}) = v(\text{TiCl}_4)$, deoarece raportul molar este de 1:1, iar $v(\text{Mg}) = 2 v(\text{Ti})$

$$v(\text{TiCl}_4) = 16,6532 \cdot 10^6 \text{ mol}, m(\text{TiCl}_4) = v \cdot M = 16,6532 \cdot 10^6 \text{ mol} \cdot 190 \text{ g/mol} = 3164,108 \cdot 10^6 \text{ g} = 3164,108 \text{ t}$$

$$v(\text{Mg}) = 2 \cdot 16,6532 \cdot 10^6 \text{ mol} = 33,3064 \cdot 10^6 \text{ mol}, m(\text{Mg}) = v \cdot M = 33,3064 \cdot 10^6 \text{ mol} \cdot 24 \text{ g/mol} = 799,3536 \cdot 10^6 \text{ g} = 799,3536 \text{ t}$$

Deoarece Mg se introduce în exces de 20%, masa de magneziu calculat reprezintă doar 80% din magneziu introdus.

$$m(\text{Mg}_{\text{introdus}}) \cdot 100\%$$

$$799,3536 \text{ t} \cdot 80\% \rightarrow m(\text{Mg}_{\text{introdus}}) = 799,3536 \text{ t} \cdot 100\% / 80\% = 999,192 \text{ t}$$

Raportul de masă al materiilor prime va fi $\text{TiCl}_4:\text{Mg} = 3164,108 \text{ t}:999,192 \text{ t} = 3,167:1$

Răspuns: $m(\text{TiCl}_4):m(\text{Mg}) = 3,167:1$

Titanul, la fel ca și magneziul, cristalizează într-o rețea cristalină hexagonal compactă (vezi fig.1). Lungimea laturii hexagonului (a) este de 295,1 pm, iar înălțimea (h) are 469,7 pm. ($1\text{pm} = 10^{-12}\text{m}$,

$$\sqrt{3}/2$$

$$V_{\text{prismă hexagon}} = 3a^2 \cdot h$$

11. Calculați densitatea titanului. (5p)

Rezolvare: Analizând fig.b se observă că în prismă hexagonală se conțin: 12 atomi în colțurile celor 2 hexagoane, 2 atomi în centrul lor și 3 atomi interstițiali. La fiecare din cei 12 atomi doar 1/6 se găsește în interiorul prisme, iar la cei 2 atomi din centru doar 1/2 e în interior.

Așadar prismă conține $12 \cdot 1/6 + 2 \cdot 1/2 + 3 = 6$ atomi de Ti.

$$m = 6 \cdot m_{\text{atom Ti}} = (6 \text{ atomi} \cdot 48 \text{ g/mol}) : 6,022 \cdot 10^{23} \text{ atomi/mol} = 47,8246 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$

$$V_{\text{cub}} = \frac{3}{2} a^2 \cdot h \cdot \sqrt{3} = \frac{3}{2} 295,1^2 \cdot 469,7 \cdot \sqrt{3} \text{ pm}^3 = 106,27 \cdot 10^6 \text{ pm}^3 = 106,27 \cdot 10^6 \cdot 10^{-36} \text{ m}^3 = 106,27 \cdot 10^{-30} \text{ m}^3$$

$$\rho = m/V = 47,8246 \cdot 10^{-26} \text{ kg} : 106,27 \cdot 10^{-30} \text{ m}^3 = 0,45 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^3 = 4500 \text{ kg/m}^3$$

Răspuns: $\rho(\text{Ti}) = 4500 \text{ kg/m}^3$

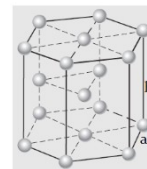


Fig. 1

Problema II. Supraviețuirea lui James Bond (34p)

În filmul „Diamonds are forever”, personajul negativ Blodfeld îl blochează pe James Bond într-o țevă închisă ermetic. În problema următoare vă propunem să analizați șansele de supraviețuire ale lui Bond. Pentru determinarea presiunii gazelor din aer, vom folosi legea lui Dalton, sau legea presiunilor parțiale, în care se menționează că, la o temperatură constantă, presiunea unui amestec de gaze este suma presiunilor parțiale ale gazelor componente. Presiunea parțială se calculează ca produsul dintre presiunea totală și partea de volum a gazului în amestec.

Porțiunea de țevă în care este închis Bond are volumul de $2,5 \text{ m}^3$, iar presiunea inițială a aerului aflat în ea este de cca 1 bar (100 kPa).

1. Cunoscând procentul de volum al oxigenului în aer (21%), aflați cantitatea de oxigen și presiunea sa parțială la momentul blocării lui Bond? (2p)

Rezolvare: $V(\text{O}_2) = 21\% \cdot 2,5 \text{ m}^3 / 100\% = 0,525 \text{ m}^3 = 525 \text{ L}$

Considerând temperatura obișnuită de 25°C pentru a determina cantitatea de oxigen, se calculează valoarea volumului molar la această temperatură, cu ajutorul relației: $PV/T = P_0V_0/T_0$. $P = P_0$, $T = 293K$, $T_0 = 273K \rightarrow$

$V_{m(20^\circ C)} = V_0 \cdot T/T_0 = 22,4 \text{ L/mol} \cdot 298K/273K = 24,451 \text{ L/mol}$ (această valoare o vom folosi și în calculele următoare, dat fiind faptul că reacțiile au loc la temperatura obișnuită).

$\rightarrow v(O_2) = V : V_m = 525 \text{ L} : 24,452 \text{ L/mol} = 21,471 \text{ mol}$

$p(O_2) = x \cdot P_{\text{total}}$ ($x =$ fracția molară = procentul de volum al O_2), $p(O_2) = 0,21 \cdot P_{\text{total}} = 0,21 \cdot 100 \text{ kPa} = 21 \text{ kPa}$

Răspuns: $v(O_2) = 21,471 \text{ mol}$, $p(O_2) = 21 \text{ kPa}$

2. Considerând că aerul este format doar din azot și oxigen, calculați partea de masă a oxigenului aflat în aer. (4p)

Rezolvare: $V(N_2) = V_{\text{aer}} - V(O_2) = 2,5 \text{ m}^3 - 0,525 \text{ m}^3 = 1,975 \text{ m}^3 = 1975 \text{ L}$.

$v(O_2) = 21,471 \text{ mol}$, $v(N_2) = V : V_m = 1975 \text{ L} : 24,451 \text{ L/mol} = 80,774 \text{ mol}$.

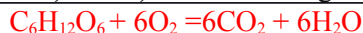
$m = v \cdot M \rightarrow m(O_2) = 21,471 \text{ mol} \cdot 32 \text{ g/mol} = 687,072 \text{ g}$, $m(N_2) = 80,774 \text{ mol} \cdot 28 \text{ g/mol} = 2261,672 \text{ g}$

$m(\text{aer}) = 687,072 \text{ g} + 2261,672 \text{ g} = 2948,744 \text{ g}$. $\omega(O_2) = 687,072 \text{ g} / 2948,744 \text{ g} = 0,2330 = 23,30\%$.

Răspuns: $\omega(O_2) = 23,30\%$

Prin procesul de respirație, Bond consumă oxigen pentru arderea glucozei din sânge ($C_6H_{12}O_6$).

3. Scrieți ecuația reacției de ardere a glucozei. (2p)



Un adult își pierde cunoștința când presiunea parțială a oxigenului coboară sub 0,1 bar. Se știe că într-un minut o persoană consumă, în medie, 12,5 mmol de oxigen.

4. Ce cantitate de oxigen se va găsi în aer în momentul în care Bond își pierde cunoștința? (4p)

Rezolvare: Deoarece $C_6H_{12}O_6$ este sub formă de soluție, iar cantitatea de H_2O în stare gazoasă se poate neglija la temperatura obișnuită, se observă că nu există variație a numărului de mol de gaz în reacție, (6 mol de O_2 consumați formează 6 mol de CO_2), deci $P_{\text{finală}}$ este egală cu $P_{\text{inițială}}$.

$\omega_{\text{limită}}(O_2) = P_{\text{limită}}(O_2) \cdot 100\% / P_{\text{inițial}} = 0,1 \text{ bar} \cdot 100\% / 1 \text{ bar} = 10\%$.

$V_{\text{limită}}(O_2) = V_{\text{aer}} \cdot \omega_{\text{limită}}(O_2) / 100\% = 2500 \text{ L} \cdot 10\% / 100\% = 250 \text{ L}$. $v(O_2) = 250 \text{ L} : 24,451 \text{ L/mol} = 10,224 \text{ mol}$.

Răspuns: $v(O_2) = 10,224 \text{ mol}$

5. Câte minute va fi conștient Bond? (1p)

Rezolvare: $v(O_2)_{\text{consumat}} = v(O_2)_{\text{total}} - v(O_2)_{\text{limită}} = 21,471 \text{ mol} - 10,224 \text{ mol} = 11,247 \text{ mol}$

$\Delta t = 11,247 \text{ mol} : 0,0125 \text{ mol/min.} = 899,76 \text{ min.}$

Răspuns: $\Delta t = 899,76 \text{ min.}$

Un alt pericol care îl paște pe Bond este acumularea de CO_2 , care la presiunea parțială de peste 0,15 bar produce sincopa cerebrală (leșinul).

6. Care este pericolul mai urgent: consumul de O_2 sau acumularea de CO_2 ? (6p)

Rezolvare: Deoarece $v(O_2)_{\text{consumat}} = v(CO_2)_{\text{degajat}}$, în același interval de timp, presiunile parțiale ale celor două gaze vor avea aceeași variație. Astfel, până la atingerea presiunii limită a O_2 de 0,1 bar se consumă 11,247 mol O_2 și se vorforma o cantitate egală de CO_2 . Deci, $p(CO_2)$ în acest moment este egală cu $p(O_2)$, adică 0,1 bar, așadar nu se atinge valoarea limită pentru CO_2 .

Răspuns: pericolul mai urgent este consumul de CO_2 .

În spațiile închise, cum sunt submarinele, se utilizează diferite substanțe pentru purificarea aerului.

7. Indicați formula unei substanțe care l-ar fi ajutat pe Bond să micșoreze acumularea de CO_2 . Scrieți ecuația reacției chimice dintre CO_2 și substanța propusă. (2p)

Formula chimică: Se pot propune diverse substanțe ca hidroxizi bazici alcalini sau peroxizi: $Ca(OH)_2$, CaO_2 etc.

Ecuația reacției: $Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$ sau $CaO_2 + CO_2 = CaCO_3 + O_2$, acest proces contribuind și la mărirea cantității de oxigen.

8. Ce masă de substanță ar fi necesară pentru a absorbi cantitatea de CO_2 eliminată timp de 10 minute? (3p)

Rezolvare: pentru $\Delta t = 10 \text{ min.}$ $v(O_2)_{\text{consumat}} = 10 \text{ min} \cdot 12,5 \text{ mmol/min} = 125 \text{ mmol} = 0,125 \text{ mol}$, deoarece conform reacției de ardere a glucozei $v(O_2)_{\text{consumat}} = v(CO_2)_{\text{degajat}} \rightarrow v(CO_2) = 0,125 \text{ mol}$

Din reacția propusă la punctul 7 $\rightarrow v(CO_2) = v(Ca(OH)_2) = 0,125 \text{ mol}$. Aceeași valoare se obține și pentru CaO_2 .

$m = v \cdot M \rightarrow m(Ca(OH)_2) = 0,125 \text{ mol} \cdot 74 \text{ g/mol} = 9,25 \text{ g}$ sau $m(CaO_2) = 0,125 \text{ mol} \cdot 72 \text{ g/mol} = 9,00 \text{ g}$

Răspuns: $m(Ca(OH)_2) = 9,25 \text{ g}$ sau $m(CaO_2) = 9,00 \text{ g}$

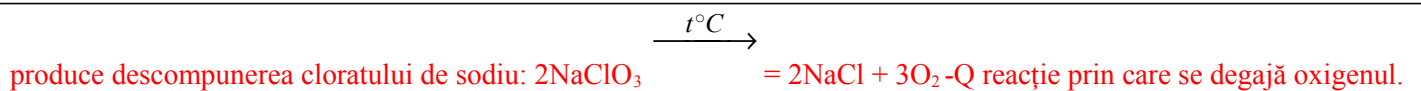
„Oxygen candles” (lumânările de oxigen) sunt dispozitive care pot asigura oxigenul necesar unei persoane adulte circa 6 ore. Ele sunt confecționate dintr-un amestec de clorat de sodiu ($NaClO_3$) și pilitură de fier. Prin aprinderea lumânării rezultă clorură de sodiu, oxid de fier (II) și se eliberează cca 3340 L de oxigen.

9. Scrieți ecuația reacției ce are loc la arderea lumânării. (2p)



10. Explicați principiul de funcționare al acestor lumânări. (2p)

Răspuns: la aprinderea lumânării are loc reacția: $2Fe + O_2 = 2FeO + Q$, căldura degajată prin arderea piliturii de fier



11. Determinați raportul de masă în care se amestecă pilitura de fier și cloratul de sodiu pentru producerea lumânărilor. (5p)

Rezolvare: Conform reacției de la punctul 9, $v(\text{O}_2) = v(\text{NaClO}_3) = v(\text{Fe})$.

Raportul molar $v(\text{NaClO}_3) : v(\text{Fe})$ fiind 1:1 → raportul de masă este egal cu raportul maselor molare:

$$m(\text{NaClO}_3) : m(\text{Fe}) = 106,5 : 56 = 1,9 : 1$$

Răspuns: $m(\text{NaClO}_3) : m(\text{Fe}) = 1,9 : 1$

12. Câte minute ar mai fi putut rezista Bond, fără să leșine, dacă ar fi avut asupra sa o astfel de lumânare? (1p)

Rezolvare: $V(\text{O}_2) = 3340 \text{ L}$, $v(\text{O}_2) = V : V_m = 3340 \text{ L} : 24,451 \text{ L/mol} = 136,599 \text{ mol}$

$$\Delta t = 136,599 \text{ mol} : 0,0125 \text{ mol/min} = 10927,97 \text{ min}$$

Răspuns: $\Delta t = 10927,97 \text{ min. (ceea ce corespunde la 7-8 zile!)}$

(problemă realizată în colaborare cu Valeriu Cemortan, masterand, Franța)

Total – 72 p