შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდი
საქათველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო

ქიმიის 55-ე საერთაშორისო ოლიმპიადისთვის საქართველოს ნაკრები გუნდის წევრების შესარჩევი კონკურსი

55TH INTERNATIONAL CHEMISTRY OLYMPIAD SWITZERLAND 2023

I ტური

ამოცანები

ამოცანების შემდგენლები:
ელიზბარ ელიზბარაშვილი
ლაშა ხუციშვილი
თინათინ ბუთხუზი
გიორგი პეტრიაშვილი
სოფიკო ფაცაცია
ვახტანგ კურცხალია

8 მაისი, 2023

სტუდენტის კოდი: _____

ძვირფასო მონაწილეებო

ამოცანების ამოხსნისას გთხოვთ გახსოვდეთ:

- ტურის ხანგრძლივობა შეადგენს 5 (ხუთ) ასტრონომიულ საათს.
- ტესტის მაქსიმალურ ქულათა ჯამია 100 ქულა
- თითოეული ამოცანის მაქსიმალური ქულა მოცემულია შესაბამის ამოცანები მარჯვენა კიდეში
- პასუხების ფურცელზე აუცილებლად დააწერეთ თქვენი გვარი, სახელი და სკოლა.
- პასუხები უნდა ჩაიწეროს მხოლოდ პასუხების ფურცელში მოცემულ შესაბამის უჯრებში.
- პასუხი, რომელიც შესაბამისი უჯრის გარეთ იქნება შეტანილი, არ შეფასდება.
- პასუხები დაწერეთ გარკვევით
- ქიმიური რეაქციის ტოლობებში სტექიომეტრიული კოეფიციენტები გაასწორეთ
- აუცილებლად მიუთითეთ სიდიდეების განზომილებები, სადაც არის შესაძლებელი
- შეწყვიტეთ პასუხების გაცემა და დადეთ თქვენი კალამი დროის ამოწურვისთანავე.
- პასუხების ფურცელი და თეორიული ტესტების ფურცელი შეგროვდება წერის დასრულებისას.

გისურვებთ წარმატებებს!

ფიზიკური კონსტანტები, ერთეულები, ფორმულები და განტოლებები

გაზის უნივერსალური კონსტანტა	$R = 8.3145\ \mathrm{J{\cdot}K^{-1}{\cdot}mol^{-1}}$
სტანდარტული წნევა	$p^\circ = 1\ \mathrm{bar} = 10^5\ \mathrm{Pa} = 750\ \mathrm{mmHg}$
ატმოსფერული წნევა	$1\ \mathrm{atm} = 1.013{\times}10^5\ \mathrm{Pa} = 760\ \mathrm{mmHg}$
ცელსიუსის შკალის ნულ წერტილი	273.15 K
1 მასის ატომური ერთეული (მ.ა.ე.)	1.661×10^{-27} კგ

შექცევადი ადიაბატური პროცესი იდეალური გაზისათვის	$pV^{1+R/C_V} = \mathrm{const}$
იდეალური გაზის მიერ შესრულებული მუშაობა ადიაბატურ პროცესში	$W = nC_V(T_2 - T_1)$
შინაგანი ენერგიის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე	$U(T_2) = U(T_1) + C_V(T_2 - T_1)$
კავშირი მოლურ იზობარულ და იზოქორულ თბოტევადობას შორის იდეალური გაზებისათვის	$C_p = C_V + R$
ჯიბსის ენერგია	$G = H - TS$
კავშირი წონასწორობის კონსტანტასა და სტანდარტულ ჯიბსის ენერგიას შორის	$K = \exp\left(-\frac{\Delta G^\circ}{RT}\right)$
რეაქციის ჯიბსის ენერგიის დამოკიდებულება კონცენტრაციასა და წნევაზე $a = c$ / (1 mol/L) ხსნარის სუბსტანციებისათვის, $a = p$ / (1 bar) გაზებისათვის	$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{a_{\mathrm{prod}}}{a_{\mathrm{reag}}}$,
ჯიბსის ენერგიის ცვლილება დროში ერთეულ მოცულობაში სისტემისათვის, რომელიც მოიცავს ორ ქიმიურ რეაქციას 1 და 2 შესაბამისი რეაქციის სიჩქარეებით r_1 და r_2	$\frac{\Delta G_{\mathrm{Syst}}}{\Delta t} = \Delta G_1 r_1 + \Delta G_2 r_2$
არენიუსის განტოლება რეაქციის სიჩქარი მუდმივისთვის	$k = A \exp(-E_a/RT)$
პლანკის დამოკიდებულება [$h = 6.626 \times 10^{-34}$ ჯ * წმ]	$E = h\nu = hc/\lambda$

ელემენტების პერიოდულობის ცხრილი

ატომური რიცხვი
სიმბოლო
დასახელება
დაფუძნებული ატომური მასა

H გაზი
Li მყარი
Br სითხე

მეტალოიდები
არამეტალები
- არამეტალები
- პალოგენები
- კეთილშობილი გაზები

მეტალები
- ტუტე მეტალები
- ტუტეშინა მეტალები
- ლანთანოიდები
- აქტინოიდები
- გარდამავალი მეტალები
- პოსტ-გარდამავალი მეტალები

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H წყალბადი 1.008																	2 He ჰელიუმი 4.003
2	3 Li ლითიუმი 6.94	4 Be ბერილიუმი 9.01											5 B ბორი 10.81	6 C ნახშირბადი 12.01	7 N აზოტი 14.00	8 O ჟანგბადი 15.99	9 F ფტორი 19.00	10 Ne ნეონი 20.18
3	11 Na ნატრიუმი 22.99	12 Mg მაგნიუმი 24.30											13 Al ალუმინი 26.98	14 Si სილიციუმი 28.08	15 P ფოსფორი 30.97	16 S გოგირდი 32.06	17 Cl ქლორი 35.45	18 Ar არგონი 39.95
4	19 K კალიუმი 39.10	20 Ca კალციუმი 40.08	21 Sc სკანდიუმი 44.96	22 Ti ტიტანი 47.87	23 V ვანადიუმი 50.94	24 Cr ქრომი 52.00	25 Mn მანგანუმი 54.94	26 Fe რკინა 55.85	27 Co კობალტი 58.93	28 Ni ნიკელი 58.69	29 Cu სპილენძი 63.55	30 Zn თუთია 65.38	31 Ga გალიუმი 69.72	32 Ge გერმანიუმი 72.63	33 As დარიშხანი 74.92	34 Se სელენი 78.97	35 Br ბრომი 79.90	36 Kr კრიპტონი 83.80
5	37 Rb რუბიდიუმი 85.48	38 Sr სტრონციუმი 87.62	39 Y იტრიუმი 88.91	40 Zr ცირკონიუმი 91.22	41 Nb ნიობიუმი 92.91	42 Mo მოლიბდენი 95.95	43 Tc ტექნეციუმი 97.91	44 Ru რუთენიუმი 101.07	45 Rh როდიუმი 102.91	46 Pd პალადიუმი 106.42	47 Ag ვერცხლი 107.87	48 Cd კადმიუმი 112.41	49 In ინდიუმი 114.82	50 Sn კალა 118.71	51 Sb სტიბიუმი 121.76	52 Te ტელური 127.60	53 I იოდი 126.90	54 Xe ქსენონი 131.29
6	55 Cs ცეზიუმი 132.91	56 Ba ბარიუმი 137.33	57-71 La-Lu ლანთანოიდები	72 Hf ჰაფნიუმი 178.49	73 Ta ტანტალი 180.95	74 W ვოლფრამი 183.84	75 Re რენიუმი 186.21	76 Os ოსმიუმი 190.23	77 Ir ირიდიუმი 192.22	78 Pt პლატინა 195.08	79 Au ოქრო 196.97	80 Hg ვერცხლისწყალი 200.59	81 Tl თალიუმი 204.38	82 Pb ტყვია 207.2	83 Bi ბისმუთი 208.98	84 Po პოლონიუმი 208.98	85 At ასტატი 209.99	86 Rn რადონი 222.02
7	87 Fr ფრანციუმი 223.02	88 Ra რადიუმი 226.03	89-103 Ac-Lr აქტინოიდები	104 Rf რეზერფორდიუმი 267.12	105 Db დუბნიუმი 270.13	106 Sg სიბორგიუმი 269.13	107 Bh ბორიუმი 270.13	108 Hs ჰასიუმი 269.13	109 Mt მეიტნერიუმი 278.16	110 Ds დარმშტადტიუმი 281.17	111 Rg რენტგენიუმი 281.17	112 Cn კოპერნიციუმი 285.18	113 Nh ნიჰონიუმი 286.18	114 Fl ფლეროვიუმი 289.19	115 Mc მოსკოვიუმი 289.20	116 Lv ლივერმორიუმი 293.20	117 Ts ტენესინი 293.21	118 Og ოგანესონი 294.21

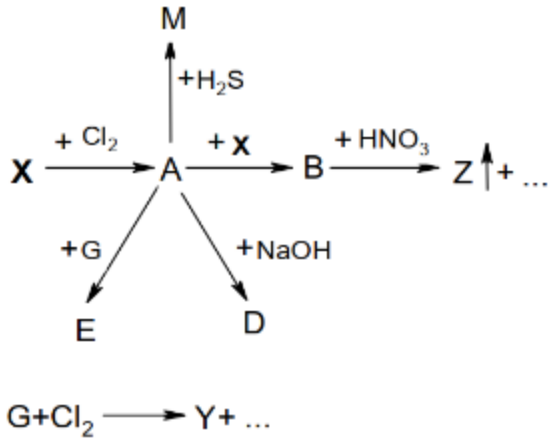
ლანთანოიდები	57 La ლანთანი 138.91	58 Ce სერიუმი 140.12	59 Pr პრაზეოდიმიუმი 140.91	60 Nd ნეოდიმიუმი 144.24	61 Pm პრომეთიუმი 144.91	62 Sm სამარიუმი 150.36	63 Eu ევროპიუმი 151.96	64 Gd გადოლინიუმი 157.25	65 Tb ტერბიუმი 158.93	66 Dy დისპროზიუმი 162.50	67 Ho ჰოლმიუმი 164.93	68 Er ერბიუმი 167.26	69 Tm თულიუმი 168.93	70 Yb იტერბიუმი 173.05	71 Lu ლუტეციუმი 175.0
აქტინოიდები	89 Ac აქტინიუმი 227.03	90 Th თორიუმი 232.04	91 Pa პროტაქტინიუმი 231.04	92 U ურანი 238.03	93 Np ნეპტუნიუმი 237.05	94 Pu პლუტონიუმი 244.06	95 Am ამერიციუმი 243.06	96 Cm კიურიუმი 247.07	97 Bk ბერკელიუმი 247.07	98 Cf კალიფორნიუმი 251.08	99 Es აინშტაინიუმი 252.08	100 Fm ფერმიუმი 257.10	101 Md მენდელევიუმი 258.10	102 No ნობელიუმი 259.10	103 Lr ლორენსიუმი 262

ამოცანა 1. შერლოკი და ქიმია (15%)

1.1.	1.2.	1.3.	1.4.	1.5.	სულ
18	14	4	6	6	48

ცნობილ სერიალში „შერლოკი“ მთავარი პერსონაჟი არაერთხელ იყენებს ქიმიის ცოდნას კრიმინალური სცენების გამოძიების დროს. ერთხელ მკვლელობის ადგილზე ყოფნისას შერლოკ ჰოლმსი კანფეტის ქაღალდზე დაკვირვების შემდეგ მიხვდა, რომ კრიმინალმა გამოიყენა მარტივი ნივთიერება **X** „დისტანციური მკვლელობისთვის“ (ანუ მსხვერპლი მოწამლა კრიმინალმა და ინტოქსიკაციის დროს იმ მომენტში ეჭვმიტანილი ადგილზე არ იმყოფებოდა).

ქვემოთ მოცემულია ნივთიერებათა გარდაქმნის სქემა, რომელშიც მარტივი ნივთიერება **X** მონაწილეობს:



ნივთიერება **X** რეაქციაში შედის ქლორთან 70-120 °C ტემპერატურაზე და წარმოიქმნება **A** ნივთიერება, რომელსაც შემდგომი გახურებით 250 °C-მდე კიდევ შეუძლია **X** ნივთიერებასთან ურთიერთქმედება. ამ უკანასკნელი რეაქციის პროდუქტი **B**, კონცენტრირებულ აზოტმჟავასთან რეაქციის შედეგად წარმოქმნის მურა წითელი ფერის აირს, **Z**-ს.

A ნივთიერებაზე განზავებული ნატრიუმის ტუტის დამატების შემდეგ წარმოიქმნება ყვითელი ფერის ნალექი **D**. **D** ნაერთის მიღება მარტივი ნივთიერებების შეერთების რეაქციითაც შეიძლება მივიღოთ, ოღონდ ამ შემთხვევაში პროდუქტს წითელი ფერი ექნება.

ნივთიერება **E** ცნობილი აღმომჩენი რეაქტივია ანალიზურ ქიმიაში. მისი მიღება შეიძლება **A** ნივთიერებაზე ნაჯერი ბინარული კალიუმის მარილის, **G**-ს, მოქმედებით. **G** ნივთიერების ხსნარში ქლორის გატარებით მიიღება იისფერი შეფერილობის ნივთიერება **Y**.

ნივთიერება **M** მიიღება **A** ნივთიერების წყალხსნარში გოგირდწყალბადის გატარებით. დიდი ხნის განმავლობაში **M** ნივთიერება საღებავების წარმოებაში გამოიყენებოდა წითელ პიგმენტად, თუმცა დღეს მისი გამოყენება დაუშვებელია ელემენტ **X**-ის ტოქსიკურობის გამო.

ცნობილია ელემენტი X-ის მასური წილის თანაფარდობა ნაერთებში **M** და **D**:

$$\frac{\omega_{\mathbf{M}}(\mathbf{X})}{\omega_{\mathbf{D}}(\mathbf{X})} = 0.9313$$

1.1. დაწერეთ **A, B, Z, M, G, Y, D, X, E** ნივთიერებების მოლეკულური ფორმულები. პასუხი დაასაბუთეთ.

ამოცანის პირობიდან ცხადია, რომ M (X_2S_n) ნივთიერება სულფიდია, ხოლო D ოქსიდია (X_2O_n). D შეუძლებელია ჰიდროქსიდი იყოს, რადგან პირობის მიხედვით, მისი მიღება ასევე მარტივი ნივთიერებების შეერთების რეაქციითაც შეიძლება. შესაბამისად, თანაფარდობის გამოყენებით:

$$\frac{M(X) + nM(O)}{M(X) + nM(S)} = \frac{M(X) + 16n}{M(X) + 32n} = 0.9313 \quad \Longrightarrow \quad M(X) = 200.87n$$

ვალენტობა $n = 1$-ისთვის, $M(X) = 200.87$ გ/მოლი, რაც შეესაბამება ვერცხლისწყალს.

შესაბამისად:

$$M \equiv HgS; \quad D \equiv HgO; \quad A \equiv HgCl_2; \quad B \equiv Hg_2Cl_2.$$

ფერის მიხედვით, ადვილი მისახვედრია, რომ $Y \equiv I_2$. შესაბამისად, $G \equiv KI$.

შემდეგ:

$$HgCl_2 + 4KI \rightarrow K_2[HgI_4] + 2KCl$$

$$E \equiv K_2[HgI_4]$$

მურა წითელი ფერის აირია $Z \equiv NO_2$.

A	B	Z	M	G
$HgCl_2$	Hg_2Cl_2.	NO_2	HgS	KI
Y	D	X	E	
I_2	HgO	Hg	$K_2[HgI_4]$	

(18 ქულა)

1.2. დაწერეთ სქემაზე მოცემული ყველა რეაქციის გათანაბრებული ტოლობები.

$$Hg + Cl_2 \rightarrow HgCl_2$$
$$HgCl_2 + Hg \rightarrow Hg_2Cl_2$$
$$HgCl_2 + H_2S \rightarrow HgS + 2HCl$$
$$Hg_2Cl_2 + 4HNO_3 \rightarrow HgCl_2 + Hg(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$$
$$HgCl_2 + 4KI \rightarrow K_2[HgI_4] + 2KCl$$
$$2KI + Cl_2 \rightarrow 2KCl + I_2$$
$$HgCl_2 + 2NaOH \rightarrow HgO + H_2O + 2NaCl$$

(14 ქულა)

1.3. გამოთვალეთ $K_{sp}(\mathbf{B})$ თუ **B** ნაერთის ხსნადობის მნიშვნელობაა $S^{25°C}(\mathbf{B}) = 0.307$ მგ/ლ.

$$Hg_2Cl_2 \rightarrow Hg_2^{2+} + 2Cl^-$$

$$\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad x \qquad 2x$$

$$K_{sp}(Hg_2Cl_2) = [Hg_2^{2+}][Cl^-]^2 = x \cdot (2x)^2 = 4x^3$$

$$x = \frac{S^{25°C}(Hg_2Cl_2)}{M(Hg_2Cl_2)} = \frac{0.307 \cdot 10^{-3}}{473} \text{ მოლი/ლ}$$

$$K_{sp}(Hg_2Cl_2) = 4 \cdot \left(\frac{0.307 \cdot 10^{-3}}{473}\right)^3 \approx 1.094 \cdot 10^{-18}$$

(4 ქულა)

1.4. G მარილი ხშირად გამოიყენება ანალიზურ ქიმიაში მჟანგავი ნივთიერებების წყალხსნარების კონცენტრაციის დასადგენად. დაწერეთ რეაქციის გათანაბრებული ტოლობები, როდესაც G მარილს ემატება:

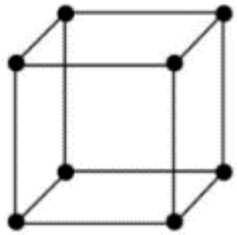
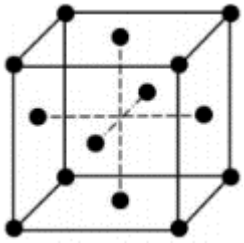
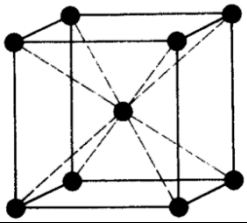
ა) კალიუმის დიქრომატის გოგირდმჟავით შემჟავებული წყალხსნარი;
ბ) კალიუმის პერმანგანატის გოგირდმჟავით შემჟავებული წყალხსნარი;
გ) წყალბადის ზეჟანგი.

$$6KI + K_2Cr_2O_7 + 7H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 3I_2 + 4K_2SO_4 + 7H_2O$$
$$2KMnO_4 + 10KI + 8H_2SO_4 \rightarrow 2MnSO_4 + 5I_2 + 6K_2SO_4 + 8H_2O$$
$$H_2O_2 + 2KI \rightarrow I_2 + 2KOH$$

(6 ქულა)

M ნივთიერება ორი სტრუქტურული მოდიფიკაციის სახით არსებობს: α-**M** და β-**M**. როგორც იცით, არსებობს სამი ძირითადი ტიპის კუბური კრისტალური მესერი: მარტივი, სახეცენტრული და მოცულობაცენტრული.

1.5. განსაზღვრეთ ატომების რაოდენობა ერთეულოვან უჯრედში თითოეული ტიპის კუბური კრისტალური მესრის შემთხვევაში.

ერთეულოვანი უჯრედი	განმარტება	ატომების რაოდენობა
	$\frac{1}{8} \cdot 8 = 1$	1
	$\frac{1}{8} \cdot 8 + \frac{1}{2} \cdot 6 = 4$	4
	$\frac{1}{8} \cdot 8 + 1 = 2$	2

(6 ქულა)

ამოცანა 2. ტიტრაცია (19%)

კითხვა	3.1.	3.2.	3.3.	3.4.	3.5.	სულ
ქულა	6	8	6	4	5	29

ტექნიკური ნატრიუმის ჰიდროქსიდის მთავარი მინარევი ნატრიუმის კარბონატია. იმისათვის, რომ ჩატარდეს ტექნიკური ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ანალიზი, 1.025 გ გახსნეს გამოხდილ წყალში, გადაიტანეს 250 მლ-იან მოცულობით კოლბაში, წყლით შეავსეს ჭდემდე და მოურიეს. ამ ხსნარის 25 მლ ალიკვოტას დაამატეს 1 წვეთი ფენოლფთალეინი და გატიტრეს 0.09931 M მარილმჟავას ხსნარით ვარდისფერი ფერის გაქრობამდე. ამ დროს დაიხარჯა 24.50 მლ მარილმჟავას ხსნარი. ამის შემდეგ მიღებულ ხსნარს დაამატეს მეთილნარინჯი და განაგრძეს ტიტრაცია ფერის ცვლილებამდე, რა დროსაც დაიხარჯა მჟავას 0.58 მლ ხსნარი. ჩათვალეთ, რომ სხვა მინარევები რეაქციაში მჟავასთან არ შედიან.

ინდიკატორების გარდაქმნის pH ინტერვალი: $\Delta\text{pH}(\text{მეთილნარინჯი}) = 3 - 4.5$; $\Delta\text{pH}(\text{ფენოლფთალეინი}) = 8 - 10$.

H_2CO_3-ის დისოციაციის მუდმივები: $K_{a1} = 4.5 \cdot 10^{-7}$; $K_{a2} = 4.7 \cdot 10^{-11}$.

2.1. დაწერეთ ტექსტში აღწერილი ტიტრაციის დროს მიმდინარე რეაქციების ტოლობები.

ფენლოფთალეინი ფუძე არის ინდიკატორია, ხოლო მეთილნარინჯი კი მჟავას.
პირველ ეტაპზე ფენოლფთალეინით ტიტრაციის დროს მიმდინარეობს რეაქციები:

$$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$$

$$Na_2CO_3 + HCl \rightarrow NaHCO_3 + H_2O$$

პირველი ეტაპის დასრულების შემდეგ მეორე ტიტრაციის დროს წარმოქმნილი ნახშირმჟავას გამო ხსნარი ფერს იცვლის ფენოლფთალეინის არეში:

$$NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + CO_2 \uparrow + H_2O$$

(6 ქულა)

2.2. გამოთვალეთ ნატრიუმის ჰიდროქსიდისა და ნატრიუმის კარბონატის მასური წილები ნიმუშში.

შემოგვაქვს აღნიშვნები:

$V_1 = 250$ მლ - ხსნარის ჯამური მოცულობა

$V_2 = 25.0$ მლ - საკვლევად აღებული ალიკვოტის მოცულობა

$V_3 = 24.50$ მლ - ფენოლფთალეინის არეში ტიტრაციის დროს დახარჯული მჟავას მოცულობა

$V_4 = 0.58$ მლ - მეთილნარინჯის არეში ტიტრაციის შედეგად დახარჯული მჟავას მოცულობა

$C(HCl) = 0.09931$ M - მარილმჟავას ხსნარის კონცენტრაცია.

$m_s = 1.0250$ გ - საკვლევი ნიმუშის აღებული მასა.

გავიფოთ ნატრიუმის ჰიდროკარბონატის რაოდენობა:

$$n(NaHCO_3) = n(HCl) = \frac{C(HCl) \cdot V_4}{1000} = \frac{0.09931 \cdot 0.58}{1000} = 5.76 \cdot 10^{-5} \text{ მოლი}$$

ნატრიუმის კარბონატის რაოდენობა ზუსტად იგივეა, რადგან ნატრიუმის კარბონატი სრულიად გარდაიქმნება ნატრიუმის ჰიდროკარბონატში. შესაბამისად:

$$m(Na_2CO_3) = \frac{n(Na_2CO_3) \cdot M(Na_2CO_3) \cdot V_1}{V_2} = \frac{5.76 \cdot 10^{-5} \cdot 106 \cdot 250.0}{25.0} = 0.0611\ g$$

შესაბამისად, მასური წილი:

$$\omega(Na_2CO_3) = \frac{m(Na_2CO_3)}{m_s} = \frac{0.0611}{1.0250} = 0.0596 = 5.96\%$$

ნატრიუმის კარბონატის მასური წილის გამოთვლა არ შეიძლება 100%-5.96% სხვაობით, რადგან ნიმუში შეიძლება შეიცავდეს სხვა მინარევებს, რომლებიც ტიტრაციის შედეგებზე გავლენას არ ახდენს, მაგალითად, წყალს (შთანთქმული ტენი).

ნატრიუმის ტუტის ტიტრაციაზე დახარჯული მჟავას მოცულობაა: $\Delta V = V_3 - V_4 = 24.5 - 0.58 = 23.92$ მლ. შესაბამისად, ტუტის რაოდენობა:

$$n(NaOH) = n'(HCl) = \frac{C(HCl) \cdot \Delta V}{1000} = \frac{0.09931 \cdot 23.92}{1000} = 0.002375\ \text{მოლი}$$

250 მლ-იან მოცულობით კოლბაში ნატრიუმის ტუტის მასა:

$$m(Na_2CO_3) = \frac{n(NaOH) \cdot M(NaOH) \cdot V_1}{V_2} = \frac{0.002375 \cdot 40 \cdot 250.0}{25.0} = 0.9502\ g$$

მასური წილი ნიმუშში:

$$\omega(NaOH) = \frac{m(NaOH)}{m_s} = \frac{0.9502}{1.0250} = 0.927 = 92.7\%$$

(8 ქულა)

2.3. გამოთვალეთ ხსნარის pH ეკვივალენტობის წერტილის მიღწევის შემდეგ ფენოლფთალეინით ტიტრაციისას.

გასათვალიწინებელია წყლის ავტოპროტოლიზი:

$$HCO_3^- \rightarrow H^+ + CO_3^{2-} \qquad K_{a2}$$
$$HCO_3^- + H^+ \rightarrow H_2CO_3 \qquad 1/K_{a1}$$
$$H_2O \rightarrow H^+ + OH^- \qquad K_w$$

$$[H^+] = [CO_3^{2-}] - [H_2CO_3] + [OH^-]$$

$$[H^+] = \frac{K_{2a}C}{[H^+]} - \frac{[H^+]C}{K_{a1}} + \frac{K_w}{[H^+]}$$

$$[H^+]^2 K_{a1} = K_{a1}K_{a2}C - [H^+]^2 + K_w K_{a1}$$

$$[H^+] = \sqrt{\frac{K_{a1}K_{a2}C + K_w K_{a1}}{K_{a1} + C}} \approx \sqrt{K_{a1}K_{a2}}$$

მნიშვნელობების ჩასმითა და გალოგარითმებით:

$$pH = 8.36$$

(6 ქულა)

მჟავა-ტუტის აღმომჩენი რეაგენტები (ინდიკატორები), როგორც წესი სუსტ ორგანულ მჟავებს ან ფუძეებს წარმოადგენენ, რომელთა პროტონირებულ და დეპროტონირებულ ფორმებს

სხვადასხვა ფერი აქვთ. გამარტივებული სახით ინდიკატორის ფორმულა ჩავწეროთ HInd-ის სახით:

$$\mathrm{HInd} \rightarrow \mathrm{H}^+ + \mathrm{Ind}^-$$

როგორც იცით, ინდიკატორი მყისიერად არ იცვლის ფერს, პროტონირებული და დეპროტონირებული ფორმების კონცენტრაციების თანაფარდობის თანდათანობითი ცვლილების შემდეგ იცვლება ინდიკატორის ფერი. ფერის ცვლილების ინტერვალს ეწოდება ინდიკატორის გარდაქმნის ინტერვალი და მისი მიახლოებითი შეფასება შესაძლებელია pH ერთეულებით:

$$\Delta\mathrm{pH} = \mathrm{pK}_{\mathrm{HInd}} \pm 1$$

2.4. გამოთვალეთ $[\mathrm{HInd}]/[\mathrm{Ind}^-]$ თანაფარდობა ფენოლფთალეინის გარდაქმნის ინტერვალის დაწყების დროს (როცა pH=8).

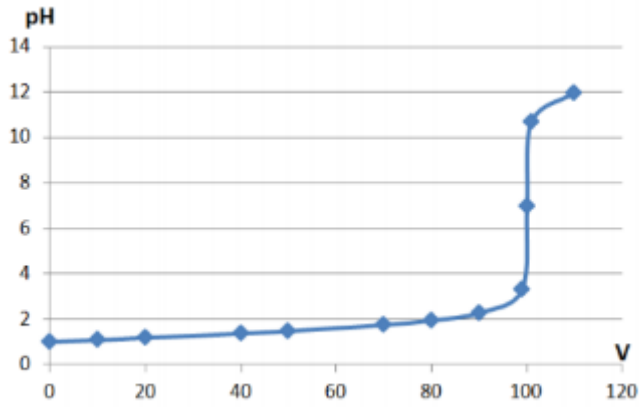
$$\Delta pH = pH_{HInd} \pm 1 = 9 \pm 1 \quad \Longrightarrow \quad K_{HInd} = 9 \quad \Longrightarrow \quad K_{HInd} = 10^{-9}$$

$$\frac{[HInd]}{[Ind^-]} = \frac{[H^+]}{K_{HInd}} = \frac{10^{-8}}{10^{-9}} = 10$$

(4 ქულა)

მჟავა-ტუტე ტიტრაციის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია გატიტვრის მრუდი. ხსნარის pH-ის დამოკიდებულება დამატებული ტიტრანტის მოცულობაზე.

2.5. 0.1 M ნატრიუმის ჰიდროქსიდით ტიტრავენ 100 მლ 0.1 M მარილმჟავას. ააგეთ გატიტვრის მრუდი.



(5 ქულა)

ამოცანა 3. ფერმენტებული რეაქციების კინეტიკა (22%)

3.1.	3.2.	3.3.	3.4.	3.5.	3.6.	ჯამი
3	3	6	12	3	5	32

კატალიზური რეაქციების საკმაოდ მნიშვნელოვანი კლასია ფერმენტული რეაქციები, რამდენადაც სასიცოცხლო პროცესები მათზეა დაფუძნებული. იგი ასვე ფართოდ გამოიყენება ბიოტექნოლოგიაში, ამიტომაც ფერმენტული რეაქციები ინტენსიური კვლევის საგანია. ამ რეაქციების არაერთი მექანიზმია შემოთავაზებული და მათგან ყველაზე გავრცელებულია ე. წ. მიხაილ-მენთენის მექანიზმი, რომელიც შემდეგი ზოგადი სქემით შეიძლება ჩაიწეროს:

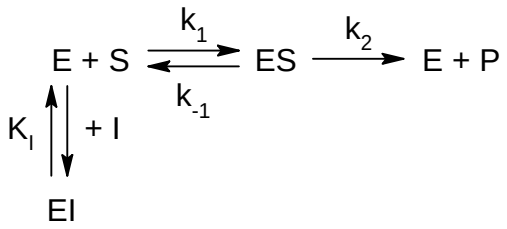
$$E + S \underset{k_{-1}}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} ES \xrightarrow{k_2} E + P$$

სადაც, E - ფერმენტია თავისუფალ ფორმაში, S - სუბსტრატი, ES - ფერმენტ-სუბსტრატის კომპლექსი, P - პროდუქტი.

საწყისი რეაქციის სიჩქარე (სუბსტრატის მცირე ხარისხით გარდაქმნებისთვის) შემდეგნაირად:

$$v_o = \frac{v_{max}[S]}{K_M + [S]}, \qquad K_M = \frac{k_{-1} + k_1}{k_1}$$

სარეაქციო არეში კონკურენტული ინჰიბიტორის (ნივთიერება, რომელიც ბლოკავს ფერმენტის აქტიურ ცენტრს და ამით სუბსტრატისთვის ენზიმს ხელმიუწვდომელს ხდის) დამატების შემდეგ რეაქცია ფერხდება. კონკურენტული ინჰიბიტორის მოქმედება რეაქციისთვის, რომელიც მიხაილ-მენთენის მექანიზმით მიმდინარეობს მოცემულია სქემაზე:



ამ სისტემაში არსებული თავისუფალი ფერმენტი წონაწორობაშია ინჰიბიტორთან. ეს კი წონაწორობის მუდმივით გამოისახება:

$$K_I = \frac{[E][I]}{[EI]}$$

რეაქციის სიჩქარე კი შემდეგნაირად გამოისახება:

$$v_0 = \frac{v_{max}[S]}{K'_M + [S]}$$

სადაც K'_M ე. წ. მიხაილის მუდმივაა.

შარდოვანას (NH_2CONH_2) ჰიდროლიზის რეაქციის კატალიზატორი ურეაზაა. შეისწავლეს ამ რეაქციის კინეტიკა. $T = 323$ K-ზე 10 მგ ფერმენტი (მოლეკულური მასა $4.8 \cdot 10^5$ გ/მოლი) დაამატეს 100 მლ წყალს. საწყისი სიჩქარეები კონდუქტომეტრული გაზომვების საშუალებით

დაადგინეს შარდოვანას [S] სხვადასხვა კონცენტრაციაზე. ამ ექსპერიმენტის შედეგები მოცემულია ცხრილში:

[S], მოლი/ლ	0.0100	0.0070	0.0040
t, წთ	κ, მსიმ/სმ$^{-1}$		
0	0.090	0.080	0.08
1	0.320	0.250	0.190
2	0.550	0.420	0.300

ცხრილი 1. უინჰიბიტორო სისტემა

შემდეგ, ანალოგიურად შეისწავლეს რეაქციის კინეტიკა თიოშარდოვანას (NH_2CSNH_2) თანაობისას, რაც კონკურენტული ინჰიბიტორის როლს თამაშობს რეაქციაში. თიოშარდოვანას კონცენტრაცია ექსპერიმენტებში არის $[I] = 0.0100$ მოლი/ლ. გაზომვების შედეგები მოცემულია ცხრილში:

[S], მოლი/ლ	0.0100	0.0070	0.0040
t, წთ	κ, მსიმ/სმ$^{-1}$		
0	0.070	0.070	0.070
1	0.222	0.180	0.138
2	0.374	0.290	0.206

ცხრილი 2. ინჰიბიტორიანი სისტემა

ელექტროგამტარობა (κ) ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებელია, რომელიც აჩვენებს ელექტროლიტის უნარს ხსნარში გაატაროს ელექტრული მუხტი. ელექტროგამტარობის საზომი ერთეულია სიმ/მ (სიმ = სიმენსი = ომი$^{-1}$). ძლიერი ელექტროლიტების განზავებული ხსნარებისთვის κ პირდაპირპროპორციულია ელექტროლიტის კონცენტრაციის, ამიტომ რეაქციის სიჩქარე შეიძლება გამოისახოს κ-ს ცვლილებით დროში. მოცემულ დავალებებში გამოყენებულია რეაქციის საშუალო სიჩქარის ეს განსაზღვრება ($v = \frac{\Delta\kappa}{\Delta t}$).

ჩათვალეთ, რომ შარდოვანას ჰიდროლიზის რეაქცია მიხაილ-მენთენის მექანიზმის მიმდინარეობს. რეაქცია განზავებულ ხსნარში მიმდინარეობს, ამიტომაც წყლის კონცენტრაცია არ უნდა იყოს გათვალისწინებული კინეტიკის განტოლებებში.

3.1. დაწერეთ შარდოვანას ჰიდროლიზის რეაქცია, და ახსენით რატომ შეიძლება ამ რეაქციის კინეტიკის შესწავლა კონდუქტომეტრული გაზომვებით.

$$NH_2CONH_2 + 2H_2O \rightarrow NH_4^+ + NH_3 + HCO_3^-$$

3.2. გამოთვალეთ რეაქციის საწყისი სიჩქარეები სუბსტრატის თითოეული კონცენტრაციისთვის უინჰიბიტორო სისტემაში (ცხრილი 1.).

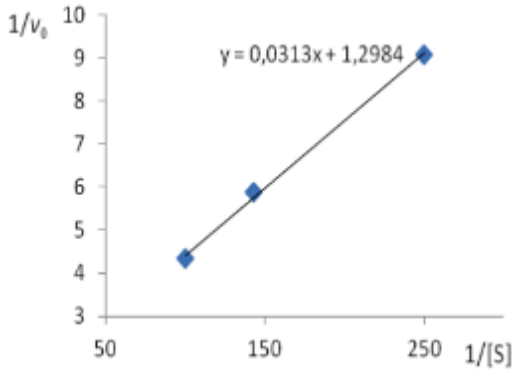
[S] / მოლი/ლ	v_0, მსიმ/(სმ•წთ)
0.0100	$\frac{0.32 - 0.09}{1 - 0} = 0.23$
0.0070	0.17
0.0040	0.11

3.3. გამოთვალეთ v_{max} და K_M. მიუთითეთ ერთეულები.

ამ მონაცემების გამოთვლა შესაძლებელია ორუცნობიანი განტოლების შედგენით ან უფრო ზუსტი, წრფივი რეგრესიით (თუ კომპიუტერზე წვდომა შესაძლებელია) ამვარად:
მიხაილ-მენთენის განტოლებას წრფივი სახე მივცეთ:

$$\frac{1}{v_0} = \frac{[S] + K_M}{v_{max}[S]} = \frac{1}{v_{max}} + \frac{K_M}{v_{max}} \cdot \frac{1}{[S]}$$

ცხრილში მოცემული მონაცემებს ექსელის ფაილში გადატანით და აგებით:



საიდანაც,

$v_{max} = \frac{1}{1.2984} = 0.770$ მსიმ/(სმ•წთ)

$K_M = \frac{0.0313}{1.2984} = 0.0241$ მოლი/ლ

3.4. დაამტკიცეთ მიხაილ-მენთენის განტოლება უინჰიბიტორო სისტემისთვის და გამოიყვანეთ K_M-სა და K'_M-ს შორის კავშირი. გაითვალისწინეთ სუბსტრატ-კომპლექსის კვაზი-სტაციონალური მდგომარეობა.

$$\frac{d[P]}{dt} = k_2[ES]$$

$$\frac{d[ES]}{dt} = k_1[E][S] - k_{-1}[ES] - k_2[ES]$$

კვაზისტაციონალური მდგომარეობა: $\frac{d[ES]}{dt} = 0$

მასური ბალანსი: $[E]_t = [E] + [ES]$, საიდანაც $[E] = [E]_t - [ES]$

$$k_1[S]([E]_t - [ES]) = [ES](k_{-1} + k_2)$$

$$k_1[S][E]_t - k_1[S][ES] = [ES](k_{-1} + k_2)$$

$$k_1[S][E]_t = [ES](k_{-1} + k_2 + k_1[S])$$

$$[ES] = \frac{k_1[S][E]_t}{k_{-1} + k_2 + k_1[S]}$$

$$\frac{d[P]}{dt} = \frac{k_2 k_1[S][E]_t}{k_{-1} + k_2 + k_1[S]} = \frac{k_2[S][E]_t}{\frac{k_{-1} + k_2}{k_1} + [S]}$$

აღნიშვნა: $K_m = \frac{k_{-1}+k_2}{k_1}$

ამასთანავე, ცხადია: $V_{max} = k_2[E]_t$

შესაბამისად:

$$\frac{d[P]}{dt} = V = \frac{V_{max}[S]}{K_m + [S]} \qquad \frac{1}{V} = \frac{Km}{V_{max}}\frac{1}{[S]} + \frac{1}{V_{max}}$$

ინჰიბიტორის არსებობოის შემთხვევაში მასური ბალანსის განტოლება მიიღებს ამგვარ სახეს:

$$[E]_t = [E] + [ES] + [EI]$$

შესაბამისად, ენზიმ-კომპლექსის კონცენტრაცია:

$$[ES] = \frac{K_1([E]_t - [ES] - [EI])[S]}{[EI]} = \frac{([E]_t - [ES] - [EI])[S]}{[EI]}$$

$$[EI] = \frac{([E]_t - [ES])[I]}{K_I + [I]}$$

ინჰიბიტორ-ენზიმის კომპლექსის ფორმულის ჩასმისა და გამარტივების შემდეგ:

$$[ES] = \frac{K_I[E]_t[S]}{K_I[S] + K_M[I] + K_M K_I}$$

$$[ES] = \frac{[E]_t[S]}{[S] + \frac{K_M}{K_I}[I] + K_M}$$

მაშასადამე:

$$v_0' = k_2[ES] = \frac{k_2[E]_t[S]}{[S] + \frac{K_M}{K_I}[I] + K_M} = \frac{v_{max}[S]}{[S] + K_M\left(1 + \frac{[I]}{K_I}\right)}$$

შესაბამისად:

$$K_M' = K_M\left(1 + \frac{[I]}{K_I}\right)$$

3.5. ინჰიბიტორიანი სისტემისთვის გამოთვალეთ საწყისი სიჩქარეები შარდოვანას სამივე კონცენტრაციის შემთხვევაში.

[S] / მოლი/ლ	v_0, მსიმ/(სმ•წთ)
0.0100	0.152
0.0070	0.110
0.0040	0.068

3.6. გამოთვალეთ K_I წონასწორობის მუდმივა.

მე-3-ში მოცემული პარამეტრებით:

$$\frac{K_M}{v_{max}} = 0.0538 \qquad \frac{1}{v_{max}} = 1.280$$

$v_{max}' = \frac{1}{1.280} = 0.781$ მსიმ/(სმ•წთ)

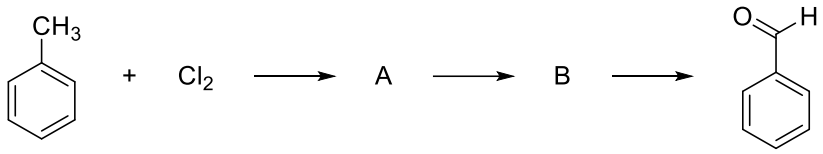
$K_M' = \frac{0.0538}{1.280} = 0.0420$ მოლი/ლ

$K_I = \frac{K_M[I]}{K_M' - K_M} = \frac{0.0241 \cdot 0.01}{0.0420 - 0.0241} = 0.0135$ მოლი/ლ

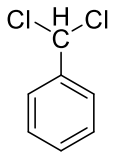
ამოცანა 4. პარფიუმერიის ქიმია (19%)

კითხვა	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ჯამი
ქულა	3	4	3	14	1	1	8	6	4	1	45

პარფიუმერულ ინდუსტრიაში გამოყენებული ნაერთები მაღალი ხარისხით (სისუფთავით) უნდა გამოირჩეოდეს. მათგან ერთ-ერთი მნიშვნელოვანია ბენზალდეჰიდი. მისი მომზადება შესაძლებელია ტოლუოლიდან შემდეგი გზით:

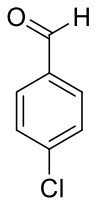
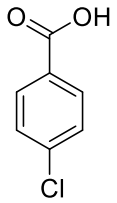


4.1. დაადგინეთ **A** და **B** ნივთიერებები:

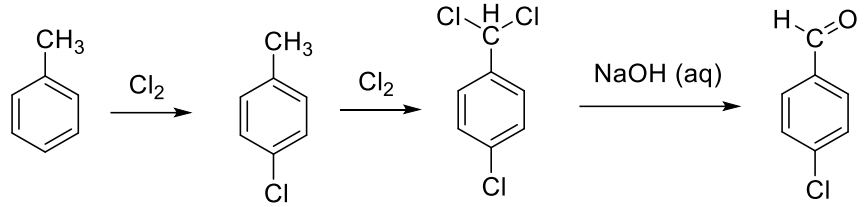
 2 ქულა **A**	NaOH (aq) 1 ქულა **B**

ამ გზით მომზადებულ ბენზალდეჰიდს ხშირ შემთხვევაში არ აქვს სასურველი სუნი. მის არასასურველ სუნს განაპირობებს მინარევი **C** (C_7H_5ClO). მინარევი **C** კალიუმის პერმანგანატით დამუშავებისას იძლევა **D** ნივთიერებას ($C_7H_5ClO_2$), რომლის ნიტრირებით მხოლოდ ერთ მონონიტროწარმოებული მიიღება.

4.2. დაადგინეთ **C** და **D** ნივთიერებები:

 2 ქულა **C**	 2 ქულა **D**

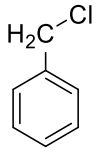
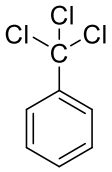
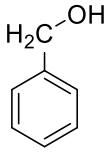
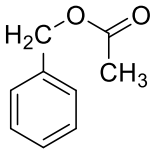
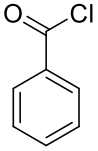
4.3. ახსენით ზემოაღნიშნულ რეაქციაში **C** ნივთიერების წარმოქმნის მიზეზი და დაწერეთ რეაქციათა თანმიმდევრობა ტოლუოლიდან **C**-მდე.

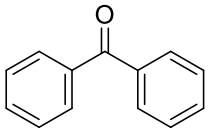


3 ქულა

ტოლუოლის ქლორთან ურთიერთქმედების დროს A ნივთიერებასთან ერთად ასევე მიიღება ნაერთები **E** (C_7H_7Cl) და **F** ($C_7H_5Cl_3$). ნატრიუმის კარბონატის **E** ნივთიერებასთან გახურებით მიიღება **G** (C_7H_8O), რომელიც პარფიუმერიაში გამოყენებულ ერთ-ერთ ნივთიერებას წარმოადგენს. **E** ნივთიერების გახურებით ნატრიუმის აცეტატთან მიიღება სხვა, ასევე პარფიუმერული ნივთიერება **H**. ხოლო **F** ნივთიერების ძმარმჟავასთან გახურებით წარმოიქმნება 2 ნაერთი **I** (C_2H_3ClO) და **J** (C_7H_5ClO). **J** ნივთიერების ბენზოლთან ურთიერთქმედება $AlCl_3$-ის თანაობისას გვაძლევს პარფიუმერულ ნივთიერება K-ს ($C_{13}H_{10}O$).

4.4. დაადგინეთ **E-K** ნივთიერებების სტრუქტურები.

 2 ქულა **E**	 2 ქულა **F**	 2 ქულა **G**
 2 ქულა **H**	CH_3COCl 2 ქულა **I**	 2 ქულა **J**

 2 ქულა K		

პარფიუმერულ ნაწარმს ზოგჯერ რჩება უსიამოვნო სუნის ნაერთების კვალი. ერთ-ერთი ასეთი ნაერთი, რომელიც საკმაოდ ძვირია, არის ნივთიერება **L** ($C_{16}H_{30}O$). ის არ რეაგირებს ბრომთან და ოპტიკურად აქტიურია. ის რეაგირებს ფენილჰიდრაზინთან, მაგრამ არა ტოლენის რეაგენტთან.

4.5. დაადგინეთ რა ტიპის ნაერთია ნივთიერება **L**

ნაჯერი ციკლური კეტონი 1 ქულა

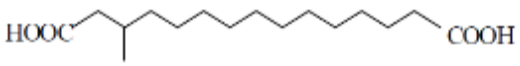
როდესაც **L** იჟანგება კალიუმის პერმანგანატით მჟავა არეში, წარმოიქმნება ორი იზომერული მჟავა **M** და **N** ($C_{16}H_{30}O_4$). ერთი მათგანი ოპტიკურად აქტიურია და შეიძლება არსებობდეს როგორც ენანტიომერების წყვილი, ხოლო მეორე ოპტიკურად არააქტიურია. 429 მგ **M/N** ნეიტრალდება 30 მლ 0.1 N NaOH-ით.

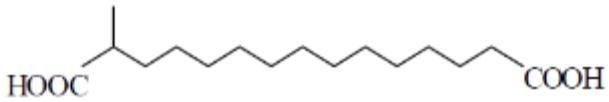
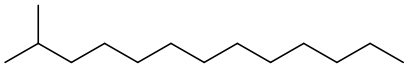
4.6. დაწერეთ რა დასკვნას გამოიტანთ აღნიშნული ტიტრაციიდან.

ნივთიერებები წარმოადგენენ ორფუძიან მჟავებს 1 ქულა

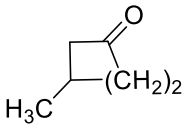
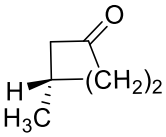
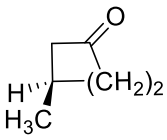
ორივე მჟავის სრული დეკარბოქსილირება იძლევა ორ იზომერულ ნახშირწყალბადს **O** და **P** ($C_{14}H_{30}$). ერთ-ერთ მათგანს აქვს განშტოებული აღნაგობა, ხოლო მეორეს განუშტოებელი.

4.7. დაადგინეთ ნივთიერებები **M-P**

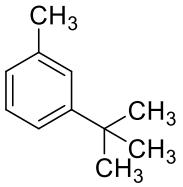
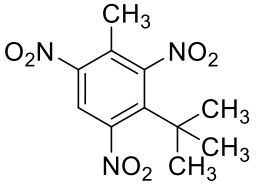
 2 ქულა **M**

 2 ქულა **N**
 2 ქულა **O**
 2 ქულა **P**

4.8. დახაზეთ **L** ნივთიერების ორივე ენანტიომერის სტრუქტურა მათი სტერეოიზომერიის გათვალისწინებით

 2 ქულა **L**	 2 ქულა **L1**	 2 ქულა **L2**

4.9. ძვირადღირებული **L** ნაერთის შემცვლელია ნაერთი **Q** ($C_{11}H_{13}N_3O_6$), რომელიც მიიღება ჯერ ტოლუოლის ურთიერთქმედებით მესამეულ-ბუტილქლორიდთან $AlCl_3$-ის თანაობისას მაღალ ტემპერატურაზე, რომელიც გვაძლევს შუალედურ ნაერთს **R-ს**, ხოლო ამ უკანასკნელის ურთიერთქმედებით კონცენტრირებულ აზოტმჟავასა და კონცენტრირებულ გოგირდმჟავასთან გამოიყოფა **Q**. დაწერეთ **R** და **Q** სტრუქტურები.

 2 ქულა **R**	 2 ქულა **Q**

4.10. საინტერსოა ის ფაქტი რომ პარფიუმერიაში გამოყენებულ ეთანოლურ ხსნარებს მეტად აქვთ სუნამოს სურნელება, ვიდრე ეთანოლს. მონიშნეთ ის ფაქტორები, რაც აღნიშნულ ფაქტს განაპირობებს:

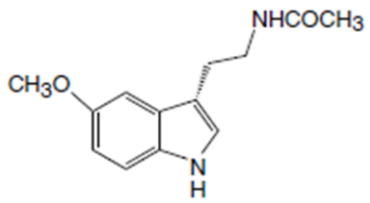
ა) სუნამოს ინგრედიენტები მეტად აქროლადია, ვიდრე ეთანოლი	x
ბ) ეთანოლის სუნი იფარება სუნამოში შემავალი ნივთიერების სუნით	x
გ) სუნამოს ინგრედიენტი ხელს უშლის ეთანოლის აქროლებას	x
დ) ეთანოლის შესამჩნევი კონცენტრაცია გაცილებით მაღალია, ვიდრე სუნამოს ინგრედიენტის	

1 ქულა

ამოცანა 5. რამელტეონი (25%)

კითხვა	1	ჯამი
ქულა	22	22

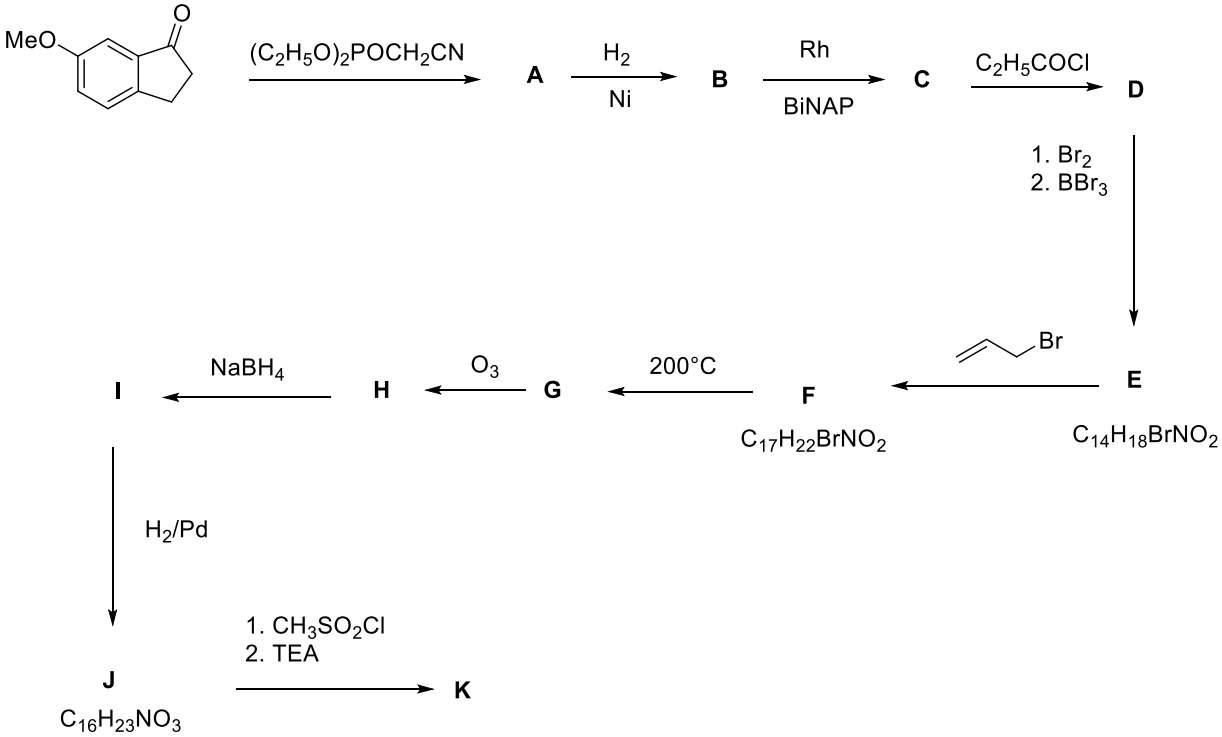
ჰორმონი მელატონინი მჭიდროდ არის ჩართული დღე-ღამის ციკლში, რომლის დონეც ორგანიზმში მატულობს დღის ბოლოს ძილის წინ. ძილის ფუნქციის დარღვევის შემთხვევაში საჭირო ხდება მედიკამენტური ჩარევა და მელატონინის სასურველი დონის შენარჩუნება.



ჰორმონი მელატონინი

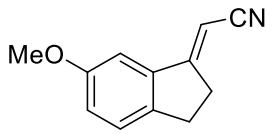
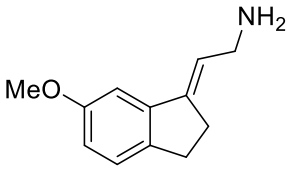
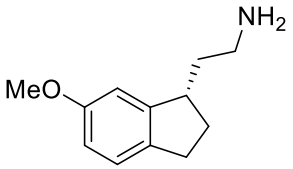
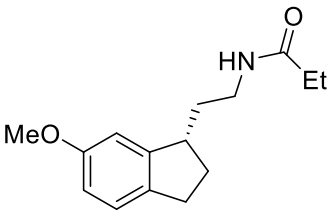
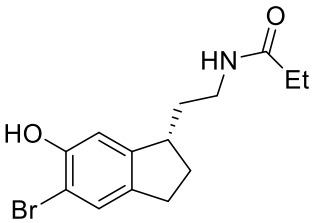
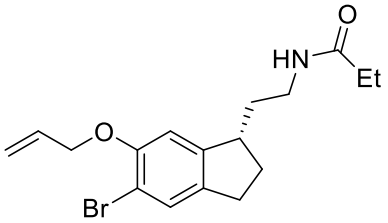
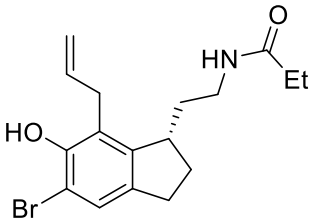
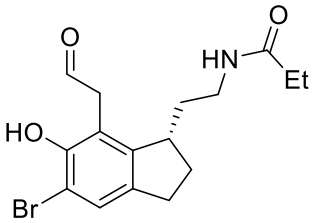
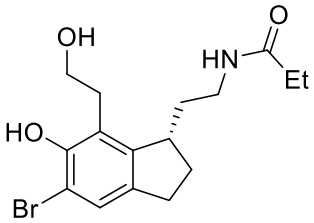
ამიტომ წლების წინ დაიწყო ძილის გამომწვევი წამლების ძიებაა. ერთ-ერთი ასეთი, FDA-ს მიერ დამტკიცებული მედიკამენტია რამელტეონი, რომელიც აერთიანებს ჰორმონის რამდენიმე სტრუქტურულ მახასიათებელს.

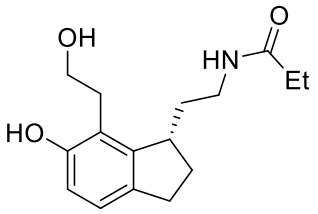
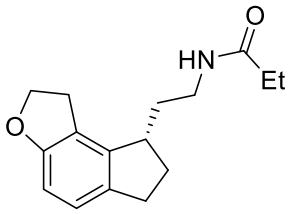
მისი სინთეზი გზა მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ სქემაზე. სინთეზის პირველი ნაწილი მოიცავს ეთილამინის გვერდითი ჯაჭვის აგებას.



5.1. დაწერეთ **A-K** ნაერთების სტრუქტურული ფორმულები.
ცნობილია,

- რომ **F → G** გარდაქმნა წარმოადგენს შიგამოლეკულურ გადაჯგუფებას;
- ნაერთების **G** და **E** იწ სპექტრები მოიცავს 3600-3400 სმ$^{-1}$ უბანში ფართო შთანთქმის ზოლს ნაერთისაგან **F** განსხვავებით.
- ნაერთის **E** ^{1}H-ბმრ სპექტრი მოიცავს ორ სინგლეტს 6-8 მეგაჰერც დიაპაზონში.

 2 ქულა **A**	 2 ქულა **B**	 2 ქულა **C**
 2 ქულა **D**	 2 ქულა **E**	 2 ქულა **F**
 2 ქულა **G**	 2 ქულა **H**	 2 ქულა **I**

 **2 ქულა** **J**	 **2 ქულა** **K**	