2023/24. õa keemiaolümpiaadi lahtise võistluse lahendused
Noorem rühm (9. ja 10. klass)
30. september 2023

1. Koodid ja paroolid (Gregor Kikas ja Vladislav Ivaništšev) **10 p**

a) (5×1)

Linn/riik	**Berlin**	Athens	**France**	Argentina	**Singapore**
Kood	56837	**852716**	988758	**183272211**	1473115875

b) Võimalikud ühendid: US_2, AuI, InN, SiC, NaH (5×1)

2. Kroomi tootmine (Andreas Päkk) **10 p**

a) Amfoteerne kroomi oksiid **A** on Cr_2O_3 (M = 152,00 g/mol).
M(kromiit) = 2·52,00 g/mol/0,4646 = 223,85 g/mol

Puhtas kromiidis sisalduv metalli **X** oksiid oksüdeeritakse õhuhapnikus röstimisel $\mathbf{X}_2O_3$-ks, seega võib tundmatu oksiidi valem olla **X**O.

M(**X**O) = M(kromiit) – M(Cr_2O_3) = 71,85 g/mol
M(**X**) = 71,85 g/mol – 16,00 g/mol = 56,85 g/mol
Kuna metallile **X** vastab raud (Fe), saame kromiidi valemiks $\mathbf{FeCr_2O_4}$. (2)

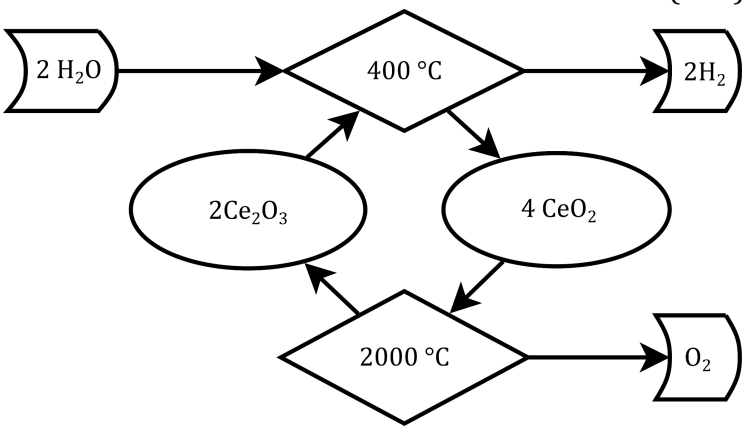
b) $4FeCr_2O_4 + 8Na_2CO_3 + 7O_2 \rightarrow 8Na_2CrO_4 + 2Fe_2O_3 + 8CO_2$ (1)
$2Na_2CrO_4 + H_2SO_4 \rightarrow Na_2Cr_2O_7 + Na_2SO_4 + H_2O$ (1)
$Na_2Cr_2O_7 + 2C \rightarrow Cr_2O_3 + Na_2CO_3 + CO$ (1)
$Cr_2O_3 + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 2Cr$ (1)

c) 1 $FeCr_2O_4 \leftrightarrow$ 2 Cr
$n(FeCr_2O_4)$ = 1000 kg/223,85 kg·kmol^{-1} = 4,467 kmol (1)
m(Cr) = 2·4,467 kmol·52 kg·kmol^{-1} = **464,6 kg** (1)

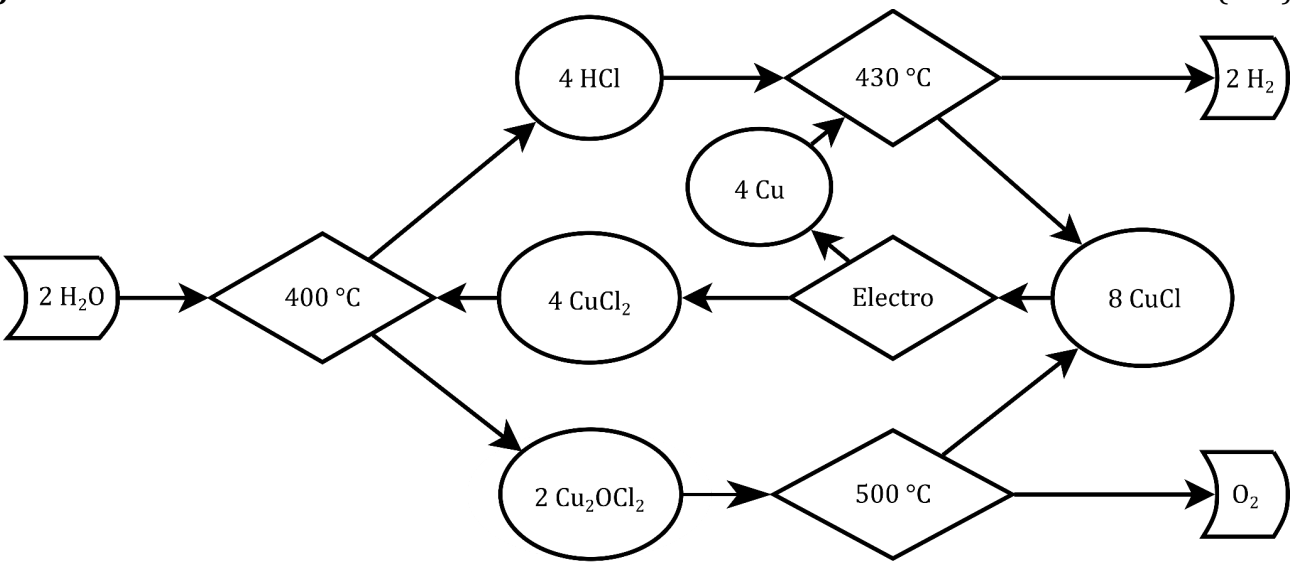
d) 1 $FeCr_2O_4 \leftrightarrow$ 2 CO_2
$m(CO_2)$ = 2·4,467 kmol·44 kg·kmol^{-1} = 393 kg (1)
CO $\leftrightarrow$ CO_2
$m(CO_2)$ = 4,467 kmol·44 kg·kmol^{-1} = 196,6 kg (1)
$m(CO_2)$ = 393,01 kg + 196,55 kg = **589,6 kg**

3. Termotsüklid (Vladisalv Ivaništšev) **10 p**

a) (4×1)



b) (6×1)



4. Ülijuhi tiitrimine (Verner Sääsk) **(10 p)**

a) $\mathbf{4}YBa_2Cu_3O_x + \mathbf{52}HClO_4 \rightarrow \mathbf{4}Y(ClO_4)_3 + \mathbf{8}Ba(ClO_4)_2 + \mathbf{12}Cu(ClO_4)_2 + \mathbf{26}H_2O + \mathbf{(2}x\mathbf{-13)}O_2$ (2)

b) **i)** $2Cu^{2+} + 4I^- \rightarrow 2CuI + I_2$ (1)

ii) $2S_2O_3^{2-} + I_2 \rightarrow S_4O_6^{2-} + 2I^-$ (1)

c) $YBa_2Cu_3O_x + \mathbf{2x}HClO_4 + \mathbf{3(x-4)}KI$
$\rightarrow Y(ClO_4)_3 + \mathbf{2}Ba(ClO_4)_2 + \mathbf{3}CuI + \mathbf{(}x\mathbf{-5)}I_2 + \mathbf{(2x-7)}KClO_4 + \mathbf{}x\mathbf{}H_2O$ (2)

d) Alustuseks arvutame p ja x väärtused. Teame, et protseduuri **A** puhul, kehtib:
$2Cu^{2+} + 4I^- \rightarrow 2CuI + I_2$
Aga protseduuri **B** puhul:
$2Cu^{(2+p)+} + 2(2+p)I^- \rightarrow 2CuI + (p+1)I_2$ (1)
Tiitrimise tingimustest tuleneb, et protseduuri **A** puhul: $n(Cu) = 3m_A/M(HTS) = c_TV_A$
ning protseduuri **B** puhul: $n(Cu) = 3m_B/M(HTS) = c_TV_B/(p+1)$
Siit rehkendame, et $p = (V_Bm_A - V_Am_B)/(V_Am_B)$ (1)
Selleks, et ühendis $YBa_2Cu_3O_x$ oleks tasakaalustatud laeng, peab kehtima järgmine võrrand:
$(+3) + 2\times(+2) + 3\times(+2+p) + x\times(-2) = 0$, kust saame, et: $x = 6{,}5 + 1{,}5p$ (1)
Asendades võrrandise $p = (V_Bm_A - V_Am_B)/(V_Am_B)$ saadud tiitrimiste tulemused, saame, et:
p = **0,2** ja x = **6,8**, ning HTS valem on: $\mathbf{YBa_2Cu_3O_{6,8}}$ (1)

5. Välgu elektrokeemia (Aleksei Ganyokov ja Vladisalv Ivaništšev) **10 p**

Allikad:

- Duracell commercial AAA battery MN2400 specifications: https://us.rs-online.com/m/d/b2cc70c74b0ac94786d2732bf06fa580.pdf
- SkeletonTech supercapacitor SCA3200 specifications: https://1188159.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/1188159/02-DS-220909-SKELCAP-CELLS-1F.pdf
- New Mexico cloud charge density estimate: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/98JD01674

a) $q = 30\ kC/s \cdot 30\ \mu s = 30000\ C/s \cdot 30 \cdot 10^{-6}\ s = 0{,}9\ C$ (1)
$m(Mn^{2+}) = 900\ mC\ /\ (1{,}602 \cdot 10^{-19} \cdot 6{,}022 \cdot 10^{23}\ C/mol) \cdot ½ \cdot 54{,}94\ g/mol =$ **0,3 mg** (1)

b) $V_s = (60{,}2\ mm)^2/4 \cdot 138\ mm \cdot 3{,}14 = 3{,}93 \cdot 10^{-4}\ m^3$ (0,5)
$q = (6{,}80\ Wh/kg \cdot 3600\ J/Wh \cdot 0{,}530\ kg)\ /\ 2{,}85\ V = 4550\ C$ (1)
$CD_s = 4550\ C\ /\ 3{,}93 \cdot 10^{-4}\ m^3 = 11{,}6 \cdot 10^6\ C/m^3$ (0,5)
$k = 11{,}6 \cdot 10^6\ C/m^3\ /\ 2{,}0 \cdot 10^{-9}\ C/m^3 =$ **$5{,}8 \cdot 10^{15}$ times** (0,5)

c) $q_o = 10^5$ mAh/kg ·3,6 J/mAh · 0,011 kg = 4000 C
k_1 = (0,9 C ·300 MV) / (4000 C ·1,5 V) = **45000 orbs** (1)
k_2 = 4000 C / 0,9 C= **4000 bolts** (1)
d) E_h = (11 TWh · 3,6·10^{15} J/TWh) / (365,25 days · 560000 households) = 190 MJ (1)
k = 190 MJ / (0,9 C ·300 MV·0,01) = **72 bolts** (0,5)
e) $N_2+O_2 = 2NO$ (1)
$3O_2 = 2O_3$ (1)

6. Ilutulestik (Jürgen-Martin Assafrei) **10 p**

Allikas: https://earthsky.org/human-world/how-do-fireworks-get-their-vibrant-colors/

a) $M(KClO_x)$ = 35,45/0,2893=122,54 g/mol
$M(O_x)$ = 122,54 − 35,455 – 39,10 = 47,99 g/mol
x = 47,99/16,00 = **3** (1)
$M(KClO_y)$ = 35,45/0,2559 = 138,53
$M(O_y)$ = 138,53 – 35.45 – 39.10 = 63,98
y = 63,98/16,00 = **4** (1)
b) $10KNO_3 + 8C + 3S = 2K_2CO_3 + 3K_2SO_4 + 6CO_2 + 5N_2$ (1)
c) $6KNO_3 + C_7H_4O + 2S = K_2CO_3 + K_2SO_4 + K_2S + 4CO_2 + 2CO + 2H_2O + 3N_2$ (1)
d) $C_6H_{10}O_5$ (1)
e) Cu ja Sr (1)
f) Mg

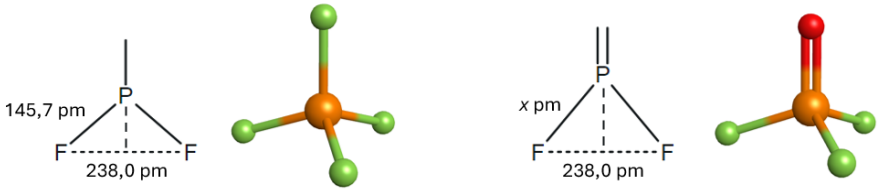
7. Molekulide geomeetria (Andreas Päkk) **(10 p)**

Allikas: http://alpha.chem.umb.edu/chemistry/ch370

a) Molekulid ja ioonid: CF_3^+, PF_3, SCl_4, SCl_2, CBr_4 (5×1)

	AX_2E_2	AX_3	AX_3E	AX_4	AX_4E
Molekul	SCl_2	CF_3^+	PF_3	CBr_4	SCl_4

b) Nii C–X sideme pikkus kui ka X–C–X nurga suurus kasvavad reas: $COF_2 < COCl_2 < COBr_2$. (2)
c) LCP-teooria järgi on PF_4^+ ioonis ja POF_3 molekulis kõrvuti asetsevate (geminaalsete) fluori aatomite vahekaugus samaväärne (238,0 pm). Vaatleme F–P–F sidemete vahelist ala kui tasapinnalist võrdkülgset kolmnurka, mille poolitamisel saame kaks täisnurkset kolmnurka. Fluori aatomite vahekaugus $d_{F–F} = 2r_F$, seega $r_F = d_{F–F}/2$.

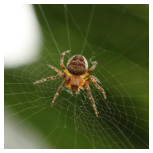
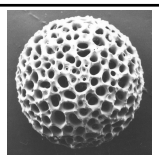
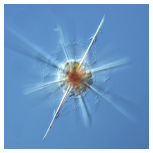


PF_4^+ POF_3

sin(γ/2) = vastaskaatet/hüpotenuus = r/x (2)
$x_{P–F} = r/\sin(\gamma/2)$ = 119 pm/sin(50,55°) = 154,1 pm
Tegelik eksperimentaalne väärtus on 152,4 pm [https://cccbdb.nist.gov/exp2x.asp].

1 pm = 1,0 · 10^{-12} m ja 1 Å = 1,0 · 10^{-10} m, seega 1 Å on 10^2 korda suurem mõõtühik kui 1 pm ehk 154,1 pm = **1,541 Å**. (1)

8. Loomade "majad" (Vladisalv Ivaništšev) (20×0,5) **10 p**

Loom	**Looma foto**	**"Maja" tüüp**	**Materjali nimetus**	**Lihtsustatud ühendi valem**	**Keemilise ühendi klass**
Mesilane		Kärg	Vaha	$C_{15}H_{31}COOC_{30}H_{61}$	Rasvhappe ester
Ämblik		Võrk	Siid	$(NHCH_2CO–NHCH(CH_3)COO)_n$	Valk (peamiselt glütsiin ja alaniin)
Tigu		Koda	Kaltsiit	$CaCO_3$	Sool
Tsikaad		Eksoskelett	Kitiin	$(C_8H_{13}O_5N)_n$	Polüsahhariid
Radiolaaria, algloom		Eksoskelett	Ränidioksiid	SiO_2	Oksiid
Achantarea mikroorganism, algloom		Eksoskelett	Tselestiin	$SrSO_4$	Sool

9. Elementaarne Sudoku (Vladislav Ivaništšev) (30×⅓) **10 p**

Allikas: https://edu.rsc.org/resources/elemental-su-doku/630.article

O	Be	Li	Cl		Al	Ge	Kr	As
N	B		Na	Ar	Si	Se	Br	Ca
C	F	Ne	P	Mg	S		Ga	K
Sr	Sn	Sb	Rn	Cs		In	Te	I
Xe		In	Po	At	Bi	Rb	Sr	Sn
I	Rb	Te	Tl	Pb	Ba	Sb		Xe
Li	Ne	C		S	Cl	Ca	As	Ga
B	O	Be	Si	P	Ar	Br	K	
	N	F	Mg	Al	Na	Kr	Ge	Se