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

II ტური

ამოცანები

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

9 მაისი, 2023

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

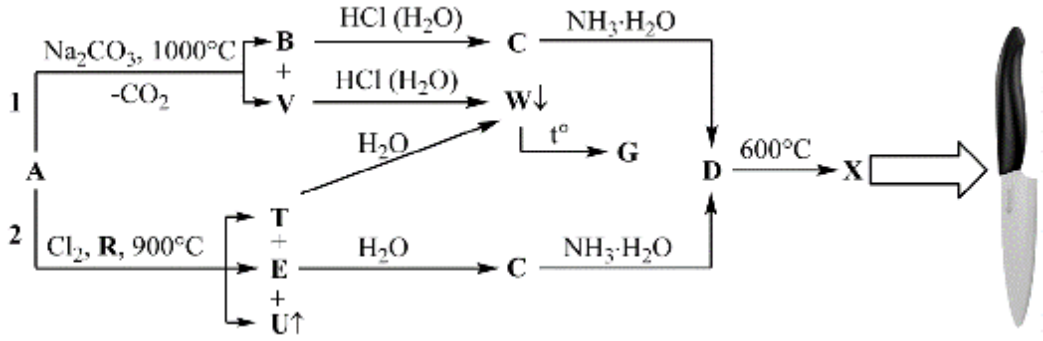
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H წყალბადი 1.008																	2 He ჰელიუმი 4.003
2	3 Li ლითიუმი 6.94	4 Be ბერილიუმი 9.01											5 B ბორი 10.81	6 C ნახშირბადი 12.01	7 N აზოტი 14.00	8 O ჟანგბადი 15.99	9 F ფტორი 19.00	10 Ne ნეონი 20.18
3	11 Na ნატრიუმი 22.99	12 Mg მაგნიუმი 24.30											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. კერამიკული დანები (20%)

კითხვა	1.1.	1.2.	1.3.	1.4.	სულ
ქულა	24	4	3	2	33

პირველი კერამიკული დანები 1985 წელს გამოჩნდა. მათი მწარმოებელი იაპონური კომპანია „Kyocera"-ს გახლდათ. ამ დანის წარმოებისთვის კომპანია ცეცხლგამძლე, ძნელადდნობად ნივთიერება **X**-ს იყენებდა. ტექნიკური სისუფთავის მქონე ნივთიერება **X** მინერალი **A**-სგან შეგვიძლია მივიღოთ ქვემოთ მოცემული სქემაზე **(1)**-ლი გზის მიხედვით. თუ საჭიროა, რომ **X**-ს უფრო მაღალი სისუფთავე ჰქონდეს (მინარევებისგან მაქსიმალურად თავისუფალი იყოს), მაშინ იგი სქემა **(2)**-ის მიხედვით უნდა იყოს მიღებული. **T**, **U** და **W** წარმოების ნარჩენებია.



ცნობილია, რომ:

- მინერალი **A** შედგება სამი ელემენტისაგან;
- **W**-ს გამოწვით მიიღება თეთრი, ბინარული, ბუნებაში ფართოდ გავრცელებული ნაერთი **G**;
- ნაერთები: **A**, **G** და **X** ერთ საერთო ელემენტს შეიცავენ, რომელიც დედამიწის ქერქში ყველაზე გავრცელებული ელემენტია (**A** და **G**-ში ამ ელემენტის მასური წილებია შესაბამისად 34.91% და 53.25%);
- ნივთიერებები **E** და **X** ერთსა და იმავე კატიონს შეიცავენ;
- 3.82 გ **E** ნივთიერებიდან 2.02 გ **X** მიიღება;
- ნაერთები **C** და **D** ერთსა და იმავე კატიონს შეიცავს და არ შეიცავენ აზოტს;
- მასის დანაკარგი გარდაქმნების: **C** → **D** და **D** → **X** დროს, შესაბამისად, არის 20.7% და 12.7%;
- **R** მარტივი ნივთიერებაა, რომელიც ფანქრების დასამზადებლად გამოიყენება;
- **E**, **T**, **U**, **X** და **G** ბინარული ნაერთებია;
- ნივთიერება **V** საკანცელარიო წებოს დასამზადებლად გამოიყენება;
- **U** ნაერთში ელემენტებს მოდულით ტოლი ჟანგვის რიცხვები აქვთ.

1.1. გაშიფრეთ **A, B, C, D, E, G, T, R, V, U, W, X** ნივთიერებების მოლეკულური ფორმულები. ახსენით პასუხები.

ამოცანის ამოხსნის დაწყება რამდენიმე კუთხიდან შეიძლება. განვიხილოთ ერთერთი ვარიანტი.

მინიშნებებიდან გამომდინარე, G ბინარული ნაერთია, შეიცავს ჟანგბადს და ბუნებაში ფართოდაა გავრცელებული. შესაბამისად, იგი არის ოქსიდი. დავუშვათ, ამ ნაერთის ფორმულაა Z_2O_n, სადაც n Z-ის ვალენტობაა. ვიცით ჟანგბადის მასური წილი. შესაბამისად:

$$\frac{16n}{2M(Z) + 16n} = 0.5325$$

შევამოწმოთ ვალენტობებზე –

n	M(Z)	ფორმულა
1	7.023	Li_2O
2	14.046	NO
3	21.07	-
4	28.094	$\mathbf{SiO_2}$

მოცემული ნივთიერებებიდან, ბუნებაში ყველაზე გავრცელებულია სილიციუმის დიოქსიდი, მაშასადამე:

$$\mathbf{G \equiv SiO_2}$$

ფანქრის წარმოებაში გამოიყენება გრაფიტი, შესაბამისად, R ნახშირბადია: $\mathbf{R \equiv C}$

რადგან E და X ბინარული ნაერთებია, ერთსა და იმავე კატიონს შეიცავენ, X ოქსიდია, მისი მიღება E-დანაა შესაძლებელი და რეაქციაში $A \rightarrow E$ რეაქციაში ქლორი მონაწილეობს, მაშასადამე, E ქლორიდი უნდა იყოს. რადგან ვიცით, რომ 3.92 გ E-დან მიიღება 2.02 გ X, კატიონის რაოდენობა ორივე ნაერთში ტოლი უნდა იყოს. მაშასადამე, გვაქვს გვაქვს განტოლება:

$$\frac{3.82}{M + 35.45n} = \frac{2.02}{M + 8n} \Longrightarrow M = 22.805n$$

სადაც M კატიონის მოლური მასაა, ხოლო n ვალენტობა.

შევამოწმოთ ვალენტობები

n	M	ფორმულა
1	22.805	–
2	45.61	–
3	68.415	–
4	91.22	Zr
5	114.025	–
6	136.83	–

აქედან გამომდინარე, $\mathbf{X \equiv ZrO_2}$; $\mathbf{E \equiv ZrCl_4}$

დაგროვებული ინფორმაციის საფუძველზე, A ნივთიერება უნდა შეიცავდეს: ცირკონიუმს, სილიციუმს და ჟანგბადს, თუმცა ცირკონიუმის ჟანგვის რიცხვი უცნობია ფორმულის დასადგენად რამდენიმე გზა არსებობს. ერთ-ერთი ვარიანტია, რომ განვიხილოთ ყველა ვარიანტი:

$Zr_2O \cdot SiO_2$

$ZrO \cdot SiO_2$

$Zr_2O_3 \cdot SiO_2$

$ZrO_2 \cdot SiO_2$

ამ ოთხი ფორმულის მიხედვით, თუ გამოვთვლით ჟანგბადის მასურ წილს, ვნახავთ, რომ მხოლოდ მე-4 ვარიანტშია იგი 34.91%. მაშასადამე, $\mathbf{A \equiv ZrSiO_4}$

C ნაერთი მიიღება $ZrCl_4$-ზე წყლის დამატებით. თუ დავაკვირდებით, ვნახავთ, რომ ჰიდროლიზი ორსაფეხურიანია X ნაერთამდე. ოთხვალენტიან მეტალებს ახასიათებთ ოქსინაერთების წარმოქმნა, შესაბამისად, ეს ნაერთია ოქსიცირკონიუმის დიქლორიდი $ZrOCl_2$. შესაბამისად, ცირკონიუმ(IV)-ის ჰიდროქსიდის ნაწარმის მიღება ხდება მხოლოდ მეორე საფეხურზე. ამის მიხვედრაში ასევე დაგვეხმარება, თუ გავიხსენებთ, რომ მეტალების ოთხვალენტიანი ოქსიდები განიცდიან დეჰირატაციას, შესაბამისად, $Zr(OH)_4 \xrightarrow[-H_2O]{} ZrO(OH)_2$.

ამ მონაცემებს ადასტურებს მინიშნებაში მოცემული პროცენტული მასის დანაკარგები, კერძოდ C და D ნაერთების მოლური მასები დაახლოებით 178 გ/მოლი და 141 გ/მოლია. შესაბამისად: $\mathbf{C \equiv ZrOCl_2; D \equiv ZrO(OH)_2}$

B და V ნაერთს რაც შეეხება, V ნაერთი ნატრიუმის სილიკატია, რადგან იგი საკანცელარიო წებოების წარმოებაში გამოიყენება. შესაბამისად, B ნაერთი ცირკონიუმის შემცველი უნდა

იყოს და თან ნახშირბადს არ უნდა შეიცავდეს, რადგან ნახშირბადმა ნახშირორჟანგის სახით დატოვა სარეაქციო სისტემა. ვინაიდან რეაქციაში არ ხდება ელემენტების ჟანგვის რიცხვის ცვლილება და B ნაერთის მარილმჟავასთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება $ZrOCl_2$, ე. ი. B ნაერთი ნატრიუმის ცირკონატია.

$\mathbf{V \equiv Na_2SiO_3; B \equiv Na_2ZrO_3}$.

ნატრიუმის სილიკატზე მჟავის დამატება სილიციუმმჟავას ნალექს იძლევა, $\mathbf{W \equiv H_2SiO_3}$ ქლორშემცველი არაორგანული ნაერთი, რომლის ჰიდროლიზის შედეგად მიიღება სილიციუმმჟავა მხოლოდ $SiCl_4$-ია. მაშასადამე, $\mathbf{T \equiv SiCl_4}$. რეაქციაში მონაწილეობს ნახშირბადი და რადგან ქლორის ჟანგვის რიცხვი იცვლება, რეაქცია ჟანგვა-აღდგენისაა. ასევე რეაქციაში ჟანგბადიც მონაწილეობს. ნახშირბადს და ჟანგბადს მოდულით ტოლი ჟანგვის რიცხვები აქვს CO-ში. შესაბამისად, $\mathbf{U \equiv CO}$

(24 ქულა)

თითოეულ სწორად გაშიფრულ და დასაბუთებულ ფორმულაში იწერება 2 ქულა. სწორად გაშიფრულ, მაგრამ დაუსაბუთებელ ფორმულაში იწერება 1 ქულა.

A	B	C	D	E
$ZrSiO_4$	Na_2ZrO_3	$ZrOCl_2$	$ZrO(OH)_2$	$ZrCl_4$
G	**R**	**T**	**U**	**V**
SiO_2	C	$SiCl_4$	CO	Na_2SiO_3
W	**X**			
H_2SiO_3	ZrO_2			

რამდენიმე წლის შემდეგ კომპანია „Kyocera“-მ დაიწყო „უფრო ძლიერი და ხანგამძლე“ შავი კერამიკული დანების წარმოება, რომელიც შეიცავს ბინარულ ნაერთს – **Y**-ს. მისი მიღება შესაძლებელია შემდეგი სქემის მიხედვით:

$$\mathbf{X} + \mathbf{R} \xrightarrow{1900°C} \mathbf{Y} + \mathbf{U} \uparrow$$

რეაქციის სტექიომეტრიული ნარევი შეიცავს 77.38% **X**-ს და მასის დანაკარგი რეაქციის შედეგად შეადგენს 35.16%-ს.

1.2. დაადგინეთ **Y** ნივთიერების მოლეკულური ფორმულა.

$ZrO_2 + C \rightarrow \mathbf{Y} + CO \uparrow$

$M(ZrO_2) = 123.22$ გ/მოლი, $M(C) = 12$ გ/მოლი. დავუშვათ, ცირკონიუმის დიოქსიდის კოეფიციენტი რეაქციაში ტოლია 1-ის, ხოლო ნახშირბადის – x. მაშასადამე, გვაქვს პროპორცია:

123.23 გ ZrO_2 შეესაბამება 77.38%-ს

$12x$ გ C ——————— 22.62%-ს

$$x = \frac{123.23 \cdot 22.62}{12 \cdot 77.38} = 3$$

ე. ი. რეაქციაში ნახშირბადის კოეფიციენტია 3.

სტექიომეტრიული თანაფარდობით გვაქვს 159.22 გ ნარევი. მასური დანაკარგის გათვალისწინებით, საბოლოოდ გვექნება $159.22 \cdot 0.6484 = 103.24$ გ პროდუქტი. ეს შეესაბამება ცირკონიუმის კარბიდს:

$ZrO_2 + 3C \rightarrow ZrC + 2CO$

$\mathbf{Y \equiv ZrC}$

(4 ქულა)

დანის დამზადება ერთი საქმეა, მეორე – მისი გალესვაა. დანის ზედაპირის გასალესად იყენებენ აბრაზიულ მასალას, რომელსაც ამზადებენ ნაერთი **S**-ისგან, რომელიც, თავის მხრივ, **G** ნივთიერებისგან შეგვიძლია მივიღოთ:

$$\mathbf{G} + \mathbf{R} \xrightarrow{2000°C} \mathbf{S} + \mathbf{U} \uparrow$$

1.3. დაადგინეთ **S** ნივთიერების მოლეკულური ფორმულა, თუ რეაქციის სტექიომეტრული ნარევის მასური დანაკარგია 58.3%.

$SiO_2 + C \rightarrow \mathbf{S} + CO \uparrow$

ამ რეაქციაში S ნივთიერების სამი ვარიანტი არსებობს: Si; SiO; SiC

თითოეულის შემთხვევაში თუ შევამოწმებთ მასის დანაკარგს, შევამჩნევთ, რომ 58.3% მხოლოდ SiC-ს შემთხვევაშია. მაშასადამე,

$\mathbf{S \equiv SiC}$

(3 ქულა)

G ნაერთის **S**-ად გარდაქმნა შემდეგი სქემით მიმდინარეობს: $\mathbf{G} \rightarrow \mathbf{I_1} \rightarrow \mathbf{I_2} \rightarrow \mathbf{S}$ სადაც $\mathbf{I_1}$ და $\mathbf{I_2}$ შუალედური ნივთიერებებია. ამ ჯაჭვში ყველა ნივთიერება შეიცავს ერთ საერთო ელემენტს, რომლის მასური წილი პირველი გარდაქმნისას იზრდება, ხოლო მესამე გარდაქმნისას მცირდება.

1.4. დაადგინეთ ინტერმედიატების ($\mathbf{I_1}$ და $\mathbf{I_2}$) მოლეკულური ფორმულები.

როგორც მე-3 ამოცანის პასუხშია აღნიშნული, სილიციუმ(IV)-ის კარბიდის გარდა, ორი ვარიანტი არსებობს: SiO და Si. პირველი გარდაქმნისას რადგან მასური წილი იზრდება, საქმე გვაქვს SiO-სთან, ხოლო მესამე გარდაქმნისას კი იზრდება, შესაბამისად, Si-თან.

$\mathbf{I_1 \equiv SiO}$; $\mathbf{I_2 \equiv Si}$

(2 ქულა)

ამოცანა 2. იოდის მჟავები (17%)

კითხვა	1	2	3	4	5	6	7	8	სულ
ქულა	2	4	2	3	4	4	3	3	25

ლაბორატორიაში მოამზადეს იოდის შემცველი ოთხი არაორგანული მჟავას 0.001 M წყალხსნარი. ამ ოთხი მჟავიდან მხოლოდ ერთი ითვლება ძლიერ მჟავად (განსაზღვრების მიხედვით, თუ $K_a < 0$, მჟავა ძლიერია). აგრეთვე, ცნობილია, რომ ცხრილში მოცემულ ბოლო მჟავაში ჟანგბადის მასური წილი დანარჩენ სამ მჟავასთან შედარებით მაღალია, ხოლო იოდის მასური წილი კი 42.1%-ს უდრის.

მჟავა	ჯამური კონცენტრაცია C (მოლი/ლ)	pH	pK_a ან pK_{a1}
HI	0.001	?	?
HIO	0.001	6.8	?
HIO_3	0.001	3.0	?
X	0.001	3.3	?

1. გამოთვალეთ HI-ის pH და დაადგინეთ pK_a-ს ზღვარი/შესაძლო მნიშვნელობა (გამოიყენეთ უტოლობის ნიშნები).

რადგან იოდწყალბადმჟავა ძლიერი მჟავაა, შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$pH = -\lg C_0 = -\lg(10^{-3}) = 3.0$$

შესაბამისად,

$$pK_a < 0$$

(1+1=2 ქულა)

მიახლოებითი pK-ს მნიშვნელობების გამოთვლა შესაძლებელია თერმოდინამიკური მონაცემებიდანაც, კერძოდ, თუ ცნობილია წყალხსნარში ამავე მჟავას დისოციაციის გიბსის თავისუფალი ენერგია $\Delta G^\circ_{\text{დისოც. წყ.}} = -RT\ln K_a$. ვინაიდან წყლიან გარემოში გიბსის თავისუფალი ენერგიის პირდაპირი განსაზღვრა, როგორც წესი, შეუძლებელია, ამიტომ მიმართავენ არაპირდაპირ მეთოდებს, მაგალითად, თერმოდინამიკული ციკლის გამოყენებით, რისთვისაც საჭიროა გათვალისწინებული იყოს მჟავას დისოციაცია აიროვან ფაზაშიც.

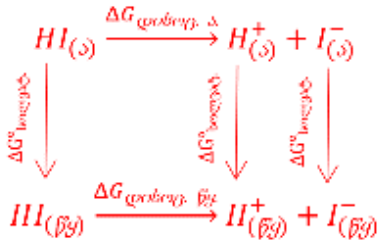
	$\Delta G^\circ_{\text{რეაქც.}}$ (კკალ·მოლი$^{-1}$)	$\Delta G^\circ_{\text{სოლვატ.}}$ (კკალ·მოლი$^{-1}$)
$HI_{(ა)} \rightarrow H^+_{(ა)} + I^-_{(ა)}$	309.3	–
HI	–	-1.2
H^+	–	-265.9
I^-	–	-57.4

2.1. ცხრილში მოცემული მონაცემების გამოყენებით გამოთვალეთ HI-ის pK_a 298.15 K-ზე.

ვითვლით HI-ის დისოციაციის მუდმივას:

$$HI_{(წყ)} \rightarrow H^+_{(წყ)} + I^-_{(წყ)}$$

ცნობილ მონაცემებზე დაყრდნობით შესაბამისი თერმოდინამიკური ციკლი ასე დაიხაზება:



შესაბამისად $\Delta G°_{\text{დისოც. წყ.}}$-ის გამოსათვლელი განტოლებაა:

$$\Delta G°_{\text{დისოც. წყ.}} = \Delta G°_{\text{დისოც. ა.}} - \Delta G°_{\text{სოლვატ.}}(HI) + \Delta G°_{\text{სოლვატ.}}(H^+) + \Delta G°_{\text{სოლვატ.}}(I^-)$$
$$= 309.3 - (-1.2) + (-265.9) + (-57.4) = -12.8 \text{ კკალ} \cdot \text{მოლი}^{-1}$$
$$= -12.8 \cdot 4.181 \text{ ჯ} \cdot \text{კალ}^{-1} = -53\,555.2 \text{ ჯ/მოლი}$$

(3 ქულა)

მაშასადამე,

$$\ln K_a = \frac{-\Delta G°}{RT}$$
$$K_a = \exp\left(\frac{\Delta G°}{RT}\right)$$
$$K_a = \exp\left(\frac{53555.2}{8.314 \cdot 298.15}\right) \approx 2.4 \cdot 10^9$$
$$pK_a = -9.4$$

(1 ქულა)

2.2. რომელი მჟავაა უფრო ძლიერი HI თუ HCl? პასუხი დაასაბუთეთ.

მჟავას სიძლიერე იზრდება ჰალოგენის ატომის რადიუსის ზრდასთან ერთად. ეს განპირობებულია იმ ფაქტით, რომ წყალბადის ატომი შორსაა ჰალოგენის ატომისგან, რაც აადვილებს მოლეკულიდან წყალბადის მოწყვეტას, შესაბამისად, დისოციაციას. მაშასადამე, მწკრივში HI > HBr > HCl > HF მჟავას სიძლიერე მცირდება. მართალია, ჰალოგენის ატომის ელექტროუარყოფითობა იზრდება ამავე მწკრივში, თუმცა ეს საკმარისი არაა რადიუსით გამოწვეული ცვლილების კომპენსაციისთვის. რასაც ვერ ვიტყვით ჰალოგენის ჟანგბადიანი მჟავების შემთხვევაში. აქ ელექტროუარყოფითობა დიდ გავლენას ახდენას, მაგ., $Cl - O - H$ სისტემაში, სადაც ქლორის ატომი ასუსტებს $O - H$ ბმას, რაც აადვილებს დისოციაციას, შედარებით $I - O - H$ სისტემასათან, სადაც იოდის ატომის ელექტროუარყოფითობის სიმცირის გამო იმავე ხარისხით ვერ სუსტდება $O - H$ ბმა.

(2 ქულა)

2.3. გამოთვალეთ HIO-ს pK_a.

კონცენტრაციისა და pH-ის მიხედვით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ წყალბადის იონების მნიშვნელობა მხოლოდ იოდმჟავა(I)-ის დისოციაციით არაა განპირობებული, ანუ წყლის დისიციაციის უგულებელყოფა არასწორ პასუხამდე მიგვიყვანს. შესაბამისად:

$$HIO \rightarrow H^+ + IO^-$$

$$H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$$

ჩავწეროთ მუხტის ბალანსი:

$$[H^+] = [IO^-] + [OH^-]$$

გამოვსახოთ თითოეული ცვლადი K_a-ს და K_w-ს საშუალებით:

$$[IO^-] = \frac{K_a \cdot (C - [H^+])}{[H^+]}; \qquad [OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]}.$$

ჩავსვათ მუხტის ბალანსის განტოლებაში:

$$[H^+] = \frac{K_a \cdot (C - [H^+])}{[H^+]} + \frac{K_w}{[H^+]}$$

გამოვსახოთ K_a:

$$K_a = \frac{[H^+]^2 - K_w}{C - [H^+]} = \frac{(10^{-6.8})^2 - 10^{-14}}{10^{-3} - 10^{-6.8}} = 1.512 \cdot 10^{-11}$$

$$pK_a = 10.82$$

(3 ქულა)

2.4. შეაფასეთ HIO_3-ის pK_a. საჭიროების შემთხვევაში გააკეთეთ დაშვებები და ახსენით თქვენი პასუხი.

ამოხსნის ერთ-ერთი გზა:

HIO_3 სუსტი მჟავაა, მაგრამ მისი დისოციაციის მუდმივის გამოთვლა განსაზღვრებიდან შეუძლებელია, რადგან:

$$K_a = \frac{[H^+]^2}{C - [H^+]} = \frac{(10^{-3})^2}{10^{-3} - 10^{-3}}$$

თუმცა შესაძლებელია ფორმულა გარდავქმნათ ამგვარად:

$$[H^+]^2 - K_a \cdot [H^+] - K_a \cdot C = 0$$

დავუშვათ, $K_a = 10^{-1}$, მაშინ:

$$[H^+]^2 + 10^{-1} \cdot [H^+] - 10^{-4} = 0$$

$$[H^+] = 0.00099\ M; \quad pH = 3.0$$

ეს მონცემი ექსპერიმენტთან თანხვედრაშია.

ანალოგიური დაშვებით, თუ $K_a = 10^{-2}$ მაშინ $[H^+] = 0.00092\ M; \quad pH = 3.04 \approx 3.0$ რაც ექსპერიმენტითაც დასტურდება. თუმცა ეს მნიშვნელობა აჩვენებს, რომ 3.1-ს უახლოვდება, შესაბამისად, ვცადოთ $K_a = 10^{-2.1}$ ჩასმა. მაშინ მივიღებთ $[H^+] = 0.00090\ M; \quad pH = 3.05 \approx 3.1$

მაშასადამე,

$$pK_a(HIO_3) < 2.1$$

(4 ქულა)

2.5. შესაბამისი გამოთვლების საშუალებით დაადგინეთ X მჟავა. გამოთვალეთ ამ მჟავის pK_{a1}.

X მჟავას HIO_3-ზე მეტი ჟანგბადატომები გააჩნია, შესაბამისად, სულ მცირე 4 ჟანგბადატომი. აგრეთვე, ერთი იოდის ატომი. განვიხილოთ შესაბამისი შემთხვევები:

$$M(HIO_4) = 191.9\frac{\text{გ}}{\text{მოლი}}; \quad \omega\%(O) = \frac{64}{191.9} \cdot 100\% = 33.4\%$$

$$(H_3IO_5) = 205.9\frac{\text{გ}}{\text{მოლი}}; \quad \omega\%(O) = \frac{80}{205.9} \cdot 100\% = 38.1\%$$

$$(H_5IO_6) = 227.9\frac{\text{გ}}{\text{მოლი}}; \quad \omega\%(O) = \frac{96}{227.9} \cdot 100\% = 42.1\%$$

მაშასადამე უცნობი მჟავას ფორმულაა H_5IO_6.

რადგან ეს უკანასკნელი სუსტი მჟავაა, შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ $K_{a1} \gg K_{a2}$...

შესაბამისად, მჟავას პირველი საფეხურით დისოციაციის მუდმივა:

$$H_5IO_6 \rightarrow H_4IO_6^- + H^+$$

$$K_{a1} = \frac{[H^+]^2}{C - [H^+]} = \frac{10^{-3.3}}{10^{-3} - 10^{-3.3}} = 5.0 \cdot 10^{-4}$$

$$pK_{a1} = 3.3$$

(4 ქულა)

2.6. ხსნარების მომზადებიიდან გარკვეული დროის შემდეგ აღმოჩნდა, რომ იოდმჟავა(I)-მა განიცადა დისპროპორციონირება და გარდაიქმნა იოდმჟავა(V)-და იოდად. შეადგინეთ ამ პროცესის ამსახველი რეაქციის ტოლობა ნახევარრეაქციების სასშუალებით (მჟავა-ტუტე არეში). როგორი იქნება მიღებული ხსნარის pH საწყის ხსნართან შედარევით, მეტი თუ ნაკლები? პასუხი დაასაბუთეთ.

$$HIO + 2H_2O \rightarrow IO_3^- + 5H^+ + 4e^-$$
$$4HIO + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2I_2 + 4H_2O$$

$$5HIO \rightarrow HIO_3 + 2I_2 + 2H_2O$$

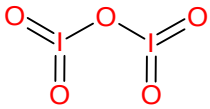
ვინაიდან რეაქციის შედეგად სუსტი მჟავა, HIO, გარდაიქმნება და წარმოიქმნება ძლიერი მჟავა HIO_3, მიღებული ხსნარის pH საწყის ხსნართან შედარებით მეტი იქნება.

(3 ქულა)

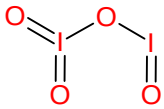
იოდი არაერთ ორქსიდს წარმოქმნის, თუმცა ყველაზე სტაბილური მაინც იოდმჟავა(V)-ის შესაბამისი ოქსიდია. სტრუქტურულად და ქიმიურად უფრო საინტერესო კი I_2O_4 გახლავთ. შესაბამის ტემპერატურაზე, წნევაზე და ტენიანობაზე იგი იშლება იოდმჟავა(V)-ად და იოდად.

2.7. შეადგინეთ ამ რეაქციის ამსახველი ტოლობა და დახაზეთ ამ ორი ოქსიდის სტრუქტურული ფორმულა. მიუტითეთ თითოეული ატომის ჟანგვის რიცხვი.

$$5I_2O_4 + 4H_2O \rightleftarrows 8HIO_3 + I_2$$



იოდის ატომები: +5
ჟანგბადის ატომები: -2



იოდის ატომები: +5 და +3
ჟანგბადის ატომები: -2
(3 ქულა)

ამოცანა 3. მიკროტალღური სპექტროსკოპია (19%)

კითხვა	1.	2.	3.	4.	5.	სულ
ქულა	3	5	8	3	5	24

მოლეკულის გეომეტრიის განსაზღვრის სხვადასხვა მეთოდი არსებობს. ყველაზე გავრცელებული რენტგენოსტრუქტურული ანალიზია, რომლის დროსაც რენტგენის სხივებისა და მათემატიკურ გარდაქმნის, ფიურიეს გარდაქმნის, საშუალებით ადგენენ ელექტრონული სიმკვრივის რუკას, საიდანაც დგინდება მოლეკულის გეომეტრიული პარამეტრები.

კიდევ ერთი მეთოდი, რომელიც შეიძლება იყოს გამოყენებული მოლეკულის გეომეტრიის დასადგენად მიკროტალღური სპექტროსკოპიაა. მიკროტალღები მოლეკულების ბრუნვას განაპირობებს და ამ ბრუნვის სიხშირე დამოკიდებულია მოლეკულის გეომეტრიაზე (ბმის სიგრძე, კუთხე).

მიკროტალღების დასხივების შემდეგ, ბრუნვითი მოძრაობები იცვლება, მაგრამ მხოლოდ კონკრეტული სიხშირის ელექტრომაგნიტურ ტალღებზე. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, მოლეკულის ბრუნვითი მდგომარეობა დაკვანტურია. შესაბამისად, შროდინგერის განტოლების მიხედვით, მიიღება მიკროტალღური სიხშირეებისთვის ენერგეტიკული დონეების გამოსახულება:

$$E = \frac{J(J+1)\cdot h^2}{8\pi^2 I} \qquad J = 1, 2, 3, \ldots$$

სადაც I ინერციის მომენტია, ხოლო h – პლანკის მუდმივა.

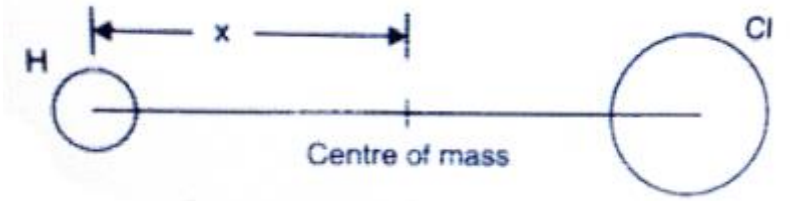
ჩათვალეთ, რომ მოლეკულა $^{1}H - {}^{35}Cl$ ხისტ როტორს წარმოადგენს (ანუ ბმის სიგრძე მუდმივია).

3.1. გამოიყვანეთ ორი მეზობელი ენერგეტიკული დონის (J და J+1) სხვაობის გამოსახულება.

$$E_{J+1} - E_J = E = \frac{(J+1)(J+2)\cdot h^2}{8\pi^2 I} - \frac{J(J+1)\cdot h^2}{8\pi^2 I} = \frac{(J+1)\cdot h^2}{8\pi^2 I}\big((J+2) - J\big) = \frac{2\cdot(J+1)\cdot h^2}{8\pi^2 I}$$

(3 ქულა)

3.2. გამოთვალეთ $^{1}H^{35}Cl$-ის მასათა ცენტრიდან მანძილები (d_1 და d_2 შესაბამისად) ^{1}H-ის და ^{35}Cl-ის ატომებამდე, თუ ბმის სიგრძე 1.27 Å-ია.



მასათა ცენტრის გამოსათვლელად, წყალბადის ატომი ავიღოთ სათავედ. ცხადია, $m_1 = 1$ მაე და $m_2 = 35$.

$$X_{cm} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2}$$

რადგან წყალბადის ატომია სათავე, $x_1 = 0$ ხოლო $x_2 = 1.27$ Å. შესაბამისად:

$$X_{cm} = \frac{1 \cdot 0 + 35 \cdot 1.27}{1 + 36} = 1.201 \text{ Å}$$

მაშასადამე, $d_1 = 1.201$ Å ხოლო $d_2 = 0.069$ Å

(5 ქულა)

მოლეკულის ინერციის მომენტი გამოისახება ფორმულით:

$$I = m_1d_1^2 + m_2d_2^2$$

3.3. გარდაქმენით ინერციის მომენტის გამოსახულება ისე, რომ ფორმულაში ფიგურირებდეს მხოლოდ დაყვანილი მასა $\mu = \frac{m_1m_2}{m_1+m_2}$ და r ბმის სიგრძე.

მოლეკულის ბალანსის პირობა მომენტების წესიდან გამომდინარეობს:

$$m_1d_1 = m_2d_2$$

d_1 და d_2 პირველი და მეორე ატომის მანძილებია მასათა ცენტრიდან.

ჩავატაროთ შესაბამისი გარდაქმნები:

$$m_1d_1 = m_2(r - d_1) = m_2r - m_2d_1$$
$$m_1r_1 + m_2d_1 = m_2r$$
$$d_1(m_1 + m_2) = m_2r$$
$$d_1 = \frac{m_2r}{m_1 + m_2}$$

ანალოგიურად:

$$d_2 = \frac{m_1r}{m_1 + m_2}$$

მიღებული გამოსახულება ჩავსვათ ინერციის მომენტის განტოლებაში:

$$I = m_1\left(\frac{m_2r}{m_1 + m_2}\right)^2 + m_2\left(\frac{m_1r}{m_1 + m_2}\right)^2 = \frac{m_1m_2r^2(m_1 + m_2)}{(m_1 + m_2)^2} = \frac{m_1m_2}{m_1 + m_2} \cdot r^2 = \mu r^2$$

(8 ქულა)

3.4. მე-3 დავალებაში გამოყვანილი ფორმულით გამოთვალეთ ინერციის მომენტი.

$$I = \mu r^2 = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \cdot r^2$$

$$I = \frac{1 \cdot 35}{1 + 35} \cdot 1.66 \cdot 10^{-27} \cdot (1.27 \cdot 10^{-10})^2 = 2.6 \cdot 10^{-47} \text{ კგ} \cdot \text{მ}^2$$

(3 ქულა)

3.5. $^{1}H^{35}Cl$ მოლეკულაში ორ მეზობელ ენერგეტიკულ დონეს აქვს შემდეგი ენერგიები გამოსახული ტალღური რიცხვებით: 83.32 სმ$^{-1}$ და 147.80 სმ$^{-1}$. გამოთვალეთ ამ დონეების J. ბმის სიგრძეა 1.27 Å.

პირველ დავალებაში გამოყვანილი ფორმულით:

$$E_{J+1} - E_J = \frac{2 \cdot (J + 1) \cdot h^2}{8\pi^2 I} = hc(\tilde{\nu}_2 - \tilde{\nu}_1)$$

$$J = \frac{hc(\tilde{\nu}_2 - \tilde{\nu}_1) \cdot 8\pi^2 I}{2h^2} - 1$$

$$I = \mu r^2$$

$$J = \frac{\cancel{h}c(\tilde{\nu}_2 - \tilde{\nu}_1) \cdot 8\pi^2 \cdot \mu r^2}{2h^{\cancel{2}}} - 1$$

$$= \frac{3 \cdot 10^8 \cdot (14780 - 8332) \cdot 8 \cdot 3.14^2 \cdot \frac{1 \cdot 35}{1 + 35} \cdot 1.66 \cdot 10^{-27} \cdot \left(1.27 \cdot 10^{-10}\right)^2}{2 \cdot 6.626 \cdot 10^{-34}} - 1$$

$$\approx 2$$

ე. ი. საქმე გვაქვს მეორე და მესამე ენერგეტიკულ დონეებთან

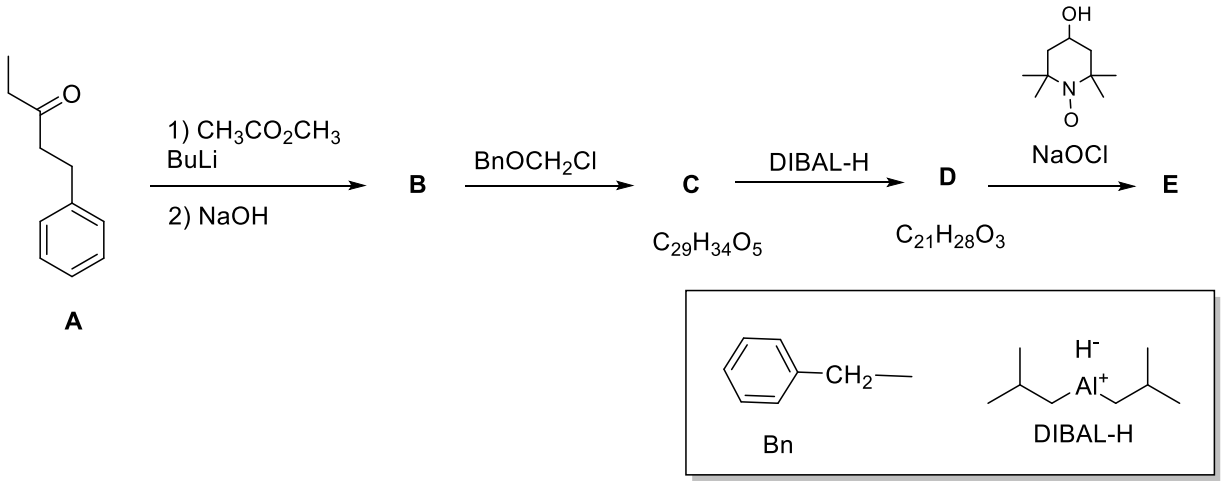
(5 ქულა)

ამოცანა 4. ტიპრანავირი (22%)

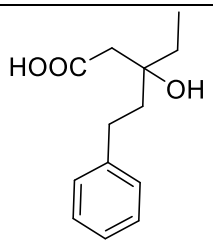
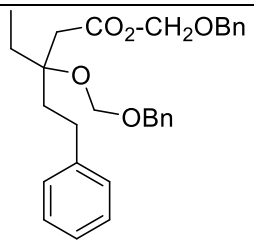
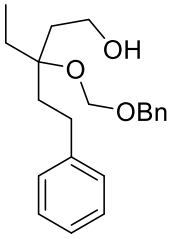
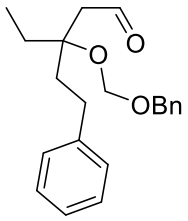
დავალება	1	2	სულ
ქულა	20	40	60

ტიპრანავირი (TPV), ან ტიპრანავირის დინატრიუმის მარილი, არის არაპეპტიდური პროტეაზას ინჰიბიტორი (PI), რომელიც იწარმოება სავაჭრო სახელით Aptivus. იგი ინიშნება რიტონავირ-თან კომბინირებულ თერაპიაში აივ ინფექციის სამკურნალოდ. ტიპრანავირს ვირუსების რეპლიკაციის შეფერხების უნარი აქვს, რომლებიც რეზისტენტულია სხვა პროტეაზას ინჰიბიტორების მიმართ და რეკომენდებულია პაციენტებისთვის, რომლებიც რეზისტენტულია სხვა სამკურნალო საშუალებების მიმართ.

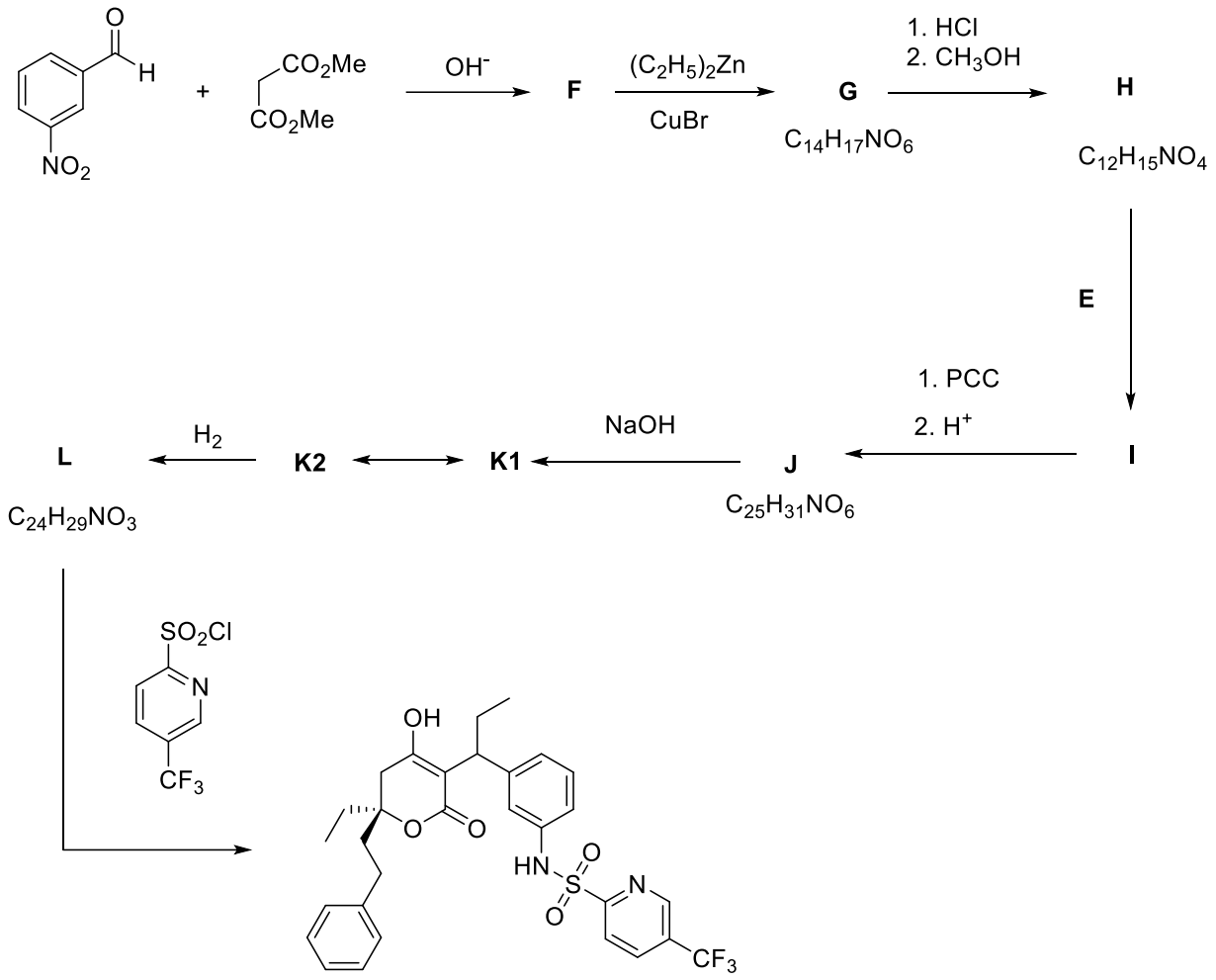
ტიპრანავირი სინთეზი იწყება მეთილაცეტატის ენოლატის ურთიერთქმედებით კარბონილურ ჯგუფთან. ერთ-ერთი საკვანძო ნაერთის E წარმოქმნა მოცემულია შემდეგ სქემაზე:



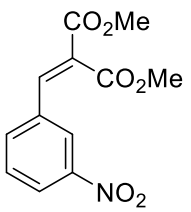
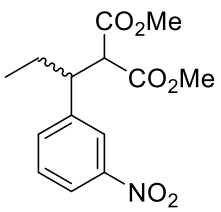
4.1. დაწერეთ **B-E** ნაერთების სტრუქტურული ფორმულები, თუ ცნობილია, რომ ნაერთი **E** იძლევა ვერცხლი სარკის რეაქციას.

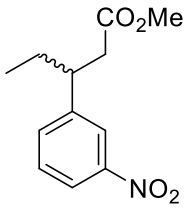
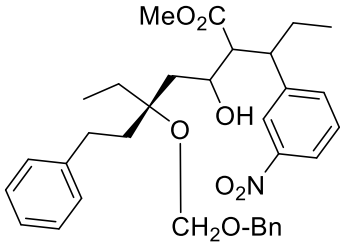
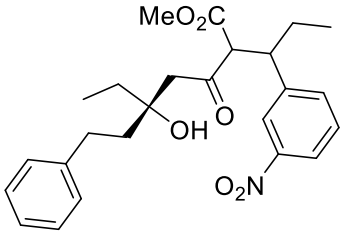
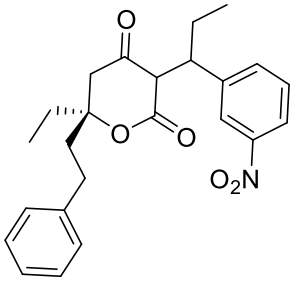
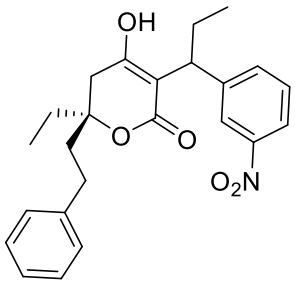
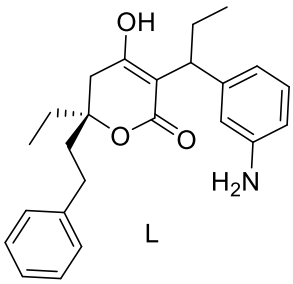
 **B** 5 ქულა	 **C** 5 ქულა
 **D** 5 ქულა	 **E** 5 ქულა

სინთეზის მეორე საფეხურის საწყის ნაერთებს წარმოადგენს 3-ნიტრობენზალდეჰიდი და პროპანდიმჟავას მეთილესტერი.



4.2. დაწერეთ **F-L** ნაერთების სტრუქტურული ფორმულები, თუ ცნობილია, რომ ნაერთი **K** მოიცავს სამ ციკლს.

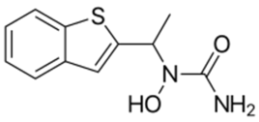
 F 5 ქულა	 G 5 ქულა

 H 5 ქულა	 I 5 ქულა
 J 5 ქულა	 K1 5 ქულა
 K2 5 ქულა	 L L 5 ქულა

ამოცანა 5. ატრელუტონი (22s%)

დავალება	1	2	სულ
ქულა	10	40	50

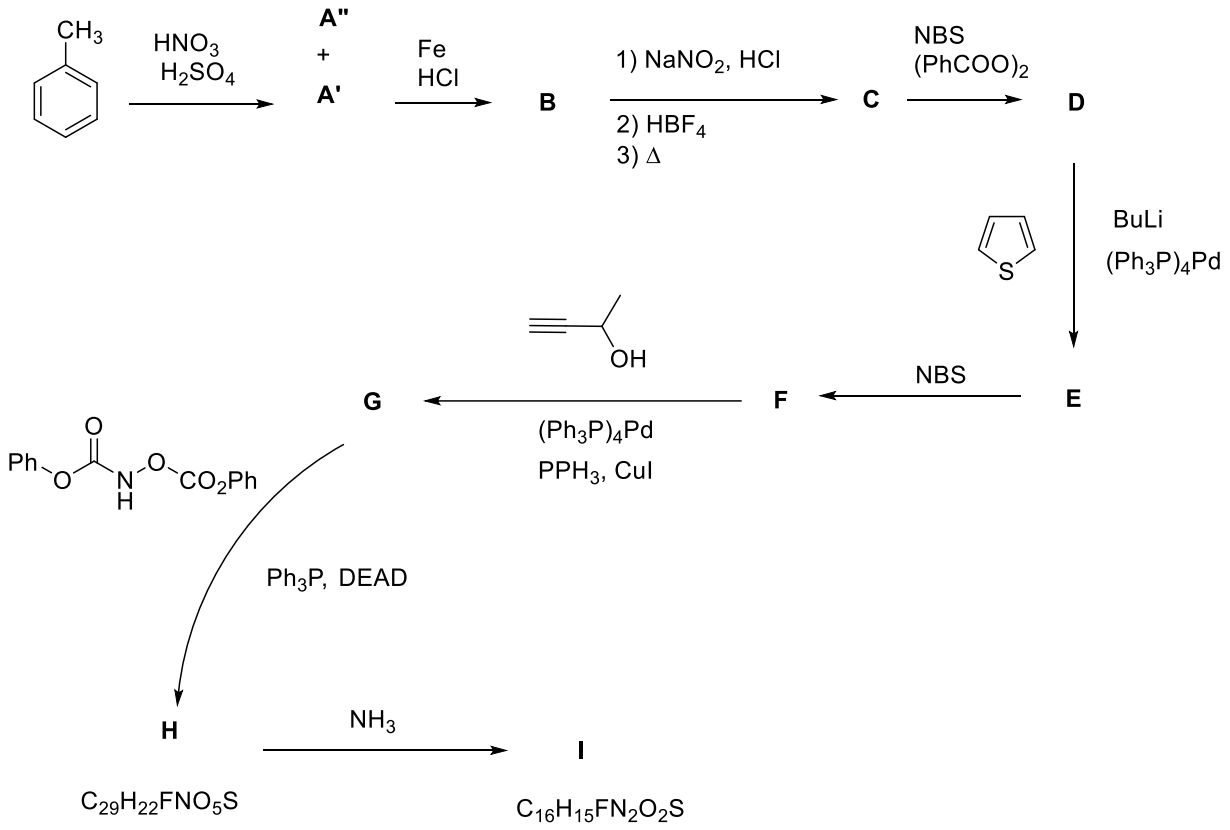
ლეიკოტრიენები წარმოადგენენ არაქიდონის კასკადის ერთი შტოს პროდუქტებს. დადგინდა, რომ ისინი მჭიდრო კავშირში არიან ალერგიის სიმპტომებთან და ასთმასთან.



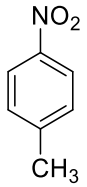
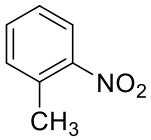
zileuton

ლეიკოტრიენის ანტაგონისტების კლასის ერთ-ერთი პირველი სამრეწველო მედიკამენტია **ზილეუტონი,** რომელიც წარმოადგენს ბენზოთიოფენის წარმოებულს. შემდგომში დადინდა, რომ მისი ანალოგი ატრელუტონი, რომელიც არ მოიცავს კონდენსირებულ ბენზოლის ბირთვს, უფრო მაღალი ბიოლოგიური აქტიურობით ხასიათდება და მეტი მოქმედების ხანგრძლივობა აქვს.

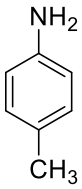
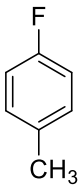
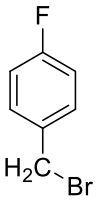
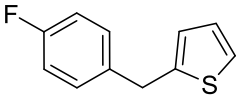
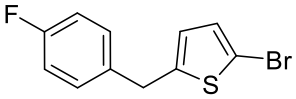
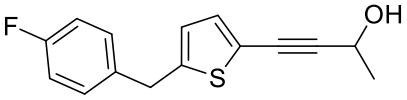
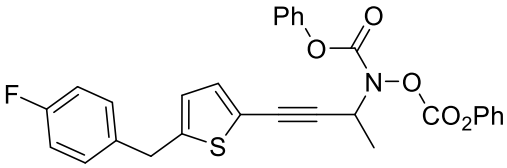
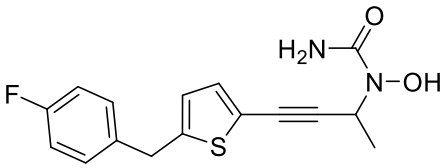
მისი სინთეზი შესაძლებელია ტოლუოლიდან შემდეგი სქემის მიხედვით.



5.1. დაწერეთ A’ და A” სტრუქურული ფორმულები, თუ ცნობილია, რომ ისინი იზომერები არიან და A’ ნაერთი ^{1}H-ბმრ სპექტრში 6-8 მეგაჰერც დიაპაზონში იძლება 2 სიგნალს დუბლეტების სახით, ხოლო A” ნაერთი კი - ოთხ სიგნალს ორი დუბლეტისა და 2 ტრიპლეტის სახით.

 A’ 5 ქულა	 A” 5 ქულა

5.2. დაწერეთ **B-I** ნაერთების სტრუქტურული ფორმულები:

 B 5 ქულა	 C 5 ქულა	 D 5 ქულა
 E 5 ქულა	 F 5 ქულა	 G 5 ქულა
 H 5 ქულა	 I 5 ქულა	