



LICEUL DE CREATIVITATE ȘI INVENTICĂ "PROMETEU-PRIM"
CONCURSUL DE CHIMIE „iChemist”
Ediția a V-a, 17 noiembrie 2018

CODUL
lucrării:

Clasa a X-a

Problema nr. 1 „Acidul boric” (50p)



Prezent în farmacia de acasă, acidul boric este binecunoscut, sub formă de soluție apoasă sau alcoolică, în special celor care au suferit de infecții ale urechilor. Substanță cristalină, de culoare albă, solubilă în apă, acidul boric se produce industrial tratând boraxul cu acidul sulfuric concentrat cu partea de masă de 98,2% ($\rho=1,84 \text{ g/cm}^3$). Boraxul este un cristalohidrat prezent în natură, utilizat de egipteni în antichitate la îmbălsămarea mumiilor, dar și la producerea glazurilor ceramice. Prin încălzire la 400°C , minereul pierde apa de cristalizare, masa lui scăzând cu 47,12%. Sarea anhidră rămasă conține 22,77% sodiu, 21,78% bor și oxigen.

1. Determinați formula moleculară a boraxului.

(9p)

Rezolvare: Presupunem că $m(\text{sare anhidră})=100\text{g}$; $m(\text{Na})=22,77 \text{ g}$, $m(\text{B})=21,78\text{g}$, $m(\text{O})=100\text{g}-22,77\text{g}-21,78\text{g}=55,45\text{g}$

$$v(\text{Na})=\frac{22,77\text{g}}{23 \text{ g/mol}}=0,99\text{mol}; v(\text{B})=\frac{21,78\text{g}}{1 \text{ g/mol}}=21,78\text{mol}; v(\text{O})=\frac{55,45\text{g}}{16 \text{ g/mol}}=3,466\text{mol}$$

$$v(\text{Na}): v(\text{B}): v(\text{O})=0,99:21,78:3,466=1:2:3,5=2:4:7 \Rightarrow \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$$

$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot x\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{400^\circ} \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + x\text{H}_2\text{O}$ Dacă masa cristalohidratului scade la încălzire cu 47,12%, înseamnă că acesta este procentul de apă, care se evaporă. $\Rightarrow \omega(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7)=52,88\%$

$M(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot x\text{H}_2\text{O})=202+18x$; $M(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7)=202$; masa de apă dintr-un mol de cristalohidrat este $18x$.

$$18x \dots\dots 47,12\%$$

$$202 \dots\dots 52,88\% \Rightarrow x=10$$

Răspuns: formula boraxului este: **$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$**

2. Scrieți ecuația reacției de producere industrială a acidului boric.

(2 p)

Ecuația reacției este: **$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{conc.}) = 4\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$**

3. Calculați ce volum de soluție de acid sulfuric se consumă pentru producerea a 500 kg acid boric cu puritatea de 95%.

(4 p)

Rezolvare: $m(\text{H}_3\text{BO}_3)_{\text{pur}}=0,95 \cdot 500 \text{ kg}=475 \text{ kg}$

Conform ecuației reacției: $98 \text{ g H}_2\text{SO}_4 \dots\dots\dots 4 \cdot 62 \text{ g H}_3\text{BO}_3$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) \dots\dots\dots 475 \text{ kg H}_3\text{BO}_3 \Rightarrow m(\text{H}_2\text{SO}_4)=187,7 \text{ kg}$$

$$m_{\text{sol.}}(\text{H}_2\text{SO}_4)=m(\text{H}_2\text{SO}_4):\omega(\text{H}_2\text{SO}_4)=187,7 \text{ kg}:0,982=191,142 \text{ kg}$$

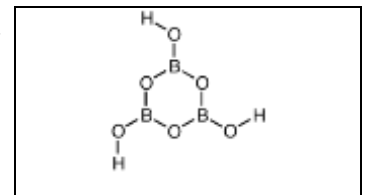
$$V_{\text{sol.}}(\text{H}_2\text{SO}_4)=m_{\text{sol.}}(\text{H}_2\text{SO}_4):\rho_{\text{sol.}}(\text{H}_2\text{SO}_4)=191,142 \text{ kg}:1,84 \text{ g/cm}^3=103,88 \text{ L}$$

Răspuns: **$V_{\text{sol.}}(\text{H}_2\text{SO}_4)=103,88 \text{ L}$**

La încălzirea acidului boric la temperatura de $80-100^\circ\text{C}$, acesta pierde apă formând acid metaboric ($\text{H}_3\text{B}_3\text{O}_6$).

4. Reprezentați formula de structură a acidului metaboric, știind că are o structură ciclică.

(2p)



5. Despre acidul metaboric se poate afirma: (Încercuiți litera/literele corespunzătoare unui răspuns corect.)

(2p)

a. conține 3 legături π ;

c. conține doar legături σ polare;

b. are o moleculă plană;

d. atomii de bor au structuri de octet.

La încălzirea acidului boric la temperatura de 235°C se formează oxidul de bor. Prin tratarea oxidului de bor cu hidrura volatilă a unui nemetal cu configurația $\dots ns^2 np^5$, se produce gazul incolor X și apă. Prin reacția gazului X cu hidrura de litiu se obține un compus Z și un alt gaz, Y. Compusul Z conține litiu și bor în cantități egale și 4 ori mai mult nemetal. Gazele X și Y sunt compuși binari, densitatea lui Y în c.n. egală cu $1,25 \text{ g/L}$, iar X este de 2,428 ori mai greu decât Y.

6. Identificați substanțele X, Y și Z și scrieți ecuațiile reacțiilor menționate.

(9p)

Rezolvare: $\rho(\text{Y})_{\text{c.n.}}=M/V_m \Rightarrow M(\text{Y})=\rho(\text{Y})_{\text{c.n.}} \cdot V_m=1,25 \text{ g/L} \cdot 22,4 \text{ L/mol}=28 \text{ g/mol}$

$$D_Y(\text{X})=M(\text{X}):M(\text{Y}) \Rightarrow M(\text{X})=M(\text{Y}) \cdot D_Y(\text{X})=28 \text{ g/mol} \cdot 2,428=68 \text{ g/mol}$$

Deoarece X este compus binar, el trebuie să conțină elementul bor și nemetalul: formula sa moleculară va fi B_nNem_m .

$$M_r(\text{B}_n\text{Nem}_m)=11 \cdot n + A_r \cdot b=68, \text{ dacă } a=1, A_r \cdot b=68-11=57$$

Pentru că atomul de nemetal are configurația $\dots ns^2 np^5$, elementul va fi un halogen (gr. a VII-a principală)

$$A_r(\text{F})=19 \Rightarrow b=3. \text{ Compusul X are formula } \text{BF}_3 \text{ (fluorura de bor).}$$

Aceeași logică se aplică Y pentru substanța el poate fi B_2O_3 sau B_2H_6 .

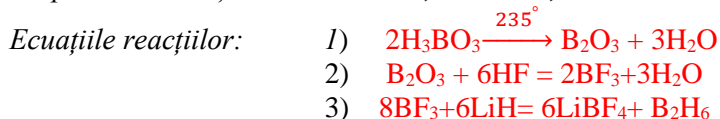
Din calculul masei moleculare relative pentru cei doi posibili compuși se observă că prima variantă nu are soluții, deci compusul are forma B_aH_b .

$M_r(B_aH_b) = 11a + b = 28$, dacă $a = 1$, $b = 17$, nu este o variantă posibilă.

$M_r(B_aH_b) = 11a + b = 28$, dacă $a = 2$, $b = 6$. Substanța **Y** este diboranul - B_2H_6 .

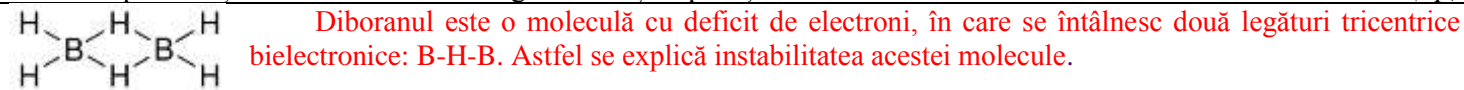
Compusul **Z** conține litiu și bor în cantități egale și 4 ori mai mult nemetal → **Z** va fi $LiBF_4$ (tetrafluoroborura de litiu).

Răspuns: Substanțele sunt: **X** = BF_3 , **Y** = B_2H_6 , **Z** = $LiBF_4$

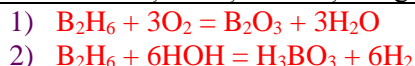


Gazul **Y** este piroforic (se aprinde spontan în contact cu aerul). De asemenea interacționează violent cu apa.

7. Reprezentați formula de structură a gazului **Y** și explicați instabilitatea lui. (2p)



8. Scrieți ecuațiile reacțiilor gazului **Y** cu oxigenul și, respectiv, cu apa. (2p)



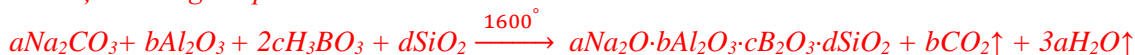
9. Despre compusul **Z** se poate afirma că: (Încercuțiți litera/literele corespunzătoare unui răspuns corect.) (2p)

- a) Este un compus ionic.
- b) Conține 4 legături covalente σ .
- c) Atomul de bor se comportă ca donator de electroni necuplați.

Acidul boric servește ca materie primă pentru producerea sticla „Pyrex”, un material lansat în 1908 care este folosită atât pentru producerea ustensilelor de laborator, cât și a vaselor de gătit termorezistente. Pentru producerea acestui tip de sticlă se topesc la $1600^\circ C$ acid boric, sodă calcinată, nisip și alumina. Sticla obținută conține 81% dioxid de siliciu, 12% oxid de bor, 4,5% oxid de sodiu și oxid de aluminiu.

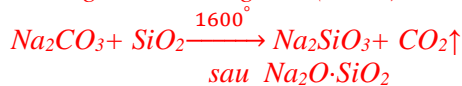
10. Calculați care va fi densitatea amestecului gazos ce se degajă în procesul calcinării (la temperatura de reacție și presiune normală), știind că se produc 1600 kg de sticlă. (12p)

Rezolvare: *Reacția decurge după schema:*



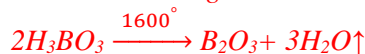
Amestecul gazos va conține CO_2 și H_2O .

$$m(B_2O_3) = 1600 \text{ kg} \cdot 0,12 = 192 \text{ kg}; \quad m(Na_2O) = 1600 \text{ kg} \cdot 0,045 = 72 \text{ kg}$$



$$62 \text{ g } Na_2O \dots\dots\dots 22,4 \text{ L } CO_2$$

$$72 \text{ kg } Na_2O \dots\dots\dots V(CO_2) \Rightarrow V(CO_2)_{c.n.} = 26,013 \text{ m}^3$$



$$70 \text{ g } B_2O_3 \dots\dots\dots 3 \cdot 22,4 \text{ L } H_2O$$

$$192 \text{ kg } B_2O_3 \dots\dots\dots V(H_2O) \Rightarrow V(H_2O)_{c.n.} = 184,32 \text{ m}^3$$

$$V_{gaze(c.n.)} = 26,013 \text{ m}^3 + 184,32 \text{ m}^3 = 210,333 \text{ m}^3$$

$$\text{Fracțiile molare sunt: } x(CO_2) = 26,013 / 210,333 = 0,124; \quad x(H_2O) = 1 - 0,124 = 0,876$$

$$\bar{M}_r(\text{amestec}) = 0,124 \cdot M_r(CO_2) + 0,876 \cdot M_r(H_2O) = 0,124 \cdot 44 + 0,876 \cdot 18 = 5,456 + 15,768 = 21,224$$

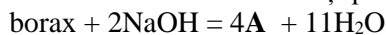
$$\text{Calculăm volumul molar la } 1600^\circ C: \frac{p \cdot V}{T} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0}, \text{ deoarece } p = p_0 \Rightarrow \frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} \Rightarrow \frac{V}{(1600 + 273)K} = \frac{22,4 \text{ L}}{273 \text{ K}} \Rightarrow$$

$$V_m = \frac{1873K \cdot 22,4 \text{ dm}^3 / \text{mol}}{273K} = 153,682 \text{ dm}^3 / \text{mol}$$

$$\rho(\text{amestec}) = \bar{M}(\text{amestec}) / V_m = 21,224 \text{ g/mol} : 153,682 \text{ dm}^3 / \text{mol} = 0,1381 \text{ g} / \text{dm}^3$$

Răspuns: $\rho(\text{amestec gazos}) = 0,1381 \text{ g} / \text{dm}^3$

Compusul **PBS** sau *perboratul de sodiu* este un ingredient activ utilizat în detergenți și produse de înălbire. El se produce prin tratarea boraxului cu sodă caustică și peroxid de hidrogen. Substanța are formula $Na_xB_xO_y(OH)_y$ și se obține conform schemei:



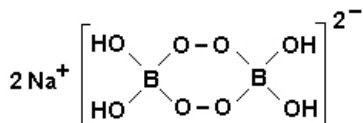
11. Identificați formula compusului **PBS** și scrieți ecuațiile reacțiilor din schema dată. (2p)





12. Propuneți o formulă de structură pentru compusul **PBS**, știind că acesta are o structură simetrică și conține două grupări peroxo. (2p)

Răspuns:



Problema nr. 2. „Materiale propulsante” (50p)



Propelanții sau materialele propulsante sunt substanțe chimice folosite pentru producerea energiei necesare pentru împingerea unui obiect. La rachete sau avioane, propelanții sunt utilizați pentru a produce un gaz care este dirijat printr-o duză (o gaură) provocând astfel împingerea. O categorie importantă de propelanți sunt cei produși din amoniac.

La scară industrială, amoniacul se obține în urma procesului Haber-Bosch în care azotul din aer reacționează cu hidrogenul gazos pe un catalizator de fier. Presiunea gazelor introduse în reactor este de 20 MPa și temperatură de 450 °C. Deoarece reacția este reversibilă, la o trecere a amestecului reactant peste catalizator conversia în amoniac este doar de 15%. Conversia, notată C_u , reprezintă raportul dintre cantitatea de reactant transformată și cea introdusă.

1. Determinați partea de volum de amoniac în amestecul gazos obținut după o singură trecere prin reactor a unui amestec reactant aer:hidrogen cu volumul de 20000 m³ (c.n.), știind că raportul molar azot:hidrogen este stoechiometric, iar partea de volum a azotului în aerul introdus în reactor este de 78,31%. (10p)

$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ $x \quad 3x \quad 2x$ <p>x L N₂78,31%</p> <p>V_{aer}100% ⇒ V_{aer} = 100x/78,3</p> $V_{\text{aer}} + V(\text{N}_2) = \frac{100x}{78,31} + 3x = 20000$ $100x + 234,93x = 1566200$ $x = 1566200 : 334,93 = 4676,2 \text{ m}^3 \text{N}_2$ $V(\text{H}_2) = 4676,2 \cdot 3 = 14028,603 \text{ m}^3$	$V(\text{N}_2)_{\text{reacționat}} = 0,15 \cdot 4676,2 \text{ m}^3 = 701,43 \text{ m}^3$ $V(\text{H}_2)_{\text{reacționat}} = 3 \cdot 701,43 \text{ m}^3 = 2104,29 \text{ m}^3$ $V(\text{NH}_3)_{\text{format}} = 2x = 701,43 \cdot 2 = 1402,86 \text{ m}^3$ $V(\text{final}) = V_{\text{inițial}} - V(\text{N}_2)_{\text{transformat}} - V(\text{H}_2)_{\text{transformat}} + V(\text{NH}_3)_{\text{format}} =$ $= 20000 \text{ m}^3 - (701,43 \text{ m}^3 + 2104,29 \text{ m}^3) + 1402,86 \text{ m}^3 =$ $= 185797,14 \text{ m}^3$ $\varphi(\text{NH}_3) = \frac{1402,86 \text{ m}^3}{185797,14 \text{ m}^3} \cdot 100\% = \mathbf{7,543\%}$
---	---

Răspuns: $\varphi(\text{NH}_3) = \mathbf{7,543\%}$

Pentru mărirea randamentului reacției până la 97%, amestecul gazos este recirculat de mai multe ori. Reacția de sinteză a amoniacului este un proces exoterm, căldura de formare a amoniacului fiind de 45,91 kJ/mol (în condiții standard).

2. Calculați ce cantitate de căldură se degajă pe tot parcursul procesului de producție. (3p)

$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ $1\text{L} \dots\dots\dots 2\text{L}$ $4676,2 \text{ m}^3 \dots\dots V(\text{NH}_3)_{\text{teoretic}} \Rightarrow V(\text{NH}_3)_{\text{teoretic}} = 4676,2 \text{ m}^3 \cdot 2\text{L}/1\text{L} = 9352,4 \text{ m}^3$ $V(\text{NH}_3)_{\text{practic}} = 9352,4 \text{ m}^3 \cdot 0,97 = 9071,828 \text{ m}^3$ $1 \text{ mol NH}_3 \dots\dots\dots 22,4\text{L} \dots\dots\dots +45,91 \text{ kJ}$ $9071,828 \text{ m}^3 \dots\dots \dots Q \Rightarrow Q = 18533,197 \text{ kJ} = \mathbf{18,533 \text{ MJ}}$	<p>Răspuns: căldura degajată pe tot parcursul reacției este egală cu: $\mathbf{18,533 \text{ MJ}}$</p>
---	---

Nitratul de amoniu și percloratul de amoniu (AP) se produc ușor, prin combinarea amoniacului cu acizii corespunzători. Ambele săruri sunt oxidanți puternici și sunt utilizați, în amestec cu un combustibil, pentru propulsia rachetelor.

3. Reprezentați formulele de structură spațiale ale anionilor din cele două săruri și indicați tipul de legături chimice ce stau la baza formării lor. (4p)

<p>Ionul nitrat are formă triunghiulară – el conține 3 leg. σ și una π</p>	<p>Ionul perclorat are formă tetraedrică – el conține 4 leg σ și 3 leg π.</p>
--	---

4. Despre azotatul de amoniu se poate afirma: (2p)

- Cei doi atomi de azot au aceeași stare de hibridizare, respectiv sp².
- Ionul azotat are formă triunghiulară, iar ionul amoniu are formă tetraedrică.
- Cei doi atomi de azot au același grad de oxidare.
- Conține legături de tip π .

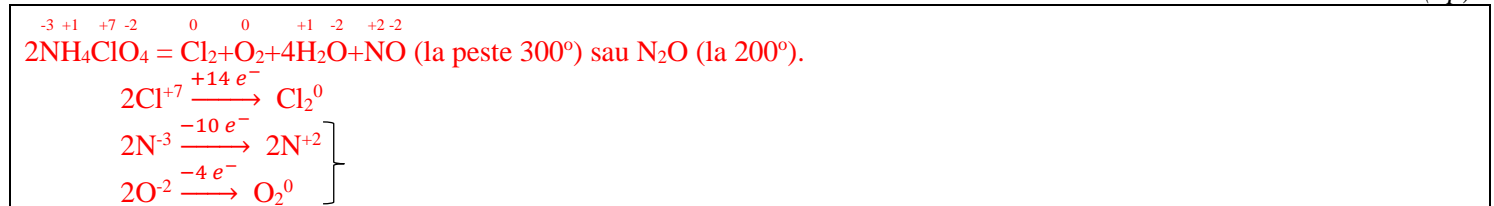
5. Despre percloratul de amoniu se poate afirma că: (2p)



- Cationul și anionul au aceeași formă geometrică.
- Conține azot cu valența III și clor cu valența VII.
- Cristalizează în rețea moleculară, de aceea se topește la o temperatură joasă.
- Atomi de azot și clor au aceeași stare de hibridizare, respectiv sp^3 .

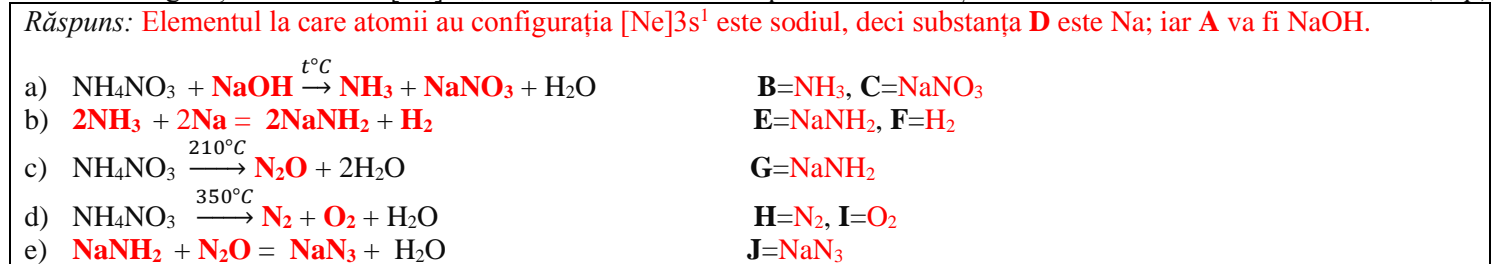
Principala utilizare a perchloratului de amoniu este producerea combustibililor solizi. El se descompune termic ușor, înainte de a atinge temperatura de topire, și se obține un amestec format din patru componenți.

- Scrieți ecuația reacției de descompunere termică pentru perchloratul de amoniu și egalați-o prin metoda bilanțului electronic. (4p)



Nitratul de amoniu este supus următoarelor transformări:

- $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{A} \xrightarrow{t^\circ\text{C}} \text{B} + \text{C} + \text{H}_2\text{O}$
 - $\text{B} + \text{D} = \text{E} + \text{F}$
 - $\text{NH}_4\text{NO}_3 \xrightarrow{210^\circ\text{C}} \text{G} + \text{H}_2\text{O}$
 - $\text{NH}_4\text{NO}_3 \xrightarrow{350^\circ\text{C}} \text{H} + \text{I} + \text{H}_2\text{O}$
 - $\text{E} + \text{G} = \text{J} + \text{H}_2\text{O}$
- Identificați substanțele notate cu literele **A-J** și scrieți ecuațiile reacțiilor, dacă se știe că **D** conține doar atomi cu configurația electronică $[\text{Ne}]3s^1$, iar **A** este hidroxidul superior al aceluiași element. (10p)

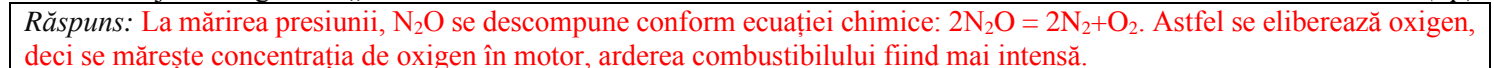


- Indicați denumirile compuşilor notați cu literele **E** și **J**. (2p)

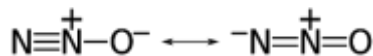
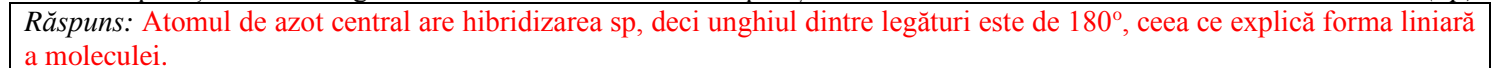


Compusul notat cu litera **G** este gazul „nitro”, binecunoscut fanilor filmului „Fast and furious”. Utilizarea gazului „nitro” crește puterea motoarelor mașinilor, fiind permis la anumite tipuri de mașini de curse.

- Explicați (și cu ecuații chimice) care este principiul de funcționare care stă la baza măririi puterii motorului unei mașini la injectarea gazului „nitro”. (2p)

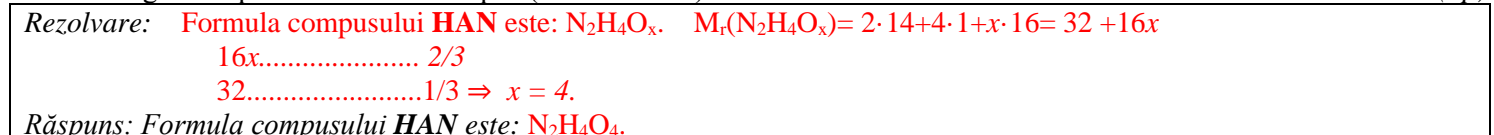


- Explicați formarea legăturilor în molecula acestui compus și forma ei liniară. (2p)



Proiectul NASA de creare a unui combustibil ecologic curat (GPIM - Green Propellant Infusion Mission) testează un propellant numit **HAN**. Acesta este un compus anorganic cu o compoziție calitativă identică cu a nitratului de amoniu, dar cu cantitate mai mare de oxigen.

- Determinați formula moleculară a compusului **HAN**, raportul molar N:H este identic cu al nitratului de amoniu, iar oxigenul reprezintă 2/3 din compus (în % de masă). (3p)

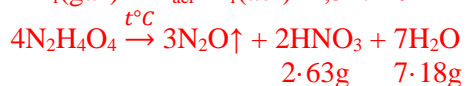


La descompunerea pe catalizator de fier a acestui compus se obține o soluție de acid azotic și se degajă un gaz de 1,517 ori mai greu ca aerul.



12. Determinați partea de masă a acidului azotic în soluția obținută la descompunerea **HAN**, dacă se consideră că toată cantitatea de apă rămâne în soluție. (4p)

Rezolvare: $M_r(\text{gaz}) = D_{\text{aer}} \cdot M_r(\text{aer}) = 1,517 \cdot 29 = 44 \Rightarrow \text{gazul este } \text{N}_2\text{O}$



Dacă $m(\text{HNO}_3) = 2 \cdot 63\text{g}$, atunci $m_{\text{sol.}}(\text{HNO}_3) = 2 \cdot 63\text{g} + 7 \cdot 18\text{g} = 252\text{g}$

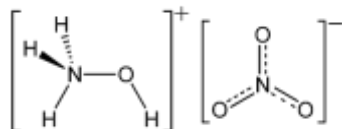
$$\omega(\text{HNO}_3) = \frac{2 \cdot 63\text{g}}{252\text{g}} \cdot 100\% = 50\%$$

Răspuns: $\omega(\text{HNO}_3) = 50\%$

Deși raportul molar N:H este același ca și în sărurile de amoniu, **HAN** conține un cation cu un caracter reducător mai accentuat decât ionul amoniu, care determină instabilitatea acestei sări.

13. Reprezentați formula de structură a compusului **HAN**, știind acesta conține anion nitrat și stabiliți denumirea chimică a compusului. (2p)

Răspuns:



nitrat de hidoxilamoniu

Total –100 p