

2024/25. õa keemiaolümpiaadi lõppvoor

9.–10. klass

Lahendused

1. Metallide eristamine (peaaegu) silma järgi. Autor: Karl Johann Külv (11 p)

a) Hindamine: iga korrektselt määratud metalli eest 0,5 p, kokku 2 p.

1 = Cs, 2 = Ga, 3 = Rb, 4 = Hg

(4×0,5)

Metallide sulamistemperatuurid (°C)			
Hg	Cs	Ga	Rb
-38,83	28,44	29,76	39,48

b) Hindamine: A ja B eest 0,5 p, kokku 1 p. Kui C puhul ei ole lahenduskäiku näidatud, siis 0,5 p; kui on näidatud vajalikud arvutused ja metall on korrektselt määratud, siis 1 p.

A = Cu, B = Au

(2×0,5)

$$m_{\text{graanul}} = 0,0307 \text{ tu} \cdot \frac{1 \text{ tn}}{12 \text{ tu}} \cdot \frac{64,79 \text{ mg}}{1,736 \cdot 10^{-4} \text{ tn}} \cdot \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = 0,9548 \text{ g}$$

$$V_{\text{graanul}} = (11 - 10) \text{ cm}^3 / (1 + 10) = 0,0909 \text{ cm}^3$$

$$\rho(\text{C}) = m/V = 0,954 \text{ g} / 0,0909 \text{ cm}^3 \approx 10,5 \text{ g/cm}^3, \text{ seega metall C on hõbe (Ag).} \quad (2)$$

c) Hindamine: iga korrektselt määratud metalli eest 0,5 p, kokku 1 p.

D = Al, E = Zn

(2×0,5)

d) 1. $\text{AlCl}_3 + 3\text{NaOH} \rightarrow \text{Al(OH)}_3\downarrow + 3\text{NaCl}$ (1)

2. $\text{ZnCl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Zn(OH)}_2\downarrow + 2\text{NaCl}$ (1)

3. $\text{Al(OH)}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na[Al(OH)}_4\text{]}$ või $\text{Al(OH)}_3 + 3\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_3[\text{Al(OH)}_6]$ (1)

4. $\text{Zn(OH)}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2[\text{Zn(OH)}_4]$ (1)

5. $\text{Al}_2\text{S}_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Al(OH)}_3\downarrow + 3\text{H}_2\text{S}\uparrow$ (1)

2. Erilised metallühendid. Autor: Andreas Päck (10 p)

Allikas:

- Feldmann, C., & Jansen, M. Zur Kenntnis Neuer ternärer Oxide mit anionischem Gold. *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*. 1995, 621(2), 201–206.

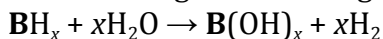
<https://doi.org/10.1002/zaac.19956210207>

a) $n_{\text{hapnik}} = m/M = 35,96 \text{ g} / 16,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 2,248 \text{ mol}$
 $n(\text{A}) : n(\text{O}) = 1 : 3$, seega $n(\text{X}) = 2,248 \text{ mol} / 3 = 0,7493 \text{ mol}$ (0,5)

$M(\text{A}) = m/n = (100 \text{ g} - 35,96 \text{ g}) / 0,7493 \text{ mol} = 85,47 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, milleks on **Rb**. (0,5)

b) X = RbO₃ – rubiidiumosoniid
 $4\text{RbO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{RbOH} + 5\text{O}_2\uparrow$ (1)

c) $n_{\text{vesinik}} = V/V_m = 1,067 \text{ dm}^3 / 22,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} = 0,04763 \text{ mol}$
 Hüdroiidi reageerimist veega iseloomustab järgmine reaktsioonivõrrand:



Koostame reaktsioonivõrrandist lähtudes võrrandi metalli B tuvastamiseks:

$$n_{\text{vesinik}} = x \cdot n_{\text{hüdroiid}} = \frac{x \cdot m_{\text{hüdroiid}}}{M_{\text{metall}} + x \cdot M_{\text{vesinik}}} \quad (0,5)$$

$$M_{\text{metall}} + x \cdot M_{\text{vesinik}} = \frac{x \cdot m_{\text{hüdroiid}}}{n_{\text{vesinik}}}, \text{ kust } M_{\text{metall}} = x \left(\frac{m_{\text{hüdroiid}}}{n_{\text{vesinik}}} - M_{\text{vesinik}} \right)$$

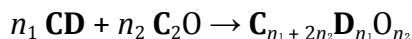
$$M_{\text{metall}} = x(1,000 \text{ g} / 0,04763 \text{ mol} - 1,008 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}) = 19,99x \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (1)$$

Kui x = 1, puudub sobilik metall.

Kui x = 2, siis $M_{\text{metall}} \approx 40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, milleks on **Ca**. (0,5)

d) BH_x = CaH₂ – kaltsiumhüdroiid
 $\text{CaH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 2\text{H}_2\uparrow$ (1)

- e) Kuna 3. reaktsioonis tekib **CD** ja C_2O reageerimisel ainult üks saadus (**Y**), kirjeldab tundmatut ühendit valem $C_{n_1+2n_2}D_{n_1}O_{n_2}$, kus n_1 on **CD** ning n_2 C_2O moolide hulgad:



Kirjutame välja n_1 ja n_2 avaldiste võrduse:

$$n_1 : n_2 = \frac{0,476}{M_{\text{metall C}} + M_{\text{metall D}}} : \frac{0,407}{2 \cdot M_{\text{metall C}} + 16,00} \Rightarrow n_1 \cdot \frac{0,407}{2 \cdot M_{\text{metall C}} + 16,00} = n_2 \cdot \frac{0,476}{M_{\text{metall C}} + M_{\text{metall D}}} \quad (1)$$

Avaldame $M_{\text{metall D}}$:

$$0,407n_1(M_{\text{metall C}} + M_{\text{metall D}}) = 0,476n_2(2 \cdot M_{\text{metall C}} + 16,00) \Rightarrow$$

$$M_{\text{metall D}} = \frac{0,476 \cdot n_2(2 \cdot M_{\text{metall C}} + 16,00)}{0,407 \cdot n_1} - M_{\text{metall C}} = 2,339 \frac{n_2}{n_1} \cdot (M_{\text{metall C}} + 8) - M_{\text{metall C}} \Rightarrow$$

$$M_{\text{metall D}} = M_{\text{metall C}} \left(2,339 \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) + 18,71 \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

$$n_1 = n_2 = 1, \text{ seega } M_{\text{metall D}} = 1,339 \cdot M_{\text{metall C}} + 18,71$$

$$\mathbf{C = Cs} \text{ ning } \mathbf{D = Au} \quad (2 \times 1)$$

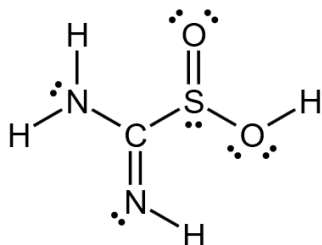
- f) $\text{CsAu} + \text{Cs}_2\text{O} \rightarrow \text{Cs}_3\text{AuO}$ (1)

3. Lewis'i struktuuride varia. Autor: Andreas Päck (12 p)

Allikad:

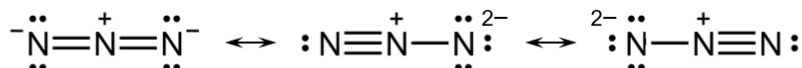
- Ashwani Vij, William W. Wilson, Vandana Vij, Fook S. Tham, Jeffrey A. Sheehy, and Karl O. Christe. *Journal of the American Chemical Society*. 2001, 123(26), 6308–6313. <https://doi.org/10.1021/ja010141g>
- Benjamin A. Jackson, Jordan Harshman, and Evangelos Miliordos. *Journal of Chemical Education*. 2020, 97(10), 3638–3646. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00368>

- a) *Hindamine*: 0,5 p korrektselt määratud vabade elektronipaaride ja 0,5 p keemiliste sidemete eest, kokku 1 p. (2 \times 0,5)

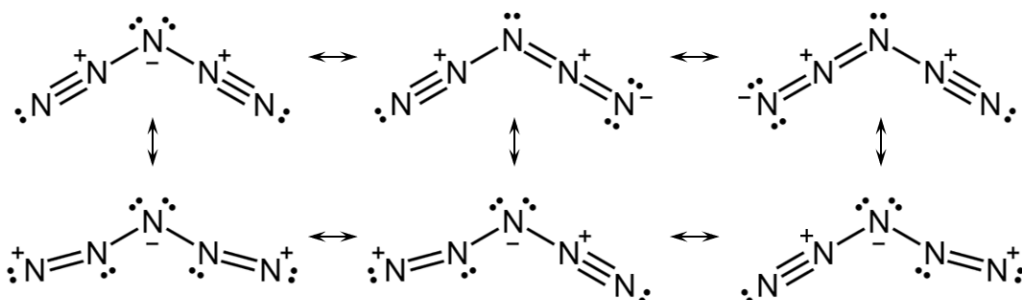


- b) *Hindamine*: 0,5 p iga korrektselt joonistatud Lewis'i struktuurivalemi eest, kokku 2,5 p. 0 p, kui struktuurivalemis esineb mistahes keemiline viga.

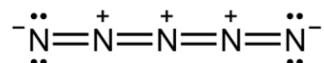
- i) Asiidanioon: (2 \times 0,5)



- ii) Pentaseeniumkatioon: (2 \times 0,5)

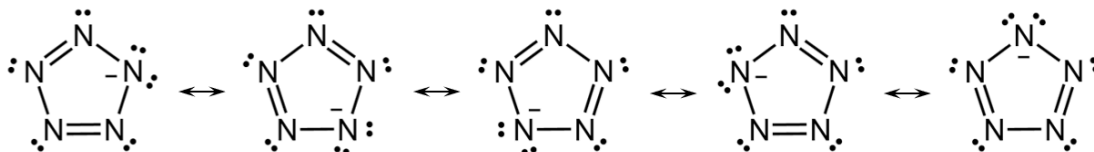


Hindamisel loetakse korrektseks ka alltoodud lineaarne struktuur:



iii) Pentasolaatanioon:

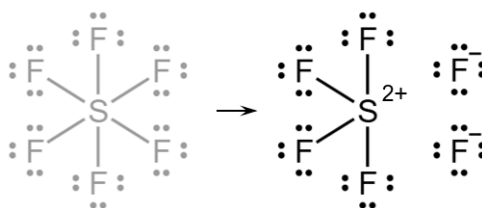
(0,5)



c) Hindamine: 0,5 p iga korrektsest joonistatud Lewis'i struktuurivalemi eest, kokku 2,5 p. 0 p, kui struktuurivalemis esineb mistahes viga.

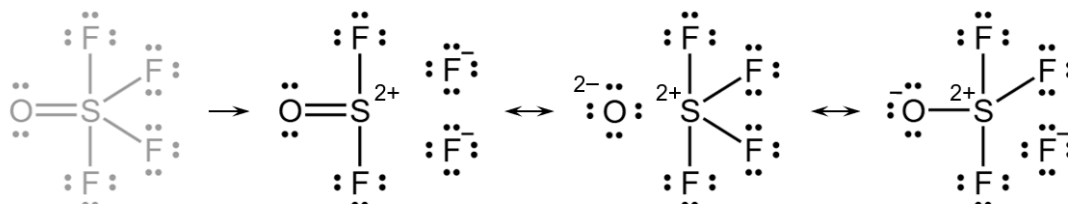
SF₆ (väävelheksafluoriid):

(0,5)



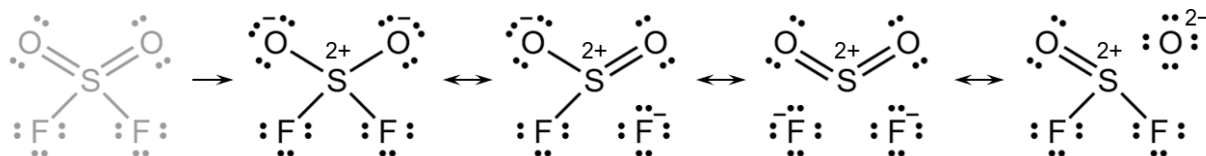
SOF₄ (tionüültetrafluoriid):

(2×0,5)



SO₂F₂ (sulfurüülfluoriid):

(2×0,5)



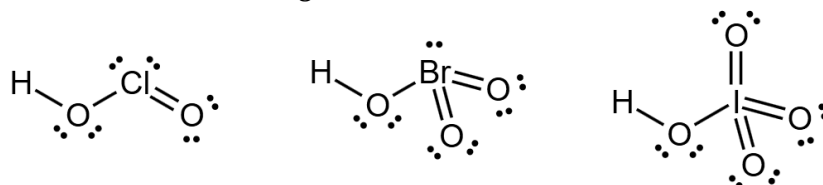
d) X = ClF₃ (Cl o.a III), Y = BrF₅ (Br o.a V), Z = IF₇ (I o.a VII)

1. ClF₃ + 2H₂O → HClO₂ + 3HF (1)

2. BrF₅ + 3H₂O → HBrO₃ + 5HF (1)

3. IF₇ + 4H₂O → HIO₄ + 7HF (1)

e) Hindamine: 1 p iga korrektsest joonistatud Lewis'i struktuurivalemi eest, kokku 3 p. 0 p, kui struktuurivalemis esineb mistahes viga. (3×1)

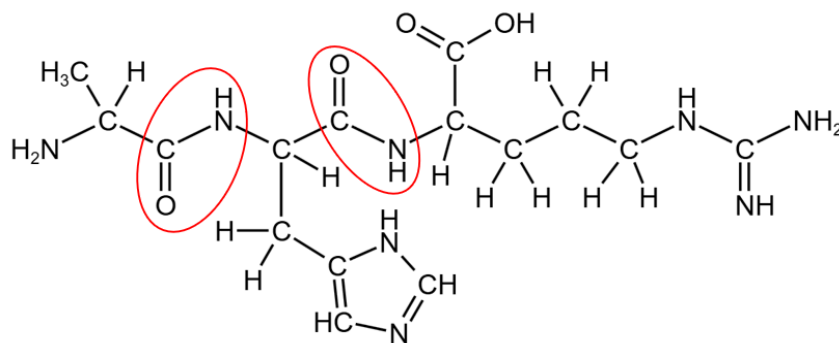


4. Kjeldahli meetod. Autor: Gleb Vahtra

(8 p)

a) Hindamine: iga korrektset määratud peptiidsideme eest 0,5 p, kokku 1 p.

(0,5×2)



- b) 1. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ (1)
 2. $\text{NH}_3 + \text{H}_3\text{BO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3$ (1)
 3. $\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$ (1)
- c) $m(\text{HCl})$ titrandis: $m = cVM = 0,5 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3} \cdot 0,4 \text{ dm}^3 \cdot 36,45 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 7,29 \text{ g}$ (1)
 $m(\text{HCl})$ esialgses lahuses: $m = w_{\text{lahus}} \cdot \rho \cdot V$, kust $V = m / (w_{\text{lahus}} \cdot \rho)$
 $V_{\text{lahus}} = 7,29 \text{ g} / (0,37 \cdot 1,190 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}) = 16,6 \text{ cm}^3$ (1)
- d) $n(\text{N}) = n(\text{NH}_3) = n(\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3) = n(\text{HCl})$
 $m(\text{N}) = 0,5 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3} \cdot 0,01850 \text{ dm}^3 \cdot 14,01 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 0,1296 \text{ g}$ (1)
- e) $m_{\text{valgud}} = 6,25 \cdot (0,1296 \text{ g} / 3,430 \text{ g}) \cdot 100 = 23,6 \text{ g}$ ehk **23,6 g/100 g** (1)

5. Mitu rauaühendit. Autor: Andreas Päck

(11 p)

Allikas:

- Vidhisha Jassal, Uma Shanker, B. S. Kaith, and Shiv Shankar. *RSC Advances*. 2015, 5(33), 26141–26149. <https://doi.org/10.1039/C5RA03266K>

- a) i) $3 \cdot (+1) + x + 6 \cdot (-1) = 0 \Rightarrow x = 6 - 3 = +3$ (III) (0,5)
 ii) $2 \cdot (+1) + 3 \cdot (+2) + 2 \cdot x + 12 \cdot (-1) = 0 \Rightarrow 2x = 12 - 8 \Rightarrow x = +2$ (II) (0,5)
- b) 1. $\text{FeCl}_3 + 6\text{KSCN} \rightarrow \text{K}_3[\text{Fe}(\text{SCN})_6] + 3\text{KCl}$ (1)
 2. $3\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \rightarrow \text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2 + 6\text{KNO}_3$ (1)
- c) i) $m(\text{FeCl}_3) = m_{\text{hüdraat}} \cdot \frac{M_{\text{sool}}}{M_{\text{hüdraat}}} = 6,55 \text{ g} \cdot (162,2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} / 270,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}) = 3,93 \text{ g}$ (1)
 $w_{\text{sool}} = \frac{m_{\text{aine}}}{m_{\text{lahus}}} \cdot 100\% = (3,93 \text{ g} / 56,55 \text{ g}) \cdot 100\% = 6,95\%$ (1)
- ii) $\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3\text{Cl}^-$
 $n(\text{Cl}^-) = 3 \cdot n(\text{FeCl}_3) = 3 \cdot (3,93 \text{ g} / 162,2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}) = 0,07269 \text{ mol}$ (0,5)
 $V_{\text{kristallhüdraadi vesi}} = m / \rho = (6 \cdot n_{\text{vesi}} \cdot M_{\text{vesi}}) / \rho_{\text{vesi}} = 2,6 \text{ cm}^3$
 $c = n / V = 0,07269 \text{ mol} / (0,05 + 0,0026) \text{ dm}^3 \approx 1,38 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ (0,5)
- d) $1 \cdot n(\text{K}_2\text{CO}_3) = 12 \cdot n(\text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2) \Rightarrow n(\text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2) = n(\text{K}_2\text{CO}_3) / 12$
 $m(\text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2) = n \cdot M = 15,0 \text{ g} / (12 \cdot 138,2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}) \cdot 698,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 6,32 \text{ g}$ (1)
- e) $\frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$, kust $N = \frac{m \cdot N_A}{M}$
 $N(\text{C}) = 12 \cdot (0,1 \text{ g} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}) / 698,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 1,035 \cdot 10^{21}$ aatomit (1)
- f) i) $M_{\text{hüdraat}} = \frac{M_{\text{kompleks}}}{w_{\text{kompleks}}} = 698,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} / (1 - 0,1884) = 860,4 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ (1)
 $n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{M_{\text{hüdraat}} \cdot w_{\text{kristallhüdraat}}}{M_{\text{vesi}}} = (860,4 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} \cdot 0,1884) / 18,02 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 9$ (1)
- ii) $n(\text{H}_2\text{O}) = 9 - (860,4 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} \cdot 0,1256) / 18,02 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 3$
 Valem: **$\text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$** (1)

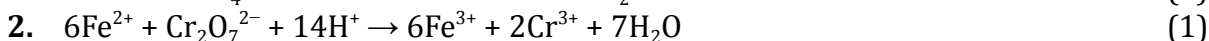
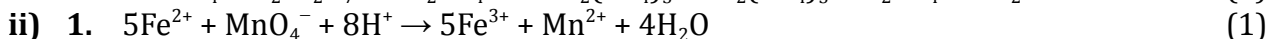
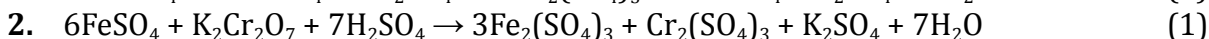
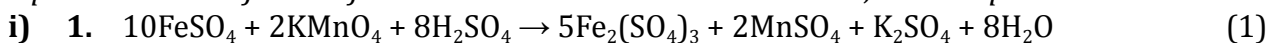
6. Rauasisalduse määramine. Autor: Andreas Päck

(8 p)

Allikas:

- Rosalynn Quiñones, Heather Knott, Leslie Frost, Megan Bartram, Trace Clark, Tamara D. Westfall, and José A. Buxó. *Journal of Chemical Education*. 2024, 101(12), 5484–5491. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01090>

a) Hindamine: 1 p korrektselt kirjutatud ja tasakaalustatud molekulaarvõrrandi eest, kokku 2 p.
1 p korrektselt kirjutatud ja tasakaalustatud ioonvõrrandite eest, kokku 2 p.



b) $n_{\text{raud}} = c \cdot V = \frac{5}{1} \cdot 0,0045 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot 0,02397 \text{ dm}^3 = 1,079 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$

$m_{\text{raud tabletis}} = n \cdot M = (10 \cdot 1,079 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 55,85 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}) / 2 \approx 0,03 \text{ g}$ (1)

c) Molaarse neeldumisteguri ϵ määramiseks sobib kalibreerimisgraafikut kasutades kõige paremini punkt A, mille korral $A = 1,8$ ja $c = 0,16 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ($0,00016 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$):

$\epsilon = A / (c \cdot l) = 1,8 / (0,00016 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot 1 \text{ cm}) = 11250 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ (1)

Neeldumisteguri ϵ määramiseks saab kasutada ka sirge $y = 11,001x + 0,005$ tõusu väärtust:

$\epsilon = 11,001 \text{ dm}^3 \cdot \text{mmol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot 10^3 \text{ mmol} / 1 \text{ mol} = 11001 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

d) $A = 3,555$ ja $\epsilon = 11250 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ või $11001 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

Kontsentratsioon Lambert-Beer'i seadusest:

$c = A / (\epsilon \cdot l) = 3,555 / (11250 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot 1 \text{ cm}) \approx 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ (0,5)

Kontsentratsioon sirge võrrandist:

$c = x = (y - b) / a = (3,555 - 0,005) / 11,001 \approx 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$

$m_{\text{raud proovis}} = cVM = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot 0,003 \text{ dm}^3 \cdot 55,85 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ g}$ (0,5)

$m_{\text{raud tabletis}} = \left(\frac{250}{25} \cdot \frac{100}{3} \cdot 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ g} \cdot \frac{1000}{1} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \right) / 2 = 9 \text{ mg}$ (1)

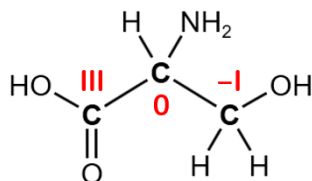
7. Astrookeemilised protsessid. Autor: Andreas Päck

(11 p)

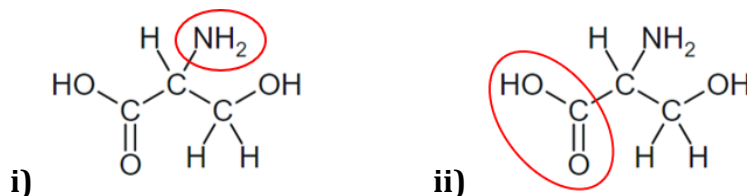
Allikas:

- Jia Wang, Joshua H. Marks, Ryan C. Fortenberry, and Ralf I. Kaiser. *Science Advances*. 2024, 10(11), eadl3236. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adl3236>

a) Hindamine: 0,5 p iga korrektselt määratud oksüdatsiooniastme eest, kokku 1,5 p. (3×0,5)



b) Hindamine: 0,5 p iga korrektselt määratud funktsionaalrühma eest, kokku 1 p. (2×0,5)



c) $n(\text{CO}_2) = V/V_m = 10,0 \text{ dm}^3 / 22,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} = 0,4464 \text{ mol}$

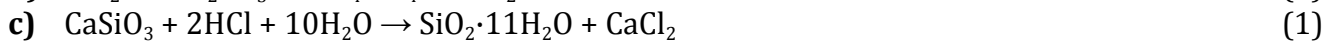
$n(\text{CO}_2) : n(\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_3) = 3 : 1.$

$m_{\text{seriin}} = n \cdot M = \frac{1}{3} \cdot 0,4464 \text{ mol} \cdot 105,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 15,64 \text{ g}$ (1)

9. Ränihendite keemia. Autor: Kristi Koitla**(8 p)**

Allikas:

- Kohandatud 2020. a Briti keemiaolümpiaadi [4. ülesanne](#) ([lahendus](#))



- f) Talgis on räni ja magneesiumi moolisuhe vastavalt 4 : 3 ning krüsotiilis 2 : 3. Proovis, kus on talgi mooliprotsent x ja krüsotiili mooli protsent $(1 - x)$, on räni ning magneesiumi osakaal $4x + 2(1 - x) = 2(x + 1) : 3$. (1)

$$n(Si) = \frac{w(Si) \cdot m_{kogu}}{100 \cdot M(Si)} \quad \text{ja} \quad n(Mg) = \frac{w(Mg) \cdot m_{kogu}}{100 \cdot M(Mg)}$$

$$\frac{n(Si)}{n(Mg)} = \frac{2(1+x)}{3} = \frac{w(Si) \cdot M(Mg)}{w(Mg) \cdot M(Si)} = \frac{28,18 \cdot 24,30}{20,32 \cdot 28,09} \quad (1)$$

x avaldamisel saame, et $x = 0,7995$.

$\text{mol}\%_{\text{talk}} = 79,95$ ja $\text{mol}\%_{\text{krüsotiil}} = 20,05$ (2×0,5)