

თინათინ ბუთხუზი, სოფიკო ფაცაცია,  
მარინე კუჭუხიძე, თამარ ხატისაშვილი

**ქ ი მ ი ა**

**X კ ლ ა ს ი**

**მოსწავლის წიგნი**

**მეორე სემესტრი**

გრიფმინიჭებულია საქართველოს განათლებისა და  
მეცნიერების სამინისტროს მიერ 2022 წელს



გამომცემლობა „საქართველოს მაცნე“

**ქიმია, X კლასი**  
**მოსწავლის წიგნი**

**მეორე სემესტრი**

ავტორები:

თინათინ ბუთხუზი, სოფიკო ფაცაცია,  
მარინე კუჭუხიძე, თამარ ხატისაშვილი.

რედაქტორი: **გიორგი ადამია**

დიზაინერ-დამკაბადონებელი **ლია არევაძე**

გამომცემლობა „საქართველოს მაცნე“

მის: ქ. თბილისი, ე. მაღალაშვილის ქ. №5

ტელ: 568 10 54 67; 574 40 08 57

ელ. ფოსტა: [info@saqmatsne.ge](mailto:info@saqmatsne.ge), [sakmacne@gmail.com](mailto:sakmacne@gmail.com)

[www.saqmatsne.ge](http://www.saqmatsne.ge)

© გამომცემლობა „საქართველოს მაცნე“, 2022

© თინათინ ბუთხუზი, სოფიკო ფაცაცია, მარინე კუჭუხიძე, თამარ ხატისაშვილი.

I გამოცემა, 2022 წელი

ISBN 978-9941-16-829-1

# სარჩევი

**თემა 2. ქიმიური კინეტიკა ..... 5**

**თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია ..... 6**

1.1 ენერგია და მისი სახეები.....7  
1.2 ეგზოთერმული და ენდოთერმული რეაქციები .....11  
1.3 საკვების ენერგეტიკული ღირებულება.....18  
სხვადასხვა თხილეულის ენერგეტიკული ღირებულების განსაზღვრა .....23  
1.4 ქიმიური ბმის ენერგია.....26  
როგორ არეგულირებს ადამიანის ორგანიზმი წონას?.....32  
შემავჯამებელი სავარჯიშოები .....33

**თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები..... 35**

2.1 ქიმიური რეაქციის სიჩქარე.....36  
2.2 დაჯახებათა თეორია .....42  
2.3 ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე მოქმედი ფაქტორები .....47  
ქიმიური რეაქციის სიჩქარის რეაგენტის კონცენტრაციაზე  
დამოკიდებულების დადგენა .....56  
ქიმიური რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების დადგენა .....59  
2.4 კატალიზატორი.....62  
როგორ მზადდება ყველი? .....68  
შემავჯამებელი სავარჯიშოები .....70

**თავი 3. ქიმიური წონასწორობა ..... 72**

3.1 დინამიკური წონასწორობა .....73  
3.2 წონასწორობაზე მოქმედი ფაქტორები .....79  
როგორ წარმოიქმნება სტალაქტიტები და სტალაგმიტები? .....86  
შემავჯამებელი სავარჯიშოები .....87  
თემის შემავჯამებელი დავალებები .....89  
განვლილი მასალის შეჯამება .....103  
უსაფრთხოების წესები სასკოლო საბუნებისმეტყველო ლაბორატორიაში  
მუშაობის პროცესში .....105  
როგორ იწერება და როგორ იკითხება ზოგიერთი ქიმიური  
ელემენტის სიმბოლო .....106  
ქიმიაში ხშირად გამოყენებული ერთეულები .....107  
მეტალთა ელექტროქიმიური აქტიურობის მწკრივი .....107  
ელემენტთა ფარდობითი ელექტროუარყოფითობების ცხრილი .....108  
მარილების, ფუძეებისა და მჟავების წყალში ხსნადობის ცხრილი .....109  
ქიმიური ელემენტების პერიოდულობის ცხრილი (გრძელი) .....110  
ქიმიური ელემენტების პერიოდულობის ცხრილი (მოკლე) .....111  
გამოსათვლელი დავალებების პასუხები .....112  
გამოყენებული რესურსები .....112

# სახელმძღვანელოში გამოყენებული პირობითი ნიშნები



– კითხვები და დავალებები



– ეს საინტერესოა



– საკვანძო კითხვები



– განვლილი მასალის შეჯამება



– შემაჯამებელი სავარჯიშოები



– ექსპერიმენტი



# თემა 2.

## ქიმიური კინეტიკა



**ამ თემის შესწავლის შემდეგ შეძლებთ უპასუხოდ კითხვებს:**

- რატომაა ზოგიერთი რეაქცია ეგზოთერმული, ზოგიერთი კი – ენდოთერმული?
- რატომ გამოიყოფა სითბო ბუნებრივი აირის წვისას?
- როგორ დავადგინოთ საკვების კალორიულობა?
- როგორ დავაჩქაროთ ან შევანელოთ ქიმიური რეაქცია?
- რა როლი აქვს კატალიზატორებსა და ინჰიბიტორებს ადამიანის ყოველდღიურ ცხოვრებაში?
- რა გავლენა აქვს ფერმენტებს ორგანიზმებში მიმდინარე პროცესებზე?
- რა მნიშვნელობა აქვს ქიმიური რეაქციის სიჩქარის მართვას მრეწველობასა და ყოფა-ცხოვრებაში?
- როგორ ვმართოთ შექცევადი რეაქცია, სასურველი მიმართულებით რომ წარიმართოს?

# თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია



1.1

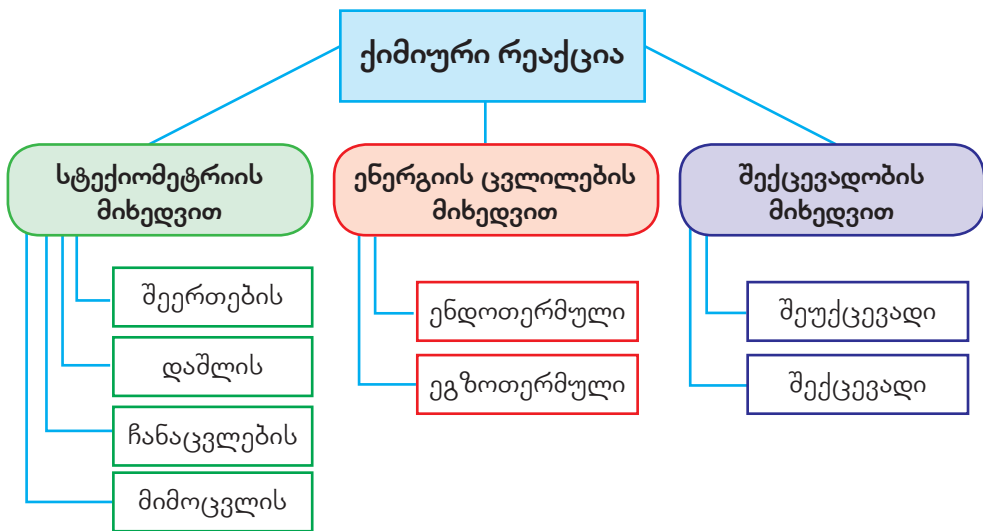
ენერგია და მისი სახეები

ქიმიური რეაქციები მიმდინარეობს არა მხოლოდ ლაბორატორიაში, არამედ ჩვენ გარშემოც. ყოველ ჯერზე, როცა ვიკვებებით ან ვვარჯიშობთ, ჩვენს სხეულში მილიონობით ქიმიური გარდაქმნა მიმდინარეობს (ნახ. 1.1).



ნახ. 1.1. ქიმიური რეაქციები ჩვენ ირგვლივ.

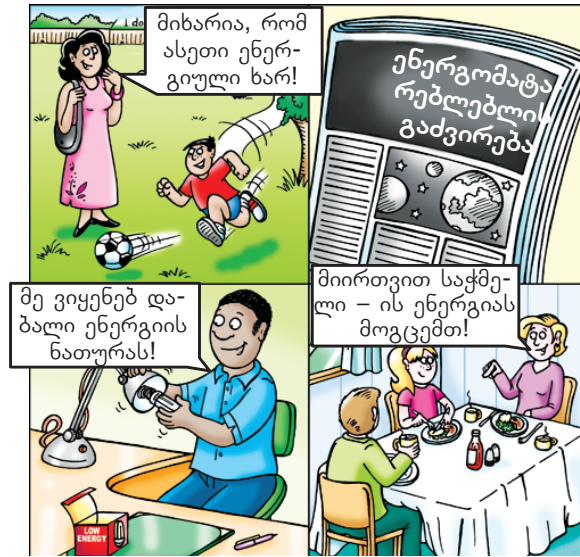
ქიმიური რეაქციები სხვადასხვა ნიშნით შეიძლება დაჯგუფდეს (ნახ. 1.2). მათ კლასიფიკაციას უკვე ვიცნობთ, ამ თავში კი დეტალურად შევისწავლით მათ დაყოფას ენერჯიის ცვლილებისა და შექცევადობის მიხედვით.



ნახ. 1.2. ქიმიურ რეაქციათა კლასიფიკაცია.

ყოველდღიურ ცხოვრებაში სიტყვა „ენერჯიის“ ხშირად სხვადასხვა მნიშვნელობით ვიყენებთ (ნახ. 1.3).

## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია



ნახ. 1.3. ტერმინ „ენერგის“ გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში.

მეცნიერული თვალსაზრისით მექანიკური ენერგია არის მუშაობის შესრულების უნარი. არსებობს ორი ტიპის მექანიკური ენერგია: პოტენციური და კინეტიკური. პოტენციურ ენერგიას ხშირად მდგომარეობის ან შენახულ ენერგიას უწოდებენ, კინეტიკური ენერგია კი მოძრაობის ენერგიაა. მაგალითად, კაშხალში დაგროვილ წყალს აქვს პოტენციური ენერგია, რადგან როდესაც ის გამოთავისუფლდება, აბრუნებს ტურბინებს და ასრულებს მუშაობას. წყლის გამოთავისუფლებისას პოტენციური ენერგია კინეტიკურ ენერგიად გარდაიქმნება (ნახ. 1.4).



ნახ. 1.4. ენგურჰესი.

ენერგის მუდმივობის კანონის თანახმად, ენერგია არც ქრება და არც წარმოიქმნება, მხოლოდ ერთი ტიპის ენერგია გარდაიქმნება სხვა ტიპის ენერგიად, ამიტომ სამყაროს ენერგია მუდმივია (ნახ. 1.5).



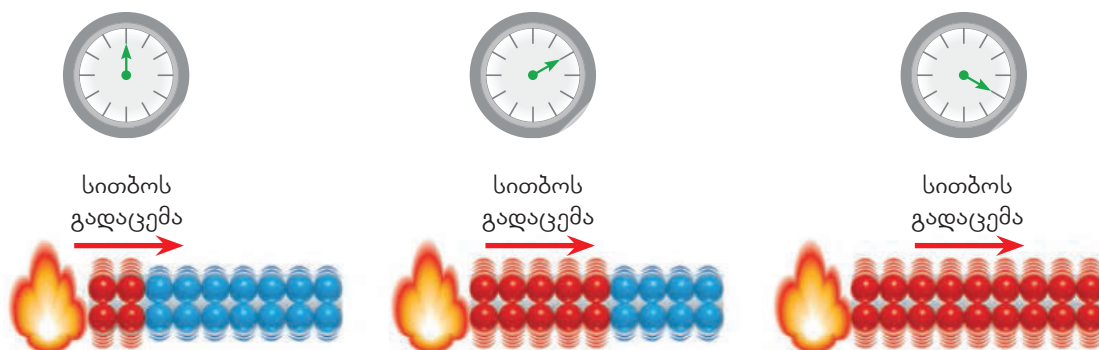
## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია



ნახ. 1.5. კინეტიკური და პოტენციური ენერგიის ურთიერთგარდაქმნა.

პოტენციური ენერგია აქვს ქიმიურ ნივთიერებებსაც მათში არსებული ბმების სახით. რეაქციის დროს ეს ბმები წყდება და ახალი ქიმიური ბმები წარმოიქმნება, რაც განაპირობებს ენერგიის ცვლილებას.

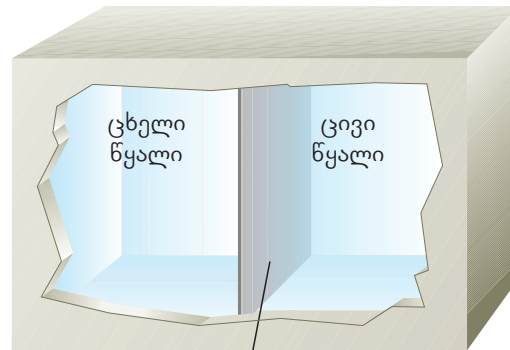
ჩვენთვის უკვე ცნობილია, რომ წვის რეაქციების შედეგად გამოიყოფა დიდი რაოდენობით სითბო, რაც ენერგიის გადაცემის ფორმას წარმოადგენს. მაღალი ტემპერატურის გარემოში ნაწილაკები უფრო სწრაფად მოძრაობს და გადასცემს კინეტიკურ ენერგიას დაბალი სიჩქარის ნაწილაკებს (ნახ. 1.6).



ნახ. 1.6. ნაწილაკებს შორის სითბოს გადაცემა.

ტემპერატურა და სითბო განსხვავებული ცნებებია. ტემპერატურა ნაწილაკების მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერგიის საზომს წარმოადგენს. განვიხილოთ მარტივი ექსპერიმენტი: ვთქვათ, გვაქვს დახურული ჭურჭელი, რომელიც თხელი მეტალის ფირფიტით გაყოფილია ორ ტოლ ნაწილად (ნახ. 1.7). ჭურჭლის ორივე მხარეს ჩასხმულია 1 ლ მოცულობის წყალი. წყლის ტემპერატურა ერთ ნაწილში  $90^{\circ}\text{C}$ -ია, მეორე ნაწილში კი  $-10^{\circ}\text{C}$ . ცხელ წყალში მოლეკულები უფრო სწრაფად მოძრაობს, შესაბამისად მათი ენერგია მეტია, ვიდრე ცივ წყალში. ვინაიდან მეტალი კარგი თბოგამტარია, მეტალის ფირფიტის გავლით ენერგიის გადაცემა გამოიწვევს ცხელი წყლის ტემპერატურის შემცირებას, ხოლო ცივი წყლის ტემპერატურა – მოიმატებს. ამრიგად, ენერგია ცხელი წყლიდან ცივს გადაეცემა.

## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია

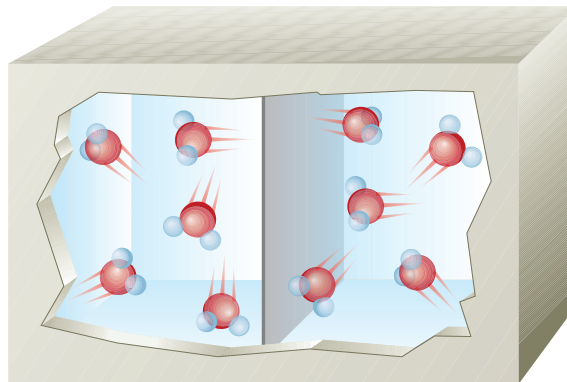


მეტალის თხელი კედელი

ნახ. 1.7. მეტალის ტიხრით გაყოფილი ჭურჭელი.

რა მოხდება საბოლოოდ?

ორივე ნაწილში წყლის ტემპერატურა გათანაბრდება (ნახ. 1.8). ენერგიის მუდმივობის კანონის მიხედვით ცხელი წყლის მიერ გაცემული ენერგია ცივი წყლის მიერ შეძენილი ენერგიის ტოლი იქნება.



წყალი (50°C)    წყალი (50°C)

ნახ. 1.8. ჭურჭლის ორივე მხარეს ტემპერატურა გათანაბრებულია, შესაბამისად მოლეკულათა მოძრაობის ენერგიებიც ტოლია.

ამრიგად, ტემპერატურა არის ნაწილაკების მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერგიის საზომი; ხოლო სითბო – ენერგიის გადაცემის ფორმა.



### კითხვები და დავალებები:

1. ჩამოთვალეთ თქვენთვის ცნობილი ენერგიის წყაროები. რომელი მათგანი გვხვდება საქართველოში? მოიძიეთ ინფორმაცია თითოეული მათგანის დადებით და უარყოფით მხარეებზე.

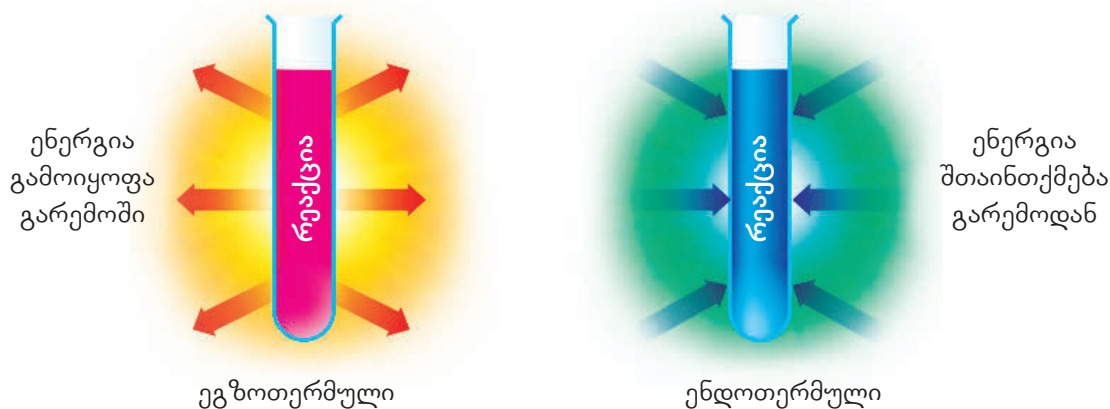
1.2

## ეგზოთერმული და ენდოთერმული რეაქციები

ჩვენთვის უკვე ცნობილია, რომ ქიმიური რეაქციების დროს იცვლება ენერგია, რაც გამოიხატება სითბოს გამოყოფით ან შთანთქმით. ქიმიურ პროცესებში ენერგიის გადაცემის აღწერისთვის ხშირად იყენებენ ტერმინებს: „სისტემა“ და „გარემო“, სადაც სისტემა სარეაქციო არეა, ხოლო გარემო – ყველაფერი, რაც მის ირგვლივა ან მას უშუალოდ ეხება.

როგორც კლასიფიკაციის ნახაზიდან (იხ. ნახ. 1.2) ჩანს, ენერგიის ცვლილების მიხედვით რეაქციები შეიძლება იყოს ეგზოთერმული და ენდოთერმული.

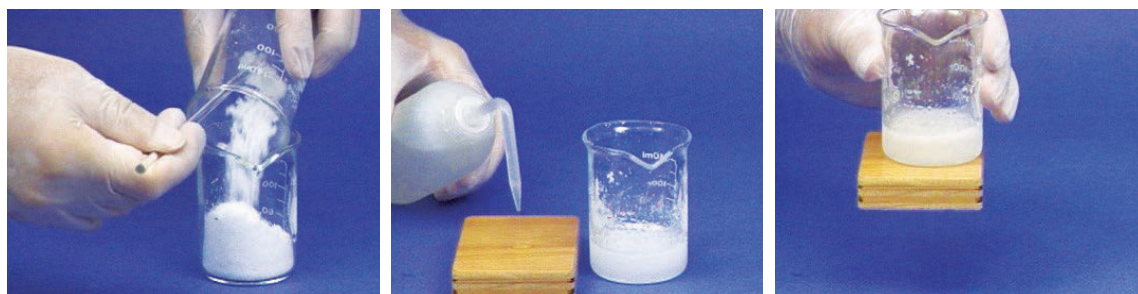
ეგზოთერმულ რეაქციებში სითბო გამოიყოფა და სისტემიდან გადაეცემა გარემოს, შესაბამისად გარემოს ტემპერატურა იმატებს; ხოლო ენდოთერმულ რეაქციებში სითბო შთანთქმება სისტემის მიერ და გარემოს ტემპერატურა იკლებს (ნახ. 1.9).



ნახ. 1.9. ეგზოთერმული და ენდოთერმული რეაქციები.

ზოგადად, ქიმიურ რეაქციებში შთანთქმულ ან გამოყოფილ სითბოს  $Q$  ასოთი აღნიშნავენ.

ეგზოთერმული რეაქციების მაგალითებია წვა, ნეიტრალიზაცია და სხვ., ხოლო ენდოთერმული რეაქციებისა – კირქვის დაშლა, წყლის ელექტროლიზი და სხვ. (ნახ. 1.10).

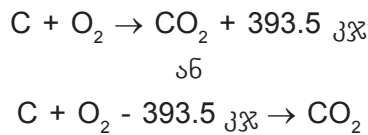


ნახ. 1.10. სურათებზე ნაჩვენები რეაქცია გარემოდან იმდენად დიდი რაოდენობის სითბოს შთანთქავს, რომ კოლბა, რომელშიც რეაქცია ტარდება, სადგამს ეყინება.

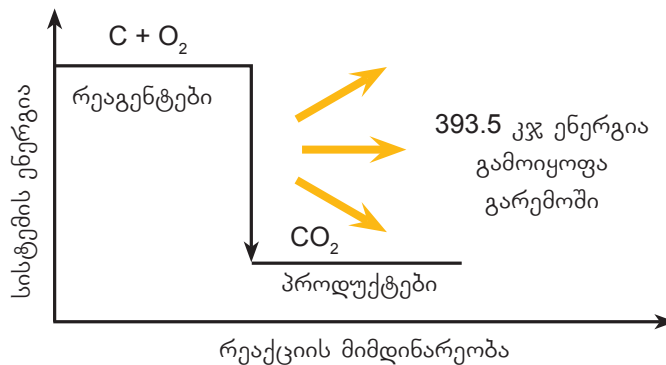
## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია

ქიმიის დარგს, რომელიც სწავლობს ენერგიის ცვლილებას სხვადასხვა პროცესში, თერმოქიმია ეწოდება, ხოლო რეაქციის ტოლობას, სადაც ნაჩვენებია ენერგიის ცვლილება – თერმოქიმიური ტოლობა. SI სისტემაში ენერგიის ერთეულია ჯოული (ჯ), თუმცა ხშირად გამოიყენება ენერგიის კიდევ ერთი ერთეული – კალორია (კალ). 1 კალ = 4.18 ჯ არის ენერგია, რომელიც 1 გ წყლის 1 გრადუსით გასათბობადაა საჭირო. კალორიებს ძირითადად იყენებენ საკვების ენერგეტიკული ღირებულების გამოსახვისთვის.

ეგზოთერმულ რეაქციაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობას მიუთითებენ პროდუქტების მხარეს "+" ნიშნით ან რეაგენტების მხარეს "-" ნიშნით. მაგალითად, ექსპერიმენტულად დადგენილია რომ 1 მოლი ნახშირის წვის შედეგად გამოყოფილი სითბოს რაოდენობაა 393.5 კჯ, მოცემული რეაქციის თერმოქიმიური ტოლობა ასე ჩაინერება:



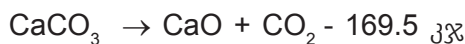
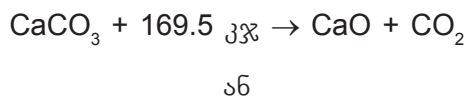
გრაფიკულად ეს პროცესი შეიძლება ასე გამოისახოს (ნახ. 1.11):



ნახ. 1.11. ეგზოთერმული რეაქციის გრაფიკი.

გრაფიკზე ჩანს, რომ პროდუქტის პოტენციური ენერგია ნაკლებია რეაგენტების პოტენციურ ენერგიაზე. ამიტომ ეგზოთერმული რეაქციის განხორციელების შედეგად სისტემაში ენერგია შემცირდება და გამოთავისუფლდება ენერგია, რომელიც გარემოში სითბოს სახით გამოიყოფა, და გარემო გათბება.

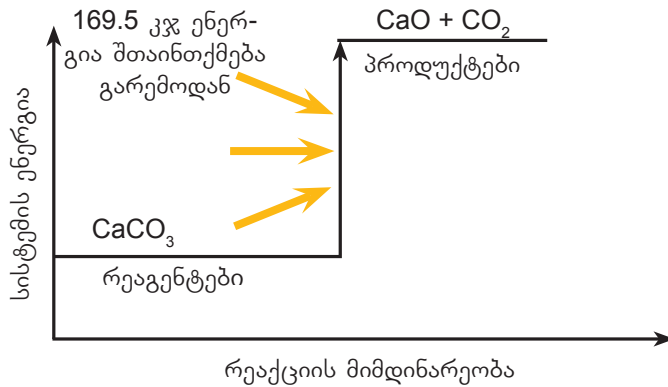
ენდოთერმული რეაქციის თერმოქიმიურ ტოლობაში შთანთქმული სითბო შეიძლება ჩაინეროს რეაგენტების მხარეს "+" ნიშნით ან პროდუქტების მხარეს "-" ნიშნით. მაგალითად, კალციუმის კარბონატის დაშლა არის ენდოთერმული რეაქცია და ის საჭიროებს მუდმივ გახურებას. 1 მოლი კალციუმის კარბონატის სრულად დაშლას ესაჭიროება 169.5 კჯ სითბო. ამ რეაქციის თერმოქიმიური ტოლობა ასე ჩაინერება:



ენდოთერმული რეაქციის შესაბამისი ენერგიის ცვლილების დიაგრამაა (ნახ. 1.12):



## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერჯია



ნახ. 1.12. ენდოთერმული რეაქციის გრაფიკი.

გრაფიკის მიხედვით, ენდოთერმული რეაქციის პროდუქტის პოტენციური ენერჯია რეაგენტების პოტენციურ ენერჯიაზე მეტია, ამიტომ ასეთი რეაქციის განხორციელებისათვის სისტემაში ენერჯია უნდა გაიზარდოს. ამისათვის სისტემა ენერჯიას გარემოდან სითბოს სახით შთანთქავს, რის გამოც გარემო გაცივდება.

ყოველდღიურ ცხოვრებაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს წვის რეაქციებს, რომელთა დროსაც გამოყოფილი ენერჯია ძირითადად გარდაიქმნება სითბურ ენერჯიად და გამოიყენება სხვადასხვა მიზნით. ნებისმიერი საწვავი ენერჯიის წყაროა.

წიაღისეული საწვავი, როგორცაა ქვანახშირი, ნავთობი და ბუნებრივი აირი, მსოფლიოში ყველაზე ხშირად გამოყენებული საწვავის სახეებია.

### რა განასხვავებს საწვავის ტიპებს ერთმანეთისგან (ნახ. 1.13)?



ნახ. 1.13. საწვავის ტიპებს შორის განსხვავებები.

საწვავზე მოთხოვნა დღითიდღე იზრდება, ამასთანავე მნიშვნელოვანია, მინიმუმამდე შემცირდეს გარემოზე უარყოფითი ზეგავლენა. ამიტომაც თანამედროვე მსოფლიოში ძალიან აქტუალურია საწვავის ალტერნატიული წყაროები, როგორებიცაა წყალბადი და ეთანოლი. ბოლო წლებში აქტიურად გამოიყენება მანქანის საწვავი სახელწოდებით E85, რომელიც შეიცავს 85% ეთანოლსა და 15% ბენზინს. მიუხედავად მისი უპირატესობის (მაღალი ეკოლოგიური სისუფთავე), ის სხვა საწვავთან შედარებით ნაკლებ ენერჯიას გამოყოფს (ცხრილი 1.1).

## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია

ცხრილი 1.1. სხვადასხვა საწვავის წვისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა.

საწვავის ტიპი	1 მოლი საწვავის წვისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა, კჯ/მოლი
მეთანი (ბუნებრივი აირის ძირითადი შემადგენელი ნივთიერება)	890
ეთანოლი (E85-ის ძირითადი შემადგენელი ნივთიერება)	1370
იზოოქტანი (ბენზინის ძირითადი შემადგენელი ნივთიერება)	5460
პროპანი (გათხევადებული აირის ძირითადი შემადგენელი ნივთიერება)	2220
ბუტანი (გათხევადებული აირის შემადგენელი ერთ-ერთი ნივთიერება)	2880

განვიხილოთ იზოოქტანის ( $C_8H_{18}$ ) წვის რეაქციის ტოლობა:



ცნობილია, რომ 1 მოლი იზოოქტანის წვის დროს გამოიყოფა 5460 კჯ სითბო. რადგან გათანაბრებული რეაქციის ტოლობაში იზოოქტანის კოეფიციენტი 2, შესაბამისად, თერმოქიმიურ ტოლობაში უნდა მივუთითოთ სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც 2 მოლის წვის დროს გამოიყოფა, ანუ  $5460 \cdot 2 = 10920$  კჯ:



ხშირ შემთხვევაში თერმოქიმიურ ტოლობებში იყენებენ წილად კოეფიციენტებს, რათა აჩვენონ რეაქციის სითბური ეფექტი, ანუ 1 მოლზე გამოყოფილი ან შთანთქმული სითბოს რაოდენობა. ამ შემთხვევაში იზოოქტანის წვის რეაქციის თერმოქიმიური ტოლობა ასე ჩაიწერება:



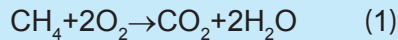
### ამოცანის ამოხსნის ნიმუში – 1

**ამოცანა:** ხშირად მსუბუქ ავტომობილებსა და ავტობუსებში საწვავად იყენებენ ბუნებრივ აირს, რომლის მთავარ კომპონენტსაც წარმოადგენს მეთანი, ან გათხევადებულ აირს, რომელიც პროპანისა და ბუტანის ნარევია. ჩათვალეთ, რომ ბუნებრივი აირი შედგება მხოლოდ მეთანისგან ( $CH_4$ ), ხოლო გათხევადებული აირი – მხოლოდ პროპანისგან ( $C_3H_8$ ) და შეადარეთ ერთმანეთს ენერგიები, რომლებიც 1 გ მეთანისა და 1 გ პროპანის წვის შედეგად გამოიყოფა. გამოთვლებისას გამოიყენეთ ცხრილი 1.1. ასევე გამოთვალეთ, რა მოცულობის (ნ. პ.) ჟანგბადი და ჰაერია საჭირო 1 ლ მეთანისა და პროპანის სრული წვისთვის ცალ-ცალკე.

## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია

### ამოხსნა:

პირველ რიგში, დავწეროთ მეთანისა და პროპანის სრული წვის რეაქციათა ტოლობები:



ამოცანის პირობის თანახმად, 1 მოლი მეთანის სრული წვის დროს გამოიყოფა 890 კჯ სითბო. ჩვენ კი გვინტერესებს, რა რაოდენობის სითბო გამოიყოფა 1 გ მეთანის დაწვისას.

ამისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ ამოხსნის 2 გზა.

I გზა:

გამოვთვალოთ, რამდენი მოლია 1 გ მეთანი:

$$n(\text{CH}_4) = 1/16 = 0.0625 \text{ მოლი}$$

და შემდეგ შევადგინოთ დამოკიდებულება მეთანის მოლთა რიცხვსა და გამოყოფილ სითბოს რაოდენობას შორის:

თუ 1 მოლი მეთანის წვისას გამოიყოფა 890 კჯ სითბო, მაშინ 0.0625 მოლი მეთანის წვისას გამოიყოფა X კჯ სითბო.

აქედან:

$$X = \frac{0.0625 \text{ მოლი} \cdot 890 \text{ კჯ}}{1 \text{ მოლი}} = 55.6 \text{ კჯ}$$

II გზა:

გამოვთვალოთ 1 მოლი მეთანის მასა:

$$m(\text{CH}_4) = 1 \text{ მოლი} \cdot 16 \text{ გ/მოლი} = 16 \text{ გ}$$

შევადგინოთ დამოკიდებულება მეთანის მასასა და გამოყოფილ სითბოს რაოდენობას შორის:

თუ 16 გ მეთანის წვისას გამოიყოფა 890 კჯ სითბო, მაშინ 1 გ მეთანის წვისას გამოიყოფა X კჯ სითბო.

აქედან:

$$X = \frac{1 \text{ გ} \cdot 890 \text{ კჯ}}{16 \text{ გ}} = 55.6 \text{ კჯ}$$

იგივე მოქმედებები შევასრულოთ პროპანზე და გამოვთვალოთ გამოყოფილი სითბო:

$$n(\text{C}_3\text{H}_8) = 1/44 \approx 0.023 \text{ მოლი}$$

თუ 1 მოლი პროპანის წვისას გამოიყოფა 2220 კჯ სითბო, მაშინ 0.023 მოლი პროპანის წვისას გამოიყოფა X კჯ სითბო.

აქედან:

$$X = \frac{0.023 \text{ მოლი} \cdot 2220 \text{ კჯ}}{1 \text{ მოლი}} = 51.1 \text{ კჯ}$$

## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია

გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ 1 გ მეთანის წვისას გამოიყოფა  $55.6 : 51.1 \approx 1.1$ -ჯერ მეტი სითბო, ვიდრე 1 გ პროპანის წვისას.

გადავიდეთ ამოცანის მეორე ნაწილზე. გამოვთვალოთ დახარჯული ჟანგბადის მოცულობა, ჯერ მეთანის, შემდეგ კი პროპანის შემთხვევაში.

გავიხსენოთ, რომ ავოგადროს კანონიდან გამომდინარე, ერთნაირ ფიზიკურ პირობებში აირების რაოდენობებს შორის თანაფარდობა მათ მოცულობებს შორის თანაფარდობის ტოლია. ამის საფუძველზე შეგვიძლია შევადგინოთ პროპორცია:

თუ 1 მოლი მეთანის წვისთვის იხარჯება 2 მოლი ჟანგბადი,

მაშინ 1 ლ მეთანის წვისთვის დაიხარჯება X ლ ჟანგბადი.

აქედან:

$$X = \frac{1 \text{ ლ} \cdot 2 \text{ მოლი}}{1 \text{ მოლი}} = 2 \text{ ლ (ჟანგბადი), ჰაერი კი დაახლ. 5-ჯერ მეტი, ანუ } 2 \cdot 5 = 10 \text{ ლ}$$

(ჩათვლილია, რომ ჰაერში ჟანგბადის შემცველობაა დაახლოებით 20%).

ხოლო პროპანის შემთხვევაში:

თუ 1 მოლი პროპანის წვისთვის იხარჯება 5 მოლი ჟანგბადი,

მაშინ 1 ლ პროპანის წვისთვის დაიხარჯება X ლ ჟანგბადი.

აქედან:

$$X = \frac{1 \text{ ლ} \cdot 5 \text{ მოლი}}{1 \text{ მოლი}} = 5 \text{ ლ (ჟანგბადი), ჰაერისათვის კი დაახლ. 5-ჯერ მეტი, ანუ } 5 \cdot 5 = 25 \text{ ლ.}$$

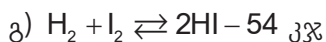
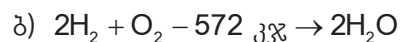
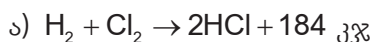
**პასუხი:** 1 გ მეთანის წვისას გამოიყოფა 1.1-ჯერ მეტი სითბო, ვიდრე 1 გ პროპანის წვისას.

1 ლ მეთანის წვისთვის დაიხარჯება 2 ლ ჟანგბადი და 10 ლ ჰაერი, ხოლო 1 ლ პროპანის წვისთვის – 5 ლ ჟანგბადი და 25 ლ ჰაერი.

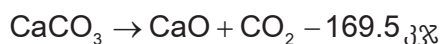


### კითხვები და დავალებები:

1. ქვემოთ მოყვანილი თერმოქიმიური ტოლობებიდან რომელია ეგზოთერმული და რომელი - ენდოთერმული? პასუხი დაასაბუთეთ.



2. ჩაუმქრალ კირს, რომელსაც კირქვის გამოწვით იღებენ, ბევრი მიმართულებით იყენებენ, მათ შორის სამშენებლო საქმესა და მინის წარმოებაში. რა რაოდენობით სითბო დაიხარჯება 5.6 კგ ჩაუმქრალი კირის მისაღებად, თუ კირქვის დაშლის თერმოქიმიური რეაქციაა:



## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერჯია

3. ფოსფორის წვის თერმოქიმიური ტოლობაა:  $4P + 5O_2 \rightarrow 2P_2O_5 + 3010$  კჯ, რაც ნიშნავს, რომ 4 მოლი ფოსფორის წვის შედეგად გამოიყოფა 3010 კჯ სითბო. გამოთვალეთ სითბოს რაოდენობა, რომელიც გამოიყოფა 31 კგ ფოსფორის დანვის შედეგად.
4. მეტალთა შედუღებისთვის ხშირად იყენებენ აცეტილენის სანთურას. ამ დროს გამოყოფილი დიდი რაოდენობით სითბოს ხარჯზე მეტალი ღვება და შესაძლებელია მისი მარტივად დამუშავება. წვა მიმდინარეობს კამკაშა ალით, ამიტომ ავტოგენური შედუღებისას აუცილებელია დამცავი სათვალის გაკეთება.



- ა) დაწერეთ აცეტილენის სრული წვის რეაქციის ტოლობა და გამოთვალეთ, რა რაოდენობის სითბო გამოიყოფა 39 გ აცეტილენის დანვის შედეგად, თუ ცნობილია, რომ აცეტილენის წვის სითბოა 1300 კჯ/მოლი.
- ბ) გამოთვალეთ, რა მოცულობის ჟანგბადი დაიხარჯება 224 ლ (ნ. პ.) აცეტილენის წვაზე?
- გ) შეიძლება თუ არა იმავე დანიშნულებით მეთანის სანთურის გამოყენება? პასუხი დაასაბუთეთ.
5. ბუნებრივი აირის მთავარი შემადგენელი ნივთიერების, მეთანის ( $CH_4$ ) დაშლისას  $1500^\circ C$ -ზე, წარმოიქმნება აცეტილენი ( $C_2H_2$ ) და წყალბადი, რომლებიც ქიმიური წარმოებისთვის მნიშვნელოვან ნედლეულს წარმოადგენს. 11.2 ლ მეთანის (ნ. პ.) დაშლისას შთაინთქმება 37.4 კჯ სითბო. შეადგინეთ ამ რეაქციის თერმოქიმიური ტოლობა.
6. ბუნებაში პიკნიკისას საჭმლის მოსამზადებლად ხშირად იყენებენ გათხევადებულ აირის ბალონს.



გამოიყენეთ ცხრილი 1.1 და გამოთვალეთ, რა რაოდენობის სითბო გამოიყოფა ბალონში მოთავსებული 10 კგ აირის წვისას, თუ გათხევადებული აირის მასური შედგენილობაა: პროპანი - 60%, ბუტანი - 40%.

1.3

საკვების ენერგეტიკული ღირებულება

სითბოს შთანთქმა ყველა ნივთიერებას შეუძლია. მაგალითად, როდესაც ნამცხვარს ვაცხობთ, მომზადებულ მასას ვათავსებთ ღუმელში, საიდანაც ის გარკვეული რაოდენობის სითბოს იღებს (ნახ. 1.14). კარტოფილის შეწვას კი სხვა რაოდენობის სითბო დასჭირდება. ასევე განსხვავებულია სხვადასხვა მასალისგან დამზადებული ჭურჭლის მიერ სითბოს შთანთქმის უნარი. ჩვენთვის ცნობილია, რომ სითბოს რაოდენობას, რომელიც 1 გრამი ნივთიერების ტემპერატურის 1 °C-ით გასაზრდელად არის საჭირო, ნივთიერების **კუთრი სითბოტევადობა** ეწოდება. ამ ფიზიკურ სიდიდეს **c** სიმბოლოთი აღნიშნავენ. მაგალითად, 1 გ ალუმინის ტემპერატურის 1 °C-ით გასაზრდელად საჭიროა 0.90 ჯ სითბოს შთანთქმა. აქედან გამომდინარე, ალუმინის კუთრი სითბოტევადობაა  $c = 0.90 \text{ ჯ/გ}\cdot^{\circ}\text{C}$  (ნახ. 1.15). SI-სისტემაში კუთრი სითბოტევადობის ერთეულია  $\text{ჯ/კგ}\cdot\text{K}$ , სადაც K ტემპერატურის ერთეულია კელვინებში (ცხრილი 1.2).



ნახ. 1.14. ნამცხვარი შთანთქავს ღუმელში არსებულ სითბოს და ამის ხარჯზე ცხვება.

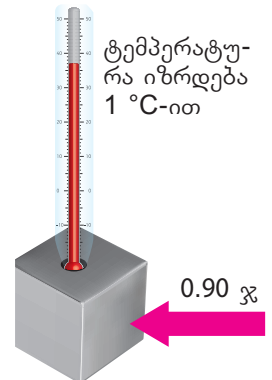
2 გ ალუმინის ტემპერატურა 1 °C-ით რომ გაიზარდოს, ამისათვის საჭირო იქნება  $2 \cdot 0.90 = 1.80$  ჯ სითბო; ხოლო 1 გ ალუმინის ტემპერატურის 2 °C-ით გასაზრდელად ასევე  $2 \cdot 0.90 = 1.80$  ჯ სითბოა საჭირო.

ამგვარად, საჭირო სითბოს რაოდენობა (Q) ნივთიერების მასისა (m) და ტემპერატურის ცვლილების ( $\Delta t$ ) პირდაპირპროპორციულია. ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობა გამოითვლება ფორმულით:

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$$



1 გ ალუმინი  
ნახ. 1.15. ალუმინის სითბოტევადობაა  $c = 0.90 \text{ ჯ/გ}\cdot^{\circ}\text{C}$

ცხრილი 1.2. ზოგიერთი ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობა.

ნივთიერება	ჯ/გ·°C	კალ/გ·°C
ალუმინი	0.897	0.214
სპილენძი	0.385	0.092
ოქრო	0.129	0.0308
რკინა	0.452	0.108
ვერცხლი	0.235	0.0562
ტიტანი	0.523	0.125
წყალი	4.184	1.00
ყინული	2.03	0.485



## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია

ენერგიის ერთეულად ასევე ხშირად გამოიყენება კალორია (კალ). 1 კალ არის ენერგია, რომელიც 1 გ წყლის (თხევად მდგომარეობაში) 1 °C-ით გასათბობად არის საჭირო. 1 კალ შეესაბამება 4.18 ჯოულს; აქედან გამომდინარე, წყლის კუთრი სითბოტევადობაა:

$$c = 4.18 \text{ ჯ/გ} \cdot ^\circ\text{C} = 1 \text{ კალ/გ} \cdot ^\circ\text{C}$$

აღნიშნული სიდიდეები ხშირად გამოიყენება პრაქტიკაში. განვიხილოთ ამოცანების ამოხსნის ნიმუშები:

### ამოცანის ამოხსნის ნიმუში – 2:

**ამოცანა:** გამოიყენეთ ცხრილი 1.2 და გამოთვალეთ, რა რაოდენობის სითბო (კჯ) დაიხარჯება ერთი ჭიქა ჩაის მოსამზადებლად საჭირო წყლის (250 გ) აღულებისას, თუ წყალს ოთახის ტემპერატურა (20 °C) აქვს.

**ამოხსნა:**

შევადგინოთ მოცემულობა:

**მოც:**

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 250 \text{ გ}$$

$$t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c = 4.18 \text{ ჯ/გ} \cdot ^\circ\text{C}$$

**უკვ:** Q – ?

დავწეროთ სითბოს რაოდენობის გამოსათვლელი ფორმულა:

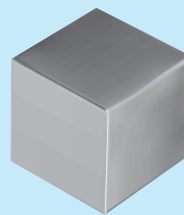
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 100 - 20 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = 250 \text{ გ} \cdot 4.18 \text{ ჯ/გ} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 80 \text{ }^\circ\text{C} = 83\,600 \text{ ჯ} = 83.6 \text{ კჯ}$$

### ამოცანის ამოხსნის ნიმუში – 3:

**ამოცანა:** მოცემულია თანაბარი მოცულობის (10 სმ<sup>3</sup>) სამი მეტალის (ოქრო, სპილენძი და ვერცხლი) კუბი. გამოიყენეთ ცხრილი 1.2 და გამოთვალეთ, რა რაოდენობის სითბო (კჯ) იქნება საჭირო თითოეული მეტალის 15 °C-დან 25 °C-მდე გასათბობად, თუ ცნობილია, რომ მათი სიმკვრივეები, შესაბამისად, არის – 19.32 გ/სმ<sup>3</sup>, 8.96 გ/სმ<sup>3</sup>, 10.49 გ/სმ<sup>3</sup>.



**ამოხსნა:**

შევადგინოთ მოცემულობა:

**მოც:**

$$V(\text{Au}) = 10 \text{ სმ}^3; V(\text{Cu}) = 10 \text{ სმ}^3; V(\text{Ag}) = 10 \text{ სმ}^3;$$

$$\rho(\text{Au}) = 19.32 \text{ გ/სმ}^3; \rho(\text{Cu}) = 8.96 \text{ გ/სმ}^3; \rho(\text{Ag}) = 10.49 \text{ გ/სმ}^3.$$

$$t_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია

$$t_2 = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c(\text{Au}) = 0.129 \text{ ჯ/გ}\cdot^{\circ}\text{C}; c(\text{Cu}) = 0.385 \text{ ჯ/გ}\cdot^{\circ}\text{C}; c(\text{Ag}) = 0.235 \text{ გ/ჯ}\cdot^{\circ}\text{C};$$

$$\text{უ.ე.: } Q(\text{Au}) - ? \quad Q(\text{Cu}) - ? \quad Q(\text{Ag}) - ?$$

პირველ რიგში, გამოვთვალოთ თითოეული მეტალის კუბის მასა:

$$m = \rho \cdot V$$

$$m(\text{Au}) = 10 \text{ სმ}^3 \cdot 19.32 \text{ გ/სმ}^3 = 193.2 \text{ გ}$$

$$m(\text{Cu}) = 10 \text{ სმ}^3 \cdot 8.96 \text{ გ/სმ}^3 = 89.6 \text{ გ}$$

$$m(\text{Ag}) = 10 \text{ სმ}^3 \cdot 10.49 \text{ გ/სმ}^3 = 104.9 \text{ გ}$$

სითბოს რაოდენობის გამოსათვლელი ფორმულაა:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 25 - 15 = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q(\text{Au}) = 193.2 \text{ გ} \cdot 0.129 \text{ ჯ/გ}\cdot^{\circ}\text{C} \cdot 10 \text{ }^{\circ}\text{C} = 249.228 \text{ ჯ} \approx 0.249 \text{ კჯ}$$

$$Q(\text{Cu}) = 89.6 \text{ გ} \cdot 0.385 \text{ ჯ/გ}\cdot^{\circ}\text{C} \cdot 10 \text{ }^{\circ}\text{C} = 334.565 \text{ ჯ} \approx 0.335 \text{ კჯ}$$

$$Q(\text{Ag}) = 104.9 \text{ გ} \cdot 0.235 \text{ ჯ/გ}\cdot^{\circ}\text{C} \cdot 10 \text{ }^{\circ}\text{C} = 246.515 \text{ ჯ} \approx 0.247 \text{ კჯ}$$

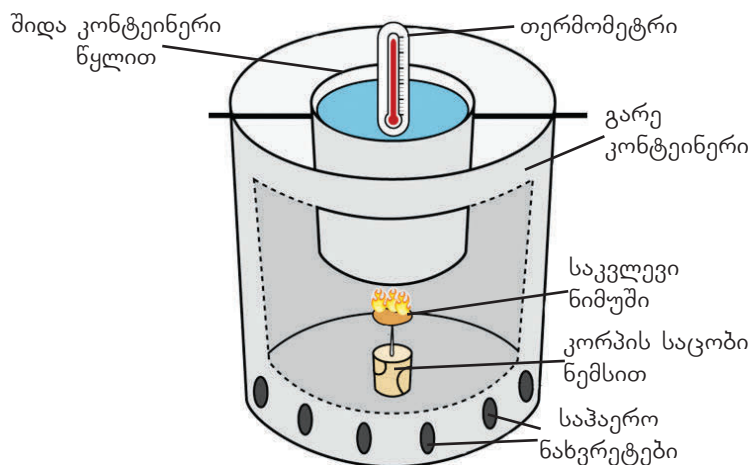
საკვები პროდუქტების ეტიკეტს თუ დავაკვირდებით, ვნახავთ, რომ მასზე მითითებულია „ენერგეტიკული ღირებულება“, რომელიც კალორიებით არის გამოსახული. სწორედ კალორიების რაოდენობის მიხედვით ურჩევენ დიეტოლოგები პაციენტებს, ჯანსაღი კვებისათვის რომელი საკვები რა რაოდენობით უნდა მიირთვან.

რა არის კალორია? რომელი საკვებია ყველაზე კალორიული? როგორ შეიძლება საკვების ენერგეტიკული ღირებულების განსაზღვრა?

ორგანიზმისათვის აუცილებელი ენერგია, რომელსაც საკვებიდან ვიღებთ, წარმოიქმნება საკვებში არსებული ორგანული ნივთიერებების (ნახშირწყლების, ცილების, ცხიმების) დაშლისა და ჟანგვის შედეგად. ეს ენერგია რაოდენობრივად იმ სითბოს ტოლია, რომელიც ამ ნივთიერებების დაწვის შედეგად გამოიყოფოდა. სწორედ ამას ეფუძნება საკვების ენერგეტიკული ღირებულების განსაზღვრის კალორიმეტრული მეთოდი.

კალორიმეტრი არის ხელსაწყო, რომლის საშუალებითაც იზომება სხეულის ან ნივთიერების ქიმიური გარდაქმნის შედეგად გამოყოფილი ან შთანთქმული სითბოს რაოდენობა.

კალორიმეტრის გამარტივებული სქემა მოცემულია 1.16 ნახაზზე.



ნახ. 1.16. კალორიმეტრი.



## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია

როგორც ნახაზიდან ვხედავთ, კალორიმეტრის მეტალის კონტეინერის ფსკერზე მოთავსებულია კორპის საცობი, რომელშიც ჩარჭობილია ნემსი. ამ ნემსზე ამაგრებენ საკვლევ ნიმუშს და უკიდებენ ცეცხლს. წვისას გამოყოფილი ენერგია ათბობს შიდა, მეტალის კონტეინერს, რომელშიც წყალი ასხია. კალორიმეტრს აუცილებლად უნდა ჰქონდეს საჰაერო ნახვრეტები, რათა მიენოდოს ჟანგბადი, რომელიც ხელს უწყობს ნიმუშის წვას. ამის შედეგად წყალიც თბება, შესაბამისად, იცვლება მასში ჩაშვებული თერმომეტრის ჩვენება.

საკვლევი ნიმუშის წვისას გამოყოფილი სითბო გამოითვლება ფორმულით:

$$Q = k \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (t_2 - t_1)$$

სადაც:

$Q$  – მოცემული ნიმუშის წვის შედეგად გამოყოფილი სითბოს რაოდენობაა;

$k$  – კოეფიციენტი, რომლის საშუალებითაც ხელსაწყოს უზუსტობას უგულებელყოფენ. ის ინდივიდუალურია თითოეული ხელსაწყოსათვის. მაგალითად, ზემოთ აღწერილი ხელსაწყოსთვის (ნახ. 1.16)  $k = 2$ , რაც იმას ნიშნავს, რომ კალორიმეტრში ჩასხმული წყლის გათბობაზე იხარჯება დაახლოებით 2-ჯერ ნაკლები სითბო, ვიდრე ნიმუშის წვისას გამოიყოფა, რაც, ძირითადად, გარემოში ენერგიის დაკარგვით არის გამოწვეული;

$c_{\text{H}_2\text{O}}$  – წყლის კუთრი სითბოტევადობაა  $c_{\text{H}_2\text{O}} = 1$  კალ/(გ·°C), ანუ 4.18 ჯ/(გ·°C);

$m_{\text{H}_2\text{O}}$  – აღებული წყლის მასაა;

$t_1$  – წყლის საწყისი ტემპერატურა (ვიდრე საწყისი ნივთიერების წვა დაიწყებოდა);

$t_2$  – წყლის საბოლოო ტემპერატურა.

პროდუქტის ენერგეტიკულ ღირებულებას, ანუ კალორიულობას ანგარიშობენ კილოკალორიებში (კკალ) 100 გ პროდუქტზე. ამისათვის საკვლევი ნიმუში დაწვამდე და დაწვის შემდეგ უნდა აიწონოს. 100 გ-ზე გადასაანგარიშებლად ნიმუშის წვის შედეგად გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა უნდა გაიყოს ნიმუშის მასაზე და გამრავლდეს 100-ზე:

$$E_{100} = \frac{Q \cdot 100}{(m_1 - m_2)}$$

სადაც:

$E_{100}$  – პროდუქტის ენერგეტიკული ღირებულებაა;

$Q$  – მოცემული ნიმუშის წვის შედეგად გამოყოფილი სითბოს რაოდენობაა;

$m_1$  – საანალიზოდ აღებული ნიმუშის მასაა დაწვამდე;

$m_2$  – საანალიზოდ აღებული ნიმუშის მასაა დაწვის შემდეგ;

100-ზე გამრავლება საჭიროა 100 გ პროდუქტზე გადასაანგარიშებლად.

მიღებული კალორია შეგიძლიათ გადაიყვანოთ კილოკალორიაში (1 კკალ = 1000 კალ). განვიხილოთ პრაქტიკული ამოცანის ამოხსნის მაგალითი:

### ამოცანის ამოხსნის ნიმუში – 4:

**ამოცანა:** კალორიმეტრში, რომლის  $k = 2$ , ჩაასხეს 50 მლ წყალი, რომლის ტემპერატურაც იყო 22 °C. ნემსის წვერზე წამოაცვეს საკვლევი პროდუქტის ნიმუში (ნუშის ნატეხი), რომლის მასაც იყო 1.27 გ. ნიმუშის დაწვის შემდეგ წყლის ტემპერატურა გახდა 30 °C, ხოლო ნიმუშის ნარჩენის მასა – 1.12 გ. გამოთვალეთ პროდუქტის ენერგეტიკული ღირებულება (კკალ).

## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია

**ამოხსნა:**

**მოც.:**  $m_1 = 1.27 \text{ გ}$   
 $m_2 = 1.12 \text{ გ}$   
 $t_1 = 22^\circ\text{C}$   
 $t_2 = 30^\circ\text{C}$   
 $m_{\text{H}_2\text{O}} = 50 \text{ გ}$   
 $k = 2$

**უ. ვ.:**  $E_{100}$

გამოვიყენოთ სითბოს გამოსათვლელი ფორმულა:

$$Q = k \cdot C_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (t_2 - t_1)$$

$$Q = 2 \cdot 1 \frac{\text{კალ}}{\text{გ} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 50 \text{ გ} \cdot (30 - 22) ^\circ\text{C} = 800 \text{ კალ}$$

გამოვიანგარიშოთ პროდუქტის ენერგეტიკული ღირებულება კალორიებში, შემდეგი ფორმულის გამოყენებით:

$$E_{100} = \frac{Q \cdot 100}{(m_1 - m_2)}$$

$$E_{100} = \frac{800 \text{ კალ} \cdot 100 \frac{\text{გ}}{\text{გ}}}{(1.27 - 1.12) \frac{\text{გ}}{\text{გ}}} = 533333 \text{ კალ}$$

$$E_{100} \approx 533 \text{ კკალ}$$

ამრიგად, 100 გ ამ პროდუქტის (ნუშის) მირთმევით თქვენ 533 კკალ ენერგიას მიიღებთ.



### კითხვები და დავალებები:

1. გადახაზეთ ცხრილი სამუშაო რვეულში და შეავსეთ ცარიელი უჯრები:

წყალი			
მასა, გ	ტემპერატურის ცვლილება, °C	ენერგია, ჯ	ენერგია, კალ
100	24.2		
75			$1.29 \cdot 10^3$
	18.4	59.6	

2. დადგენილია, რომ ადამიანი 4 კმ/სთ სიჩქარით სიარულისას 1 სთ-ში საშუალოდ 400 კკალ ენერგიას ხარჯავს. რამდენი ხანი უნდა იაროს ამ სიჩქარით ადამიანმა, რომ დაიკლოს 2 კგ (ცხიმის მასის), თუ 1 გ ცხიმი შეესაბამება 7.6 კკალ ენერგიას? ჩათვალეთ, რომ ამ დროს მხოლოდ ცხიმი იწვება.



## სხვადასხვა თხილეულის ენერგეტიკული ღირებულების განსაზღვრა

ცნობილია, რომ თხილეული გამოირჩევა ცხიმის მაღალი შემცველობით, რის გამოც ის კალორიულ საკვებად მიიჩნევა. როგორ შეიძლება განისაზღვროს მათი კალორიულობა? ჩაატარეთ ექსპერიმენტი თქვენ მიერ შერჩეული თხილეულის ენერგეტიკული ღირებულების დასადგენად.



ექსპერიმენტისათვის დაგჭირდებათ:  
რესურსები:

- სამი სახეობის თხილეული
- გამოხდილი წყალი

ქიმიური ჭურჭელი და ხელსაწყოები:

- კალორიმეტრი ან ალუმინის ქილა
- ასანთი
- ნემსი
- სასწორი
- თერმომეტრი

ექსპერიმენტის მსვლელობა:

1. შეარჩიეთ ექსპერიმენტისათვის თითოეული სახეობის თხილეულის სამ-სამი ერთნაირი ზომის გული, აწონეთ და მათი მასები ჩაწერეთ ექსპერიმენტის ოქმის ცხრილში.
2. თითოეული ნიმუში გამოიკვლიეთ კალორიმეტრის საშუალებით. ამისათვის ჩაატარეთ შემდეგი პროცედურები:
  - ნიმუში დაამაგრეთ ნემსის წვერზე;
  - კალორიმეტრის კონტეინერში ჩაასხით დაახლოებით 100 გ წყალი (თითოეულ შემთხვევაში წყალი აწონეთ და მასა ჩაინიშნეთ ცხრილში). სიმარტივისთვის, შეგიძლიათ გამოიყენოთ გაზიანი სასმელების ალუმინის ქილა;
  - თერმომეტრით გაზომეთ წყლის საწყისი ტემპერატურა და ჩაიწერეთ ცხრილში;
  - ნემსზე დამაგრებულ ნიმუშს მოუკიდეთ ცეცხლი;

## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია

- ცეცხლის ჩაქრობამდე დააკვირდით თერმომეტრის მაჩვენებელს და მაქსიმალური მნიშვნელობა ჩაინიშნეთ ცხრილში.
- დაწვის შემდეგ აწონეთ ნიმუშის ნარჩენის მასა და ჩაინერეთ ცხრილში.

მონაცემთა ცხრილი:

პროდუქტი	ცდა	ნიმუშის საწყისი მასა, $m_1$ (გ)	ნიმუშის სა- ბოლოო მასა, $m_2$ (გ)	წყლის მასა, $m_{H_2O}$ (გ)	წყლის საწყისი ტემ- პერატურა, $t_1$ (°C)	წყლის საბოლოო ტემპერატურა, $t_2$ (°C)
	1					
	2					
	3					
	1					
	2					
	3					
	1					
	2					
	3					

თუ ექსპერიმენტს ვერ ჩაატარებთ, გამოიყენეთ ცხრილში მოცემული მონაცემები (შერჩეულია: თხილი, ნიგოზი და არაქისი):

პროდუქტი	ცდა	ნიმუშის საწყისი მასა, $m_1$ (გ)	ნიმუშის სა- ბოლოო მასა, $m_2$ (გ)	წყლის მასა, $m_{H_2O}$ (გ)	წყლის საწყისი ტემ- პერატურა, $t_1$ (°C)	წყლის საბოლოო ტემპერატურა, $t_2$ (°C)
თხილი	1	1.95	1.37	95	21.5	38
	2	1.72	1.28	97	20.5	34.5
	3	1.8	1.29	101	21	36
ნიგოზი	1	2.63	1.84	100	22.5	48.5
	2	2.8	1.96	102	22.5	49.5
	3	2.54	1.76	101	23	50.5
არაქისი	1	1.18	0.62	98	22.5	38
	2	1.15	0.61	100	21.5	36.5
	3	1.1	0.56	102	21	35

დაამუშავეთ მიღებული (ან ცხრილში მოცემული) მონაცემები, გამოიყენეთ გაკვეთილში მოცემული ფორმულები და შეავსეთ ცხრილი:

თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია

პროდუქტი	ცდა	ნიმუშის მასათა სხვაობა, $(m_1 - m_2)$ (გ)	ტემპერატურის სხვაობა $(t_2 - t_1)$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	ენერგეტიკული ღირებულება 100 გ პროდუქტზე, კკალ	
				ცალკეული ცდების მიხედვით	საშუალო მნიშვნელობა
	1				
	2				
	3				
	1				
	2				
	3				
	1				
	2				
	3				

მიღებული შედეგების საფუძველზე უპასუხეთ კითხვებს:

- ა) როგორ ფიქრობთ, რატომაა საჭირო თითოეულ პროდუქტზე 3-3 ანალიზის ჩატარება?
- ბ) თქვენი აზრით, რა ინვესს ხელსაწყოს უზუსტობას?
- გ) თქვენი აზრით, როგორ შეიძლება დადგინდეს  $k$  კოეფიციენტის სიდიდე?
- დ) შერჩეული პროდუქტებიდან რომლის ენერგეტიკული ღირებულებაა ყველაზე მაღალი?

1.4

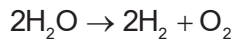
ქიმიური ბმის ენერგია

ერთნაირი სისტემის ბამბის, აბრეშუმისა და კაპრონის ძაფებს თუ ავიღებთ და მათ განყვეტას შევეცდებით, აღმოჩნდება, რომ ბამბის ძაფი ადვილად განყდება, აბრეშუმის ძაფის გასაწყვეტად უფრო მეტი ძალისხმევა დაგვჭირდება, ხოლო კაპრონის ძაფი შეიძლება ვერც გავწყვიტოთ. რა არის ამის მიზეზი? ძაფის განყვეტა, მისი მოლეკულების შემადგენელი ნაწილების განყვეტას ნიშნავს. ამ შემთხვევაში ნათლად ჩანს, რომ ეს ნაწილები ერთმანეთისაგან შეკავშირების (ბმების) ძალებით განსხვავდება. ჩვენთვის უკვე ცნობილია, რომ ბმის ენერგია არის ენერგიის ის რაოდენობა, რომელიც საჭიროა სტანდარტულ პირობებში აირად მდგომარეობაში მყოფ 1 მოლ ნივთიერებაში კოვალენტური ბმების გასაწყვეტად. შესაბამისად, იმავე რაოდენობის ენერგია გამოიყოფა 1 მოლი ბმის წარმოქმნის პროცესშიც. ბმის ენერგიის ერთეულია კჯ/მოლი. განხილულ შემთხვევაში ქიმიური ბმის ყველაზე მეტი ენერგია კაპრონის ძაფის მოლეკულების შემაკავშირებელ ატომებს აღმოაჩნდა, ყველაზე ნაკლები – ბამბისას.

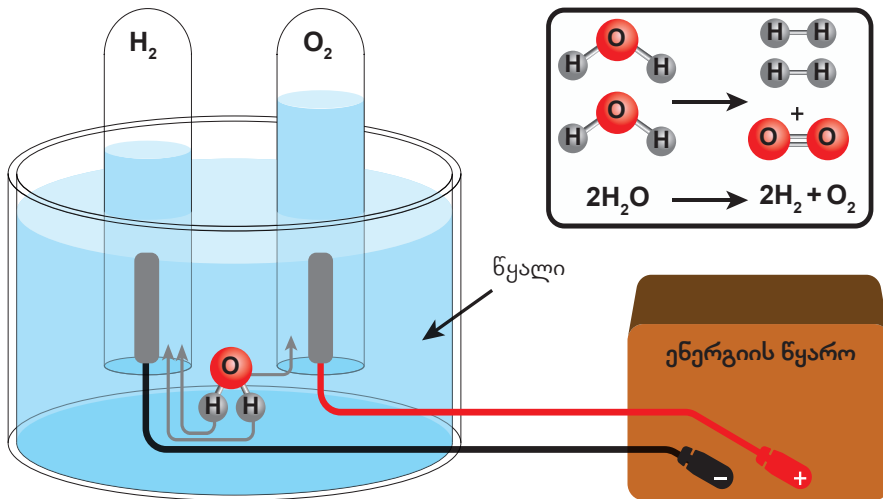
ჩვენთვის უკვე ცნობილია, რომ ნივთიერების შემადგენელ ნაწილაკებს შორის არსებობს სხვადასხვა ტიპის ბმა, რომლებიც ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობის პროცესში წყდება. ახალი ნივთიერების წარმოქმნისას კი ახალი ტიპის ბმა მყარდება. რეაგენტებში არსებული ბმების განყვეტას ყოველთვის ესაჭიროება ენერგიის მიწოდება, ხოლო ბმის წარმოქმნის შედეგად ენერგია გამოიყოფა.

განვიხილოთ პირველი მაგალითი:

წყლის დაშლა შესაძლებელია ელექტროლიზით:



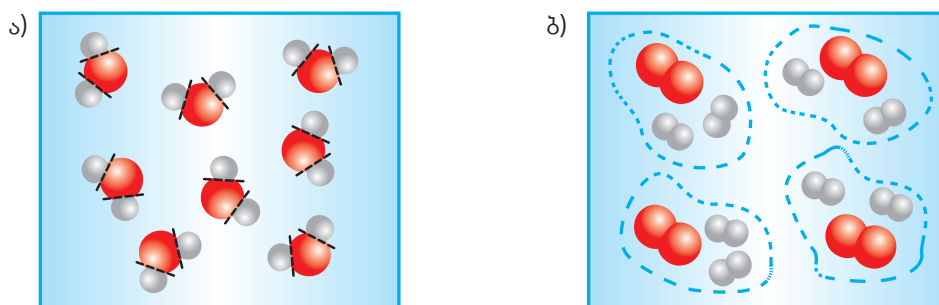
პირველ ეტაპზე წყლის მოლეკულებში წყალბადისა და ჟანგბადის ატომებს შორის არსებული კოვალენტური ბმები (H-O) წყდება, რასაც ესაჭიროება ენერგია. შესაბამისად, ეს პროცესი ენდოთერმულია. ამ ქიმიური რეაქციის შემთხვევაში საჭირო ენერგია სისტემას მიეწოდება ელექტროენერგიის სახით (ნახ. 1.17).



ნახ. 1.17. წყლის დაშლა ელექტროლიზის დროს.

## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია

მეორე ეტაპზე წარმოიქმნება ახალი ბმები წყალბადის ატომებს შორის (H – H) და ჟანგბადის ატომებს (O=O) შორის. ამ დროს ენერგია გამოიყოფა. შესაბამისად, ბმების წარმოქმნის პროცესი ეგზოთერმულია (ნახ. 1.18).



ნახ. 1.18. ა) ბმების განყვეტა წყლის მოლეკულაში; ბ) ახალი ბმების წარმოქმნა.

ამ ქიმიური რეაქციის დროს, პირველ ეტაპზე შთანთქმული ენერგია უფრო მეტია, ვიდრე მეორე ეტაპზე გამოყოფილი ენერგია, ამიტომ მთლიანობაში ენერგია შთაინთქმება და რეაქცია ენდოთერმულია.

ქიმიური რეაქციის შედეგად ენერგიის ცვლილების გამოთვლა შესაძლებელია ბმის ენერგიების გამოყენებით.

წყლის ორ მოლეკულაში სულ წყდება წყალბადსა და ჟანგბადს შორის არსებული 4 კოვალენტური ბმა (H–O), რაზეც იხარჯება ენერგია. რეაქციის შედეგად წარმოიქმნება წყალბადის 2 მოლეკულა და ჟანგბადის 1 მოლეკულა, რასაც ახლავს ენერგიის გამოყოფა. ცხრილიდან 1.3 ჩანს, რომ 1 მოლი H–O ბმის განყვეტაზე იხარჯება 463 კჯ ენერგია, ხოლო 1 მოლი H–H ბმის და 1 მოლი O=O ბმის წარმოქმნაზე გამოიყოფა, შესაბამისად, 436 კჯ და 496 კჯ ენერგია.

ცხრილი 1.3. ზოგიერთი ბმის ენერგია, კჯ/მოლი.

ბმა	ბმის ენ- თალპია, კჯ/მოლი	ბმა	ბმის ენ- თალპია, კჯ/მოლი	ბმა	ბმის ენ- თალპია, კჯ/მოლი	ბმა	ბმის ენ- თალპია, კჯ/მოლი
H-H	436	C-H	412	O-O	146	C-O	360
C-C	348	Si-H	318	O=O	496	C=O	804
C=C	612	N-H	388	Si-O	374	C≡O	1070
C≡C	837	P-H	322	F-F	158	C-N	305
Si-Si	226	H-O	463	Cl-Cl	242	C=N	613
N-N	163	H-S	338	Br-Br	193	C≡N	890
N=N	409	H-F	562	I-I	151	C-F	484
N≡N	944	H-Cl	431	N-Cl	200	C-Cl	338
P-P	172	H-Br	366	Si-F	590	C-Br	276
S-S	264	H-I	299	N-F	278	C-I	238



## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია

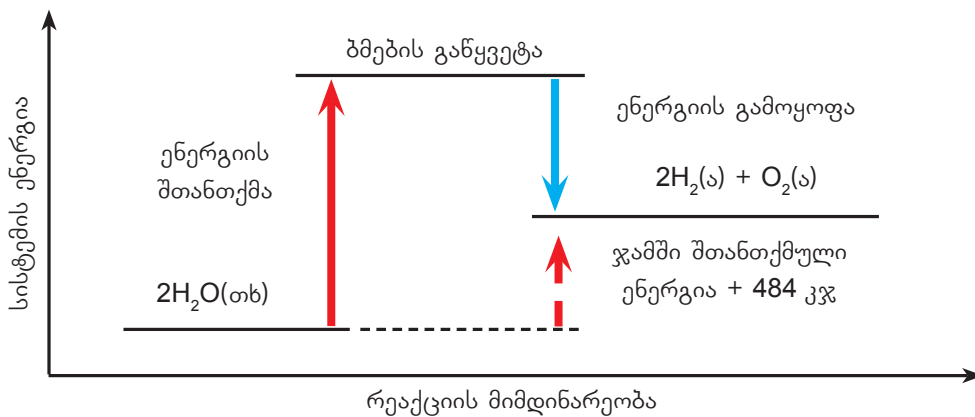
ბმების განწყვეტაზე დახარჯული ენერგია:  $4 \text{ (H-O)} \cdot 463 = 1852 \text{ კჯ}$  სულ დახარჯული ენერგია = 1852 კჯ	ბმების წარმოქმნაზე გამოყოფილი ენერგია:  $2 \text{ (H-H)} \cdot 436 = 872 \text{ კჯ}$ $1 \text{ (O=O)} \cdot 496 = 496 \text{ კჯ}$  სულ გამოყოფილი ენერგია = 1368 კჯ
---	--

---

ენერგიის ცვლილება = (ბმების განწყვეტაზე დახარჯული ენერგია) – (ბმების წარმოქმნაზე გამოყოფილი ენერგია)

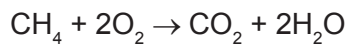
$1852 \text{ კჯ} - 1368 \text{ კჯ} = + 484 \text{ კჯ}$

რადგან ქიმიური რეაქციის შედეგად ბმების განწყვეტაზე დაიხარჯა მეტი ენერგია, ვიდრე გამოიყო, ენერგიებს შორის სხვაობა არის დადებითი. ეს სხვაობა, ანუ 484 კჯ ენერგია, შთაინთქა გარემოდან სისტემის მიერ და რეაქცია არის ენდოთერმული (ნახ. 1.19).



ნახ. 1.19. ენერგიის ცვლილება წყლის დაშლის პროცესში.

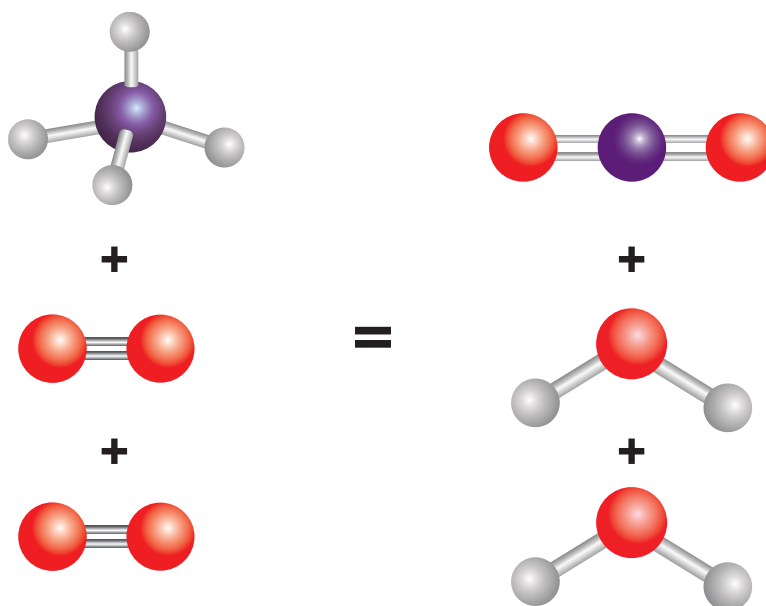
განვიხილოთ ეგზოთერმული რეაქციის მაგალითი. ჩვენთვის ცნობილია, რომ ბუნებრივი აირის წვის შედეგად გამოიყოფა სითბო, რომელსაც ვიყენებთ გასათბობად, საჭმლის მოსამზადებლად და სხვა მიზნებისათვის (ნახ. 1.20).



ამ რეაქციაში რეაგენტებია მეთანი და ჟანგბადი. მეთანის ერთ მოლეკულაში არის 4 C–H ბმა. მეთანი ურთიერთქმედებს 2 მოლეკულა ჟანგბადთან, რომლებიც ჯამში 2 ორმაგ ბმას (O=O) შეიცავს. რეაქციის განხორციელებისას ამ ბმების განწყვეტაზე იხარჯება ენერგია. რეაქციის შედეგად მიიღება 1 მოლეკულა ნახშირორჟანგი, რომელიც შეიცავს 2 C=O ბმას, და გამოიყოფა წყლის 2 მოლეკულა, რომლებიც ჯამში 4 H–O ბმას შეიცავს. ამ ბმების წარმოქმნის დროს ენერგია გამოიყოფა.



## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია



ნახ. 1.20. მეთანის წვის რეაქციის სქემა.

ბმის ენერგიების მნიშვნელობებიდან (ცხრილი 1.3), ჩანს, რომ 1 მოლი C–H ბმის განყვეტაზე იხარჯება 412 კჯ, 1 მოლი O=O ბმისაზე – 496 კჯ ენერგია. რეაქციის შედეგად მიიღება ნახშირორჟანგი, სადაც 1 მოლი C=O ბმის წარმოქმნისას გამოიყოფა 804 კჯ, ხოლო 1 მოლი H–O ბმის წარმოქმნისას – 463 კჯ.

ბმების განყვეტაზე დახარჯული ენერგია:

$$4 (\text{C-H}) \cdot 412 = 1648 \text{ კჯ}$$

$$2 (\text{O=O}) \cdot 496 = 992 \text{ კჯ}$$

სულ დახარჯული ენერგია = 2640 კჯ

ბმების წარმოქმნაზე გამოყოფილი ენერგია:

$$4 (\text{H-O}) \cdot 463 = 1852 \text{ კჯ}$$

$$2 (\text{C=O}) \cdot 804 = 1608 \text{ კჯ}$$

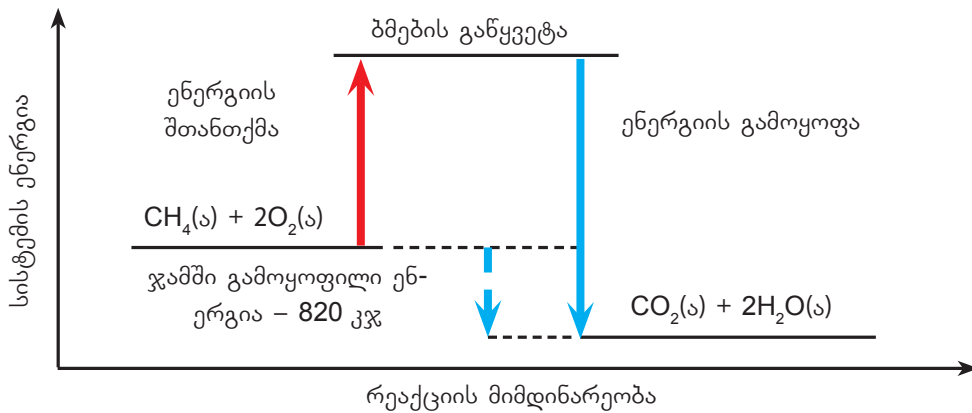
სულ გამოყოფილი ენერგია = 3460 კჯ

ენერგიის ცვლილება = (ბმების განყვეტაზე დახარჯული ენერგია) – (ბმების წარმოქმნაზე გამოყოფილი ენერგია)

$$2640 \text{ კჯ} - 3460 \text{ კჯ} = - 820 \text{ კჯ}$$

რადგან რეაქციის შედეგად ბმების განყვეტაზე დაიხარჯა ნაკლები ენერგია, ვიდრე გამოიყო, ენერგიებს შორის სხვაობა უარყოფითია, რაც ნიშნავს, რომ 820 კჯ ენერგია სისტემიდან გარემოს გადაეცემა სითბოს სახით, ამიტომ რეაქცია ეგზოთერმულია (ნახ. 1.21).

## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია



ნახ. 1.21. ენერგიის ცვლილება მეთანის წვის პროცესში.

ქიმიური რეაქციის დაწყებისთვის აუცილებელია ბმების განწყვეტა, რაც ყოველთვის მოითხოვს ენერგიას. ზოგიერთი ქიმიური რეაქციის დასაწყებად ძალიან მცირე ენერგიაა საჭირო, ამიტომ რეაქცია ოთახის ტემპერატურაზეც მიმდინარეობს. მაგალითად, ნატრიუმის ქლორიდსა და ვერცხლის ნიტრატს შორის მიმდინარე რეაქციის დროს, ხსნარების შერევისას, ნალექი მყისიერად წარმოიქმნება (ნახ. 1.22).



ნახ. 1.22. ვერცხლის ქლორიდის ნალექის წარმოქმნა.

ზოგიერთი ეგზოთერმული რეაქციის დასაწყებად საჭიროა საწყის ეტაპზე ენერგიის მიწოდება (მაგალითად, ნაპერწკლის სახით). შემდეგ კი რეაქცია გამოყოფილი ენერგიის ხარჯზე თავისთავად მიმდინარეობს. ამის მაგალითია ბუნებრივი აირის წვა (ნახ. 1.23).



ნახ. 1.23. ბუნებრივი აირის წვა.

ენდოთერმულ რეაქციებს მიმდინარეობისთვის ენერგიის მიწოდება უწყვეტად ესაჭიროება. მაგალითად, მანგანუმ(II)-ის კარბონატის დაშლის პროცესში (ნახ. 1.24) საჭიროა ენერგიის უწყვეტად მიწოდება, ვიდრე რეაგენტი სრულად არ დაიშლება.

## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია



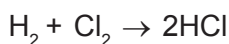
ნახ. 1.24. მანგანუმ(II)-ის კარბონატის დაშლა გახურებით.

როგორც კი გაცხელება შეწყდება, რეაქცია გაჩერდება.



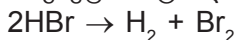
### კითხვები და დავალებები:

1. ნყალბადისა და ქლორწყალბადის ბმის ენერგიებია 436 კჯ/მოლი და 431 კჯ/მოლი.



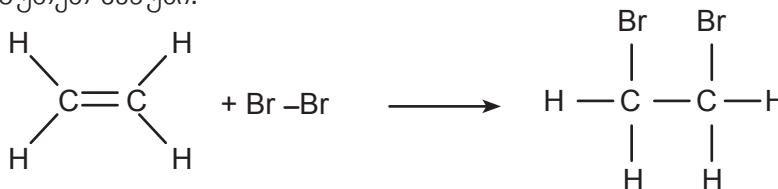
გამოთვალეთ მოცემული რეაქციის ტოლობის მიხედვით ქლორის მოლეკულის ბმის ენერგია, თუ რეაქციის სითბური ეფექტია 184 კჯ/მოლი.

2. ბრომწყალბადმჟავას დაშლის რეაქციის ტოლობაა:



გამოთვალეთ მოცემული ქიმიური რეაქციის ენერგიის ცვლილება (სითბური ეფექტი) 1.3 ცხრილის მიხედვით. ეგზოთერმულია თუ ენდოთერმული რეაქცია? პასუხი დაასაბუთეთ.

3. გამოთვალეთ მოცემული ქიმიური რეაქციის ენერგიის ცვლილება 1.3 ცხრილის მიხედვით. დაადგინეთ რეაქცია ენდოთერმულია თუ ეგზოთერმული და დაასაბუთეთ პასუხი.





## როგორ არეგულირებს ადამიანის ორგანიზმი წონას?

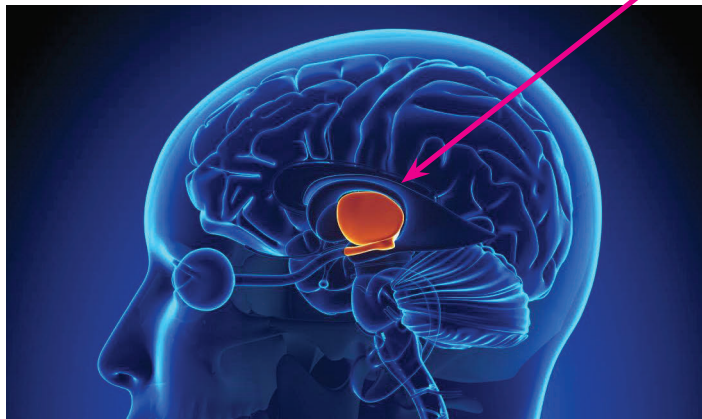
კალორიების დღიური ნორმა ადამიანის ორგანიზმის ჯანსაღი ფუნქციონირებისათვის განსხვავდება სქესის, ასაკისა და ფიზიკური დატვირთვის მიხედვით. საშუალო მონაცემები მოცემულია 1.4 ცხრილში.

ცხრილი 1.4. კალორიების დღიური ნორმა.

სქესი	ასაკი	საშუალოდ აქტიური ფიზიკური დატვირთვა	ძალიან აქტიური ფიზიკური დატვირთვა
		ენერგია, კკალ	ენერგია, კკალ
მდედრობითი	19-30	2100	2400
	31-50	2000	2200
მამრობითი	19-30	2700	3000
	31-50	2500	2900

საკვების რაოდენობა, რომელსაც ადამიანის ორგანიზმი ითხოვს, რეგულირებულია შიმშილის ცენტრით, რომელიც მდებარეობს ტვინში, კერძოდ ჰიპოთალამუსში (ნახ.1.25). როდესაც ორგანიზმში საკვები ნივთიერებების ნაკლებობაა, ტვინი იღებს სიგნალს, რის შემდეგაც აქტიურდება შიმშილის გრძნობა. როდესაც ნივთიერებების მარაგი შეივსება, შიმშილის გრძნობაც ქრება.

ჰიპოთალამუსი



ნახ. 1.25. ჰიპოთალამუსის მდებარეობა თავის ტვინში.

დიეტური პროდუქტები ძირითადად შეიცავს ისეთ ნივთიერებებს, რომლებსაც აქვს დაბალი კალორიულობა, მაგრამ იწვევს დანაყრების შეგრძნებას. მაგალითად, ასეთი ნივთიერებაა ცელულოზა, რომელსაც ძირითადად შეიცავს მცენარეული საკვები - ხილი და ბოსტნეული.

ზოგადად, ადამიანი იმატებს წონაში მაშინ, როდესაც მიღებული საკვებში არსებული ენერგია მეტია, ვიდრე დახარჯული ენერგია და პირიქით, იკლებს, როდესაც დახარჯული ენერგია აღემატება მიღებულს. ენერგიის ხარჯვის ეფექტური მეთოდებია, მაგალითად, ვარჯიში და ცურვა, რომელთა დროსაც მნიშვნელოვნად მეტი ენერგია იხარჯება, ვიდრე ჯდომის ან სიარულისას.



## შემაჯამებელი სავარჯიშოები

1. ოთახის ტემპერატურის ( $20^{\circ}\text{C}$ ) რა მასის წყალს აადულებს  $33.6$  ლ მეთანის წვის დროს გამოყოფილი სითბო, თუ მეთანის წვის სითბოა  $890$  კჯ/მოლი.
2. რა რაოდენობის ენერგიაა საჭირო  $145$  გ წყლის  $22.3^{\circ}\text{C}$ -დან  $75.0^{\circ}\text{C}$ -მდე გასათბობად?
3. რა რაოდენობის ენერგიაა საჭირო  $1.5$  კგ წყლის  $18.5^{\circ}\text{C}$ -დან  $55.0^{\circ}\text{C}$ -მდე გასათბობად?
4. ვერცხლის ნაჭრის  $12.0^{\circ}\text{C}$ -დან  $15.2^{\circ}\text{C}$ -მდე გასათბობად საჭიროა  $1.25$  კჯ ენერგია. გამოთვალეთ ამ ნაჭრის მასა.
5. რამდენი გრადუსით შეიცვლება ტემპერატურა, თუ  $10$  გ რკინის ნაჭერს გავათბობთ  $50$  ჯ ენერგიით?
6. დადგენილია, რომ  $1$  სთ ინტენსიური ვარჯიშის შედეგად საშუალოდ  $5500$  კჯ ენერგია გამოიყოფა. გადახურების თავიდან ასაცილებლად, ორგანიზმი ოფლს გამოყოფს. გამოყოფილი ენერგია ოფლში შემავალი წყლის კანის ზედაპირიდან აორთქლებაზე იხარჯება, რაც ორგანიზმს აგრილებს. რა მასის წყალი უნდა აორთქლდეს იმ ენერგიის დასახარჯად, რაც გამოიყოფა  $2$  სთ ინტენსიური ვარჯიშის შედეგად?  $1$  მოლი წყლის აორთქლებისას იხარჯება  $40.6$  კჯ სითბო.



7. ცხრილი N1. სხვადასხვა ორგანული ნივთიერების ენერგეტიკული ღირებულება.

პროდუქტი	კჯ/გ	კკალ/გ
ნახშირწყლები	17	4
ცილები	17	4
ცხიმები	38	9

N1 ცხრილში მოცემული ინფორმაციის გამოყენებით შეავსეთ ცხრილი N2 და უპასუხეთ კითხვებს.

## თავი 1. ქიმიური რეაქცია და ენერგია

ცხრილი N2. სხვადასხვა პროდუქტის ენერგეტიკული ღირებულება.

პროდუქტი	ნახშირწყლები, გ	ცილები, გ	ცხიმები, გ	ენერგია, კკალ
1 ც ჰამბურგერი	37	24	19	
1 ც ჩიზბურგერი	34	31	29	
1 ულუფა კარტოფილი	26	3	11	
1 ჭიქა ფორთოხლის წვენი	26	2	0	
1 ც ვაშლი		0	0	72
1 ულუფა წვნიანი	6		7	110
1 ჭიქა გაზიანი სასმელი		0	0	140
1 ც ავოკადო	13	5		405
1 კოვზი ზეთის ზეთი	0	0	14	

ა) რამდენ კკალ ენერგიას მიიღებთ, თუ მიირთმევთ 1 ც ჩიზბურგერს, 1 ულუფა კარტოფილსა და 1 ჭიქა გაზიან სასმელს? რამდენი ავოკადო მოგცემდათ იმავე რაოდენობის ენერგიას?



ბ) ადამიანმა დღეში საშუალოდ 2000 კკალ ენერგია უნდა მიიღოს. ცხრილში მოცემული ინფორმაციის საფუძველზე შეადგინეთ ისეთი რაციონი, რომელიც ადამიანს 1 დღისათვის საკმარისი ენერგიით უზრუნველყოფს.

8. ალუმინოთერმის მეთოდით რკინის ნაკეთობათა შედუღებისთვის იყენებენ ალუმინისა და რკინის ხენჯის ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) ნარევს, რა დროსაც მიიღება ალუმინის ოქსიდი და რკინა. შეადგინეთ აღნიშნული რეაქციის თერმოქიმიური ტოლობა, თუ ამ რეაქციით 1.12 კგ რკინის წარმოქმნისას გამოიყოფა 7100 კჯ სითბო.
9. გამოთვალეთ მარტივი ნივთიერებებისგან ქსენონის ტეტრაფთორიდის წარმოქმნის რეაქციაში ენერგიის ცვლილება, თუ  $\text{Xe} - \text{F}$  ბმის ენერგია 130 კჯ/მოლია, ხოლო  $\text{F} - \text{F}$  ბმისა - 158 კჯ/მოლი.



## თავი 2.

# ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები



2.1

ქიმიური რეაქციის სიჩქარე

სიჩქარე არის სიდიდე, რომელიც გვიჩვენებს, თუ რამდენად სწრაფად მიმდინარეობს ესა თუ ის პროცესი (ნახ. 2.1). სიჩქარის გაზომვისას დროის ერთეულად გამოიყენება წუთი (წთ), წამი (წმ), საათი (სთ), დღე, წელი და ა. შ.



თვითმფრინავის სიჩქარეა 900 კმ/სთ, რაც იმას ნიშნავს, რომ მას შეუძლია 1 საათში 900 კმ დაფაროს.



ბენზინგასამართ სადგურზე ბენზინის ტუმბოს სიჩქარეა 50 ლ/წთ, ე. ი. მას შეუძლია მანქანას 1 წუთში 50 ლ ბენზინი მიანოდოს.



სტამბაში საბეჭდ მანქანას 1 წამში შეუძლია 10 გაზეთის დაბეჭდვა, ამიტომ მისი სიჩქარე იქნება 10 გაზეთი/წმ.

ნახ. 2.1. სხვადასხვა პროცესის მიმდინარეობის სიჩქარე.

ისევე როგორც ყველა პროცესი, ქიმიური რეაქციებიც სხვადასხვა სიჩქარით მიმდინარეობს. ზოგიერთი ქიმიური რეაქცია, მაგალითად, ფეიერვერკი წამებში ფეთქდება (ნახ. 2.2), ხოლო ნესტიან გარემოში რკინის ნაკეთობის ჟანგვა ხანგრძლივი პროცესია (ნახ. 2.3).



ნახ. 2.2. ფეიერვერკის აფეთქება.

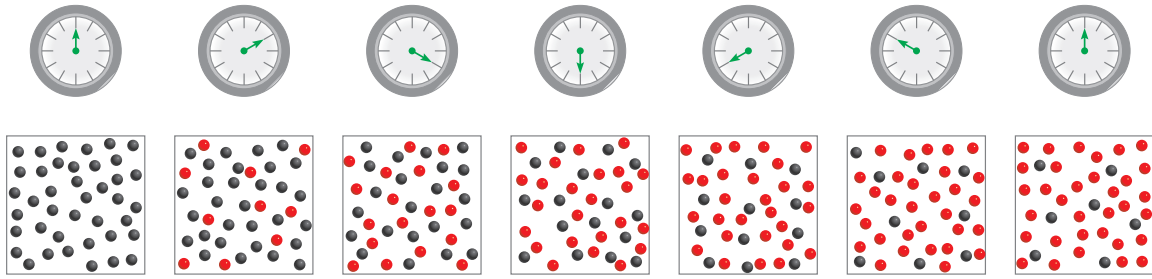


ნახ. 2.3. ჟანგით დაფარული ლობე.

ქიმიური რეაქციის სიჩქარე, ჩვეულებრივ, დროის ერთეულში რეაგენტების ან პროდუქტების კონცენტრაციის (მასის, მოცულობის) ცვლილებით იზომება. უმეტეს შემთხვევაში დროის ერთეულად წმ ან წთ გამოიყენება. რეაქციის მსვლელობისას რეაგენტების რაოდენობა იკლებს, პროდუქტებისა კი იმატებს (ნახ. 2.4).

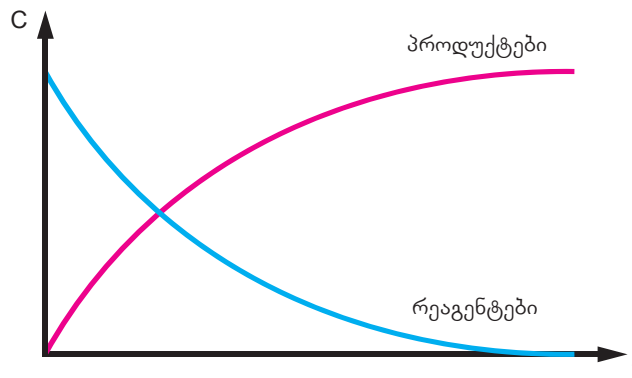


## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები



ნახ. 2.4. რეაგენტის (შავი ბურთულები) კონცენტრაციის კლება და პროდუქტის (წითელი ბურთულები) კონცენტრაციის მატება დროში.

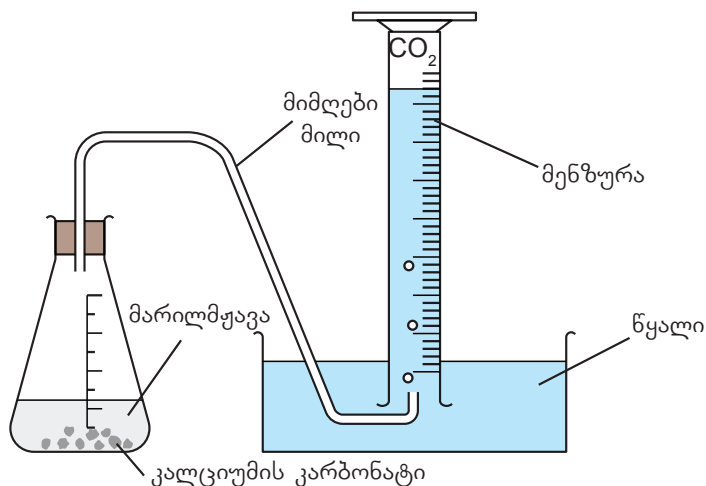
გრაფიკულად რეაგენტებისა და პროდუქტების კონცენტრაციის დროზე დამოკიდებულება შემდეგნაირად გამოისახება (ნახ. 2.5):



ნახ. 2.5. პროდუქტებისა და რეაგენტების კონცენტრაციის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

განვიხილოთ მაგალითი: კალციუმის კარბონატზე მარილმჟავას მოქმედების რეაქციის სიჩქარე შეიძლება განისაზღვროს დროის გარკვეულ ინტერვალში გამოყოფილი ნახშირორჟანგის მოცულობის გაზომვით ან სარეაქციო ნარევის მასის შემცირებით.

2.6 ნახაზზე ნაჩვენებია ექსპერიმენტული მოწყობილობა, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია გამოყოფილი ნახშირორჟანგის მოცულობის განსაზღვრა.



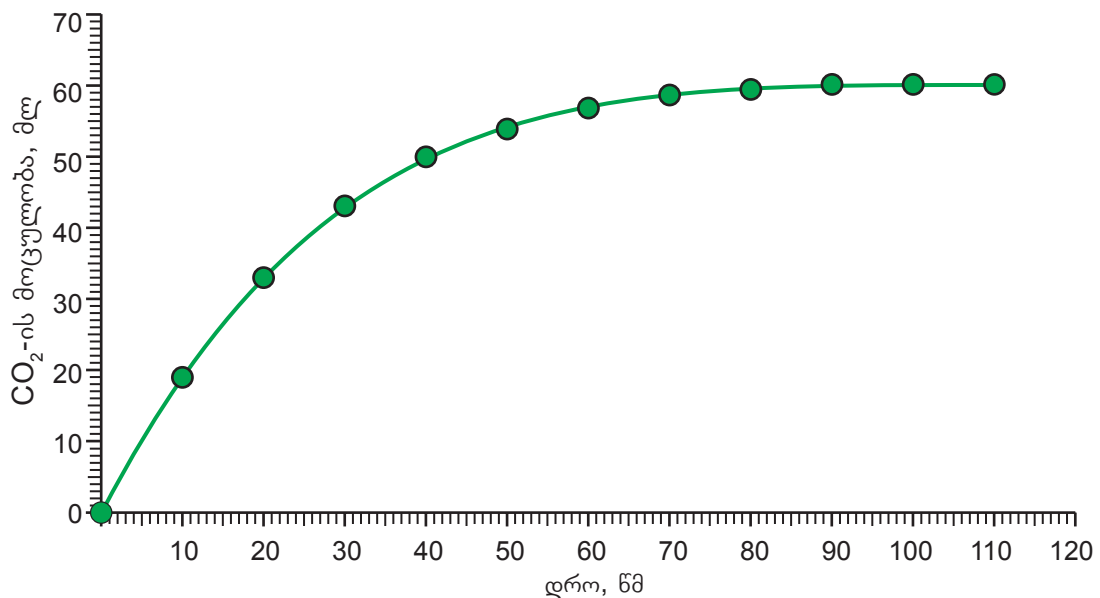
ნახ. 2.6. ნახშირორჟანგის შეგროვება წყლის გამოძევებით.

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

ექსპერიმენტის დროს ყოველ 10 წმ-ში ზომავდნენ გამოყოფილი  $\text{CO}_2$ -ის მოცულობას. შედეგები წარმოდგენილია 2.1 ცხრილში მიღებული მონაცემების მიხედვით აგებულია პროდუქტის (ნახშირორჟანგის) მოცულობის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი (ნახ. 2.7).

ცხრილი 2.1. ყოველ 10 წამში გამოყოფილი ნახშირორჟანგის ჯამური მოცულობის ცვლილება დროში.

დრო, წმ	$\text{CO}_2$ -ის მოცულობა, მლ
0	0.0
10	19.0
20	33.0
30	44.0
40	50.0
50	54.0
60	56.5
70	58.5
80	59.5
90	60.0
100	60.0
110	60.0



ნახ. 2.7. გამოყოფილი ნახშირორჟანგის ჯამური მოცულობის დროზე დამოკიდებულება.

მიღებული შედეგებიდან ჩანს, რომ 90 წმ-ის გასვლის შემდეგ  $\text{CO}_2$ -ის მოცულობა აღარ იცვლება, რაც მიგვანიშნებს იმაზე, რომ მისი გამოყოფა შეწყდა. შეიძლება დავასკვნათ, რომ რეაქცია 90 წმ-ში სრულდება.

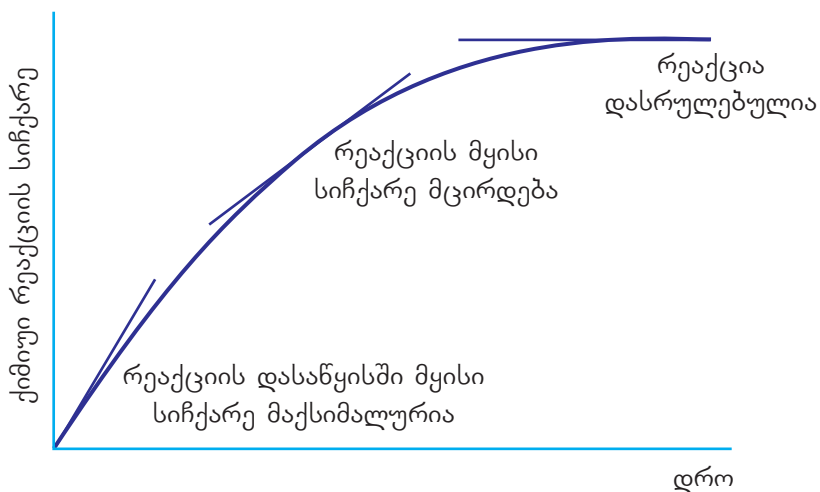
## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

აღნიშნული ქიმიური რეაქციის საშუალო სიჩქარე შეიძლება გამოვითვალოთ 90 წმ-ში გამოყოფილი ნახშირორჟანგის მოცულობის დროსთან შეფარდებით:

$$\text{პროდუქტის გამოყოფის საშუალო სიჩქარე} = \frac{60 \text{ მლ}}{90 \text{ წმ}} = 0.67 \text{ მლ / წმ}$$

ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობისას სიჩქარე თანაბარი არ არის. ვნახოთ, თუ რისი ტოლია სიჩქარე დროის სხვადასხვა მომენტში.

ცხრილიდან ჩანს, რომ პირველ 10 წმ-ში გამოიყოფა 19 მლ ნახშირორჟანგი, შემდეგ 10 წმ-ში კი – 14 მლ (33 მლ – 19 მლ = 14 მლ), ამგვარად, დროის ერთეულში გამოყოფილი ნახშირორჟანგის მოცულობა ნელ-ნელა მცირდება, რაც სიჩქარის შემცირებაზე მიუთითებს. დროის მოცემულ მომენტში გამოთვლილ ქიმიური რეაქციის სიჩქარეს მყისი სიჩქარე ეწოდება (ნახ. 2.8).



ნახ. 2.8. ქიმიური რეაქციის სიჩქარის ცვლილება დროში.

ზოგადად, ქიმიური რეაქციის საშუალო სიჩქარე განისაზღვრება ნივთიერებათა კონცენტრაციის ცვლილებით დროში.

$$\text{საშუალო სიჩქარე} = \frac{\text{კონცენტრაციის ცვლილება}}{\text{დროის ინტერვალი}}$$

$$v = \frac{\Delta C}{\Delta t}$$

ხშირ შემთხვევაში კონცენტრაციის გამოსახვისთვის გამოიყენება მოლური კონცენტრაცია, რომელიც გვიჩვენებს ნივთიერების რაოდენობის (მოლის) ფარდობას მოცულობასთან.

$$\text{მოლური კონცენტრაცია} = \frac{\text{მოლი}}{\text{მოცულობა}}$$

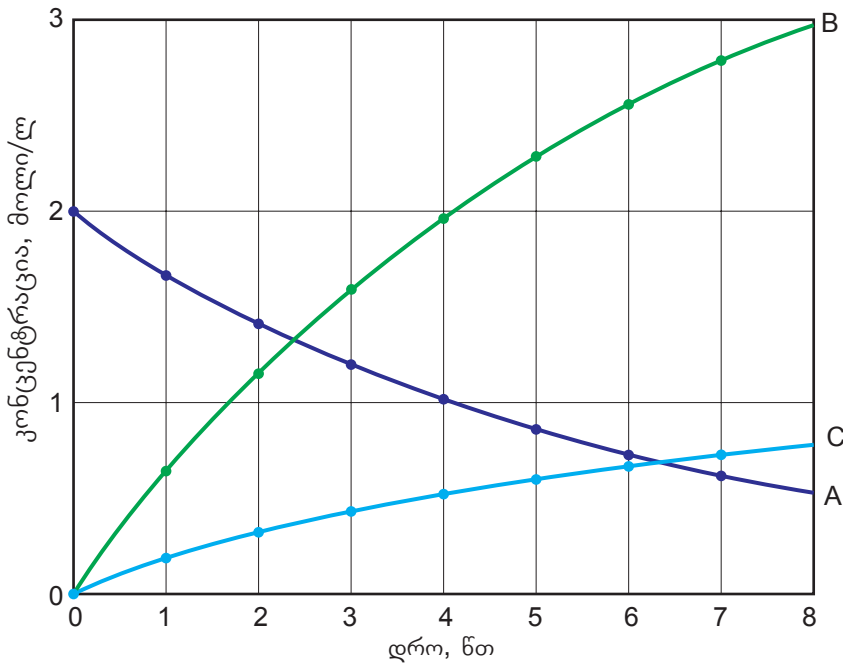
$$C = \frac{n}{V}$$

განვიხილოთ ზოგადი ქიმიური რეაქცია:



## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

ქიმიური რეაქციის ტოლობის მიხედვით, ყოველი 2 მოლი A ნივთიერების დაშლისას მიიღება 4 მოლი B ნივთიერება და 1 მოლი C ნივთიერება. რეაქციის მიმდინარეობისას A-ს კონცენტრაცია მცირდება, ხოლო B-სა და C – ს კონცენტრაციები იზრდება. ექსპერიმენტის შედეგების მიხედვით აგებულია გრაფიკი (ნახ. 2.9).



ნახ. 2.9. ქიმიური რეაქციის  $2A \rightarrow 4B + C$  რეაგენტისა და პროდუქტების კონცენტრაციების ცვლილება დროში.

გრაფიკიდან ჩანს, რომ ქიმიური რეაქციის დაწყებამდე რეაგენტის (A) კონცენტრაციაა 2 მოლი/ლ, ხოლო პროდუქტების (B და C) არის 0. სიმარტივისათვის, განვიხილოთ შემთხვევა, როცა სარეაქციო ჭურჭლის მოცულობაა 1 ლ. რეაქციის დაწყებიდან 4 წთ-ში A-ს კონცენტრაცია განახევრდა ანუ რეაქციაში შევიდა (დაიხარჯა) 1 მოლი A ნივთიერება, რეაქციის სტექიომეტრიის გათვალისწინებით კი, შესაბამისად, წარმოიქმნა 2 მოლი B ნივთიერება და 0.5 მოლი C ნივთიერება (ცხრილი 2.2).

ცხრილი 2.2. რეაგენტებისა და პროდუქტების კონცენტრაციები რეაქციის მიმდინარეობისას.

	A	B	C
საწყისი კონცენტრაცია	2.0	0	0
კონცენტრაციის ცვლილება $\Delta C$	1.0	2.0	0.5
საბოლოო (დარჩენილი) კონცენტრაცია	1.0	2.0	0.5

ამ მონაცემების საფუძველზე გამოვთვალოთ ქიმიური რეაქციის სიჩქარე თითოეული ნივთიერების კონცენტრაციის ცვლილების მიმართ:

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

A ნივთიერების ხარჯვის საშუალო სიჩქარე:

$$v(A) = \frac{1 \text{ მოლი / ლ}}{4 \text{ წთ}} = 0.25 \text{ მოლი / ლ} \cdot \text{წთ}$$

B ნივთიერების წარმოქმნის საშუალო სიჩქარე:

$$v(B) = \frac{2 \text{ მოლი / ლ}}{4 \text{ წთ}} = 0.5 \text{ მოლი / ლ} \cdot \text{წთ}$$

C ნივთიერების წარმოქმნის საშუალო სიჩქარე:

$$v(C) = \frac{0.5 \text{ მოლი / ლ}}{4 \text{ წთ}} = 0.125 \text{ მოლი / ლ} \cdot \text{წთ}$$

მიღებული შედეგებიდან ჩანს, რომ დროის ერთსა და იმავე ერთეულში რეაგენტის ხარჯვისა და პროდუქტების წარმოქმნის სიჩქარეები ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც მათი სტექიომეტრიული კოეფიციენტები:

$$v(A) : v(B) : v(C) = 0.25 : 0.5 : 0.125 = 2 : 4 : 1$$



### კითხვები და დავალებები:

1. გამოთვალეთ ქიმიური რეაქციის  $A+B \rightarrow 2C$  სიჩქარე, თუ A ნივთიერების საწყისი კონცენტრაცია იყო 0.028 მოლი/ლ, ხოლო 10 წამის შემდეგ 0.018 მოლი/ლ გახდა.
2. ქიმიურ რეაქციაში ერთ-ერთი რეაგენტის საწყისი კონცენტრაცია იყო 0.3 მოლი/ლ. რამდენი გახდებოდა იგი 5 წთ-ის შემდეგ, თუ რეაქციის საშუალო სიჩქარეა 0.01 მოლი/ლ · წთ ?
3. მოცემულია ქიმიური რეაქციის ზოგადი ტოლობა:



ამ რეაქციის ტოლობის მიხედვით შეავსეთ ქვემოთ მოცემული ცხრილი და გამოთვალეთ:

- ა) ქიმიური რეაქციის სიჩქარე A ნივთიერების ხარჯვის მიხედვით;
- ბ) ქიმიური რეაქციის სიჩქარე B ნივთიერების ხარჯვის მიხედვით.

კონცენტრაცია (მოლი/ლ)	A	B	D
საწყისი ( $C_1$ )	3	9	
ცვლილება ( $\Delta C$ )			
5 წუთის შემდეგ ( $C_2$ )	1		

4. მოიძიეთ ისეთი ქიმიური რეაქციის მაგალითი, რომელიც შეესაბამება 2.4 ნახაზს, ანუ რეაქცია, რომელშიც ერთი რეაგენტისგან მიიღება ერთი პროდუქტი.
5. ნახ. 2.8-ის მიხედვით იმსჯელეთ, როგორ და რატომ იცვლება ქიმიური რეაქციის მყისი სიჩქარე დროში?

2.2

დაჯახებათა თეორია

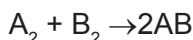
დაჯახებათა თეორიის საშუალებით შესაძლებელია აიხსნას, თუ რატომ განსხვავდება ქიმიურ რეაქციათა სიჩქარეები. ბევრ ჩვენგანს უნახავს ან უთამაშია ბილიარდი (ნახ. 2.10). ბილიარდის ბურთი სპეციალურ ჭრილში – ლუზაში რომ ჩავაგდოთ, საჭიროა ა) სპეციალური საბიძგებელი ფოხით (კიით) ბურთი ან ბურთები გავამოძრავოთ და შევაჯახოთ ერთმანეთს; ბ) დარტყმით მივანიჭოთ ბილიარდის ბურთს გარკვეული ძალა და სიჩქარე. მაგრამ, მარტო დარტყმის ძალას არ მივყავართ ლუზაში ბურთის ჩაგდებამდე. საჭიროა მისი სხვა ბურთთან ან ბურთებთან გარკვეული კუთხით შეჯახება. ბილიარდის ბურთის ისეთ შეჯახებას სხვა ბურთთან, რომლის შედეგადაც ერთ-ერთი მათგანი ვარდება ლუზაში, ეფექტური, შედეგიანი, ან სასარგებლო შეჯახება შეიძლება ვუწოდოთ.

ქიმიურ რეაქციაში მონაწილე მოლეკულებს ბილიარდის ბურთების ანალოგებად თუ წარმოვიდგენთ, განსხვავება იმაში გამოიხატება, რომ მოლეკულები მუდმივად მოძრაობს და ერთმანეთს ეჯახება, ანუ ბილიარდის მაგალითში (ა) საფეხური შესრულებულია. ყველა დაჯახება ეფექტური რომ იყოს, რეაქციები სწრაფად დასრულდებოდა, ეს კი ასე არ ხდება. ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე ბევრი რეაქცია დაბალი სიჩქარით ხასიათდება, რაც იმას ნიშნავს, რომ მოლეკულებს შეჯახებისას სჭირდება გარკვეული ძალა (ენერგია) და დაჯახებისას სივრცული ორიენტაცია.



ნახ. 2.10. ბილიარდის თამაში.

განვიხილოთ ზოგადი ქიმიური რეაქცია:



რეაქციის დასაწყებად, უპირველესად, საჭიროა  $A_2$  და  $B_2$  ნივთიერებების შერევა, რათა მათი მოლეკულები ერთმანეთს შეეჯახოს. ჩვენთვის უკვე ცნობილია, რომ რეაქციის მიმდინარეობისთვის, პირველ რიგში, რეაგენტებში არსებული ბმების განწყვეტა საჭირო, რასაც შესაბამისი ენერგია ესაჭიროება.

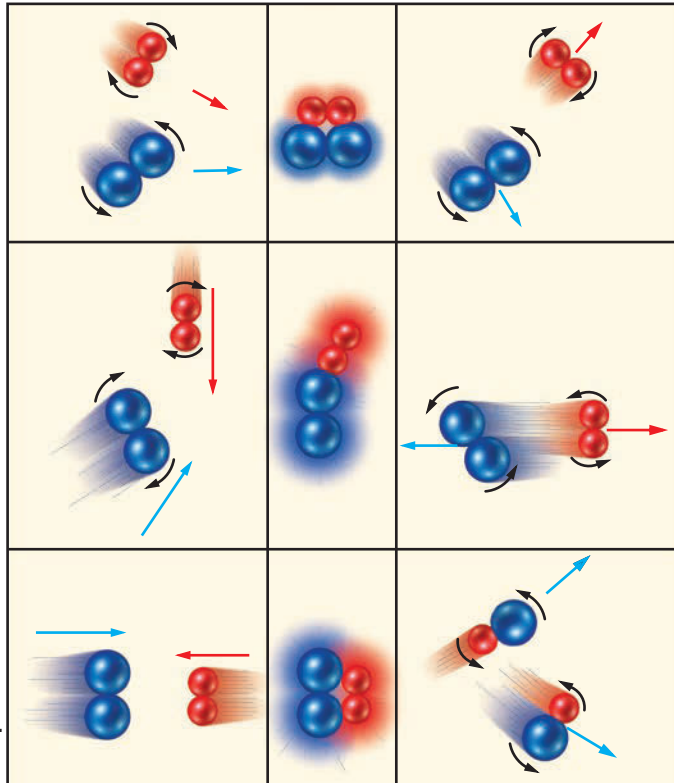
ამისათვის მოლეკულები ისეთი ძალით უნდა დაეჯახოს ერთმანეთს, რომ მათში ბმები განწყდეს, რისთვისაც აუცილებელია, მოლეკულებს ჰქონდეს არა მხოლოდ შესაბამისი მოძრაობის სიჩქარე (ენერგია), არამედ სივრცეში საჭირო მიმართულებაც (ორიენტაცია) (ნახ. 2.11).

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

ა) მოლეკულები ეჯახება სწორი სივრცული ორიენტაციით, მაგრამ არასაკმარისი ენერგიით, ამიტომ პროდუქტი არ მიიღება;

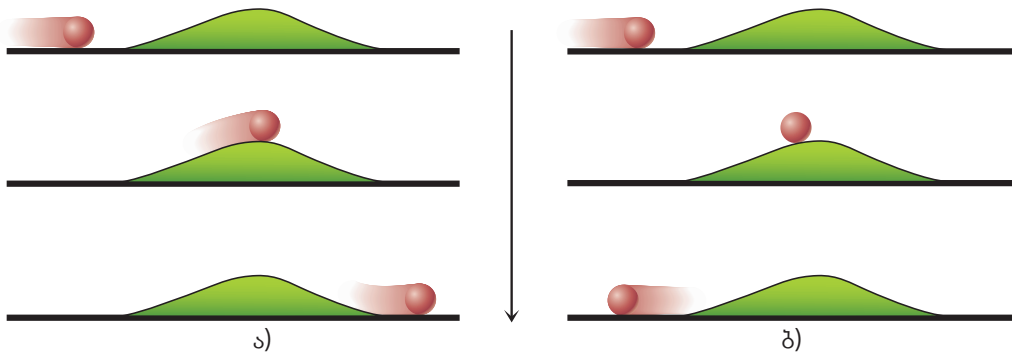
ბ) მოლეკულები ეჯახება საკმარისი ენერგიით, მაგრამ არასწორი სივრცული ორიენტაციით, ამიტომ პროდუქტი არ მიიღება;

გ) დაჯახებისას მოლეკულებს აქვს როგორც სწორი სივრცული ორიენტაცია, ასევე საკმარისი ენერგია, ამიტომ შეჯახება ეფექტურია და პროდუქტები წარმოიქმნება.



ნახაზი 2.11.

2.12 ნახაზზე ნაჩვენებია მცირე ბორცვი (პოტენციური ენერგიის ბარიერი), რომელიც უნდა გადალახოს ბურთულამ (მოლეკულამ). ბურთულის საწყისი კინეტიკური ენერგია განსაზღვრავს, გადალახავს თუ არა ბურთულა ბორცვს.



ნახ. 2.12. ა) ბურთულას აქვს საკმარისი კინეტიკური ენერგია იმისათვის, რომ გადალახოს ბორცვი; ბ) ბურთულას არ აქვს საკმარისი კინეტიკური ენერგია, ამიტომ ის ვერ გადალახავს ბორცვს და უკან ჩამოვარდება.

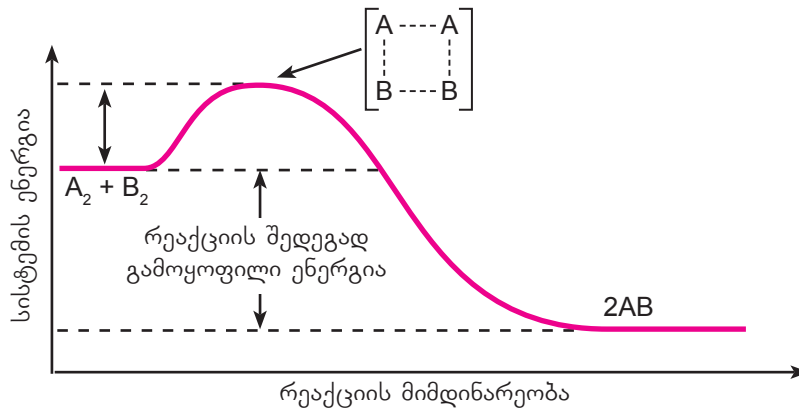
მარცხენა ნახაზზე ნაჩვენებია, რომ ბურთულას ბარიერის გადასალახად საკმარისი ენერგია აქვს, ხოლო მარჯვენაზე არასაკმარისი ენერგიის გამო, ბურთულა უკან ბრუნდება.

როგორც ბილიარდის ბურთის არასაკმარისი ძალით დაჯახებას არ მიყვართ ბურთის ლუზაში ჩაგდებად, ასევე მორეაგირე ნივთიერებათა მოლეკულების არასაკმარისი



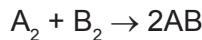
## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

ენერჯის შემთხვევაში დაჯახება არაფექტურია. ე. ი. მოლეკულებს აუცილებლად უნდა ჰქონდეს დაჯახებისას გარკვეული მინიმალური ენერჯია, რომ წარმოქმნას პროდუქტი (პროდუქტები). იმ მინიმალურ ენერჯიას, რომელიც უნდა ჰქონდეს მორეაგირე ნივთიერების ერთ მოლს, რათა გარდაიქმნას პროდუქტად, **აქტივაციის ენერჯია**  $E_a$  ეწოდება. მისი განზომილებაა კჯ/მოლი. მაღალი  $E_a$  შემთხვევაში ჩვეულებრივ პირობებში, დაჯახებისას მოლეკულების შედარებით მცირე რიცხვს აქვს ისეთი ენერჯია, რომ წარმოქმნას პროდუქტი და ამ დროს რეაქციის სიჩქარე დაბალია. დაბალი  $E_a$  შემთხვევაში, ამავე პირობებში, მოლეკულათა მეტ რიცხვს აქვს პროდუქტის წარმოქმნისათვის საკმარისი ენერჯია და რეაქციის სიჩქარეც მეტია (ნახ. 2.13).

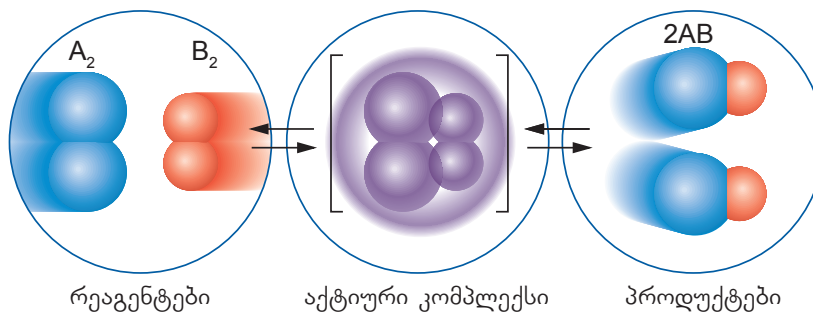


ნახ. 2.13.  $A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$  რეაქციის ენერგეტიკული დიაგრამა.

კვლავ დავუბრუნდეთ ზემოთ განხილულ რეაქციას:

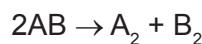


რეაქციის დასაწყისში  $A_2$  და  $B_2$  მოლეკულებს შორის შეჯახებების შედეგად იზრდება მათი კინეტიკური ენერჯია. ამ ენერჯიის ხარჯზე წყდება ბმები და მიიღება აქტიური კომპლექსი  $A_2B_2$ , რომელსაც აქვს მაღალი ენერჯია და არასტაბილურია (ნახ. 2.14). აქტიური კომპლექსი ისეთი ნაწილაკია, რომელშიც მორეაგირე ნივთიერებების მოლეკულების ატომებს შორის ბმები ჯერ კიდევ სრულად არ არის გახლეჩილი, ხოლო  $A-B$  ატომებს შორის ბმა ჯერ კიდევ არ წარმოქმნილა. აქტიური კომპლექსი წარმოქმნისთანავე იშლება პროდუქტების გამოყოფით, რასაც თან ახლავს ენერჯიის შემცირება. განხილულ მაგალითში მიღებული პროდუქტების ენერჯია ნაკლებია რეაგენტების ენერჯიაზე. ამიტომ რეაქცია ეგზოთერმულია და ენერჯიის სხვაობა გარემოში სითბოს სახით გამოიყოფა.



ნახ. 2.14. აქტიური კომპლექსის წარმოქმნა.

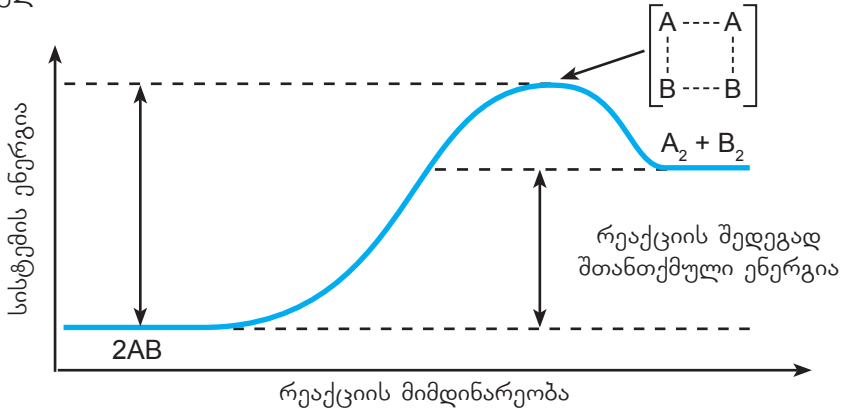
იგივე რეაქცია საპირისპირო მიმართულებითაც თუ მიმდინარეობს (ნახ. 2.15):





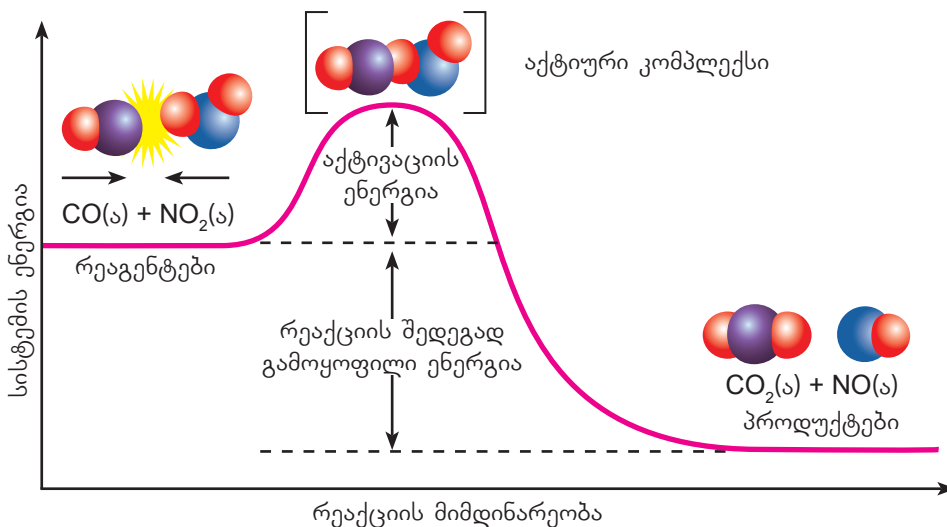
## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

მაშინ ბმები ჯერ  $AB$  ნივთიერების მოლეკულების ატომებს შორის წყდება, რაზეც კვლავ იხარჯება ენერგია, წარმოქმნება აქტიური კომპლექსი, რომელიც იშლება და წარმოქმნის პროდუქტს. მაგრამ ამ შემთხვევაში მიღებული პროდუქტის ენერგია მეტია სანყისი ნივთიერებების ენერგიაზე, შესაბამისად, ენერგია გარემოდან შთაინთქმება და რეაქცია ენდოთერმულია.



ნახ. 2.15.  $2AB \rightarrow A_2 + B_2$  რეაქციის ენერგეტიკული დიაგრამა.

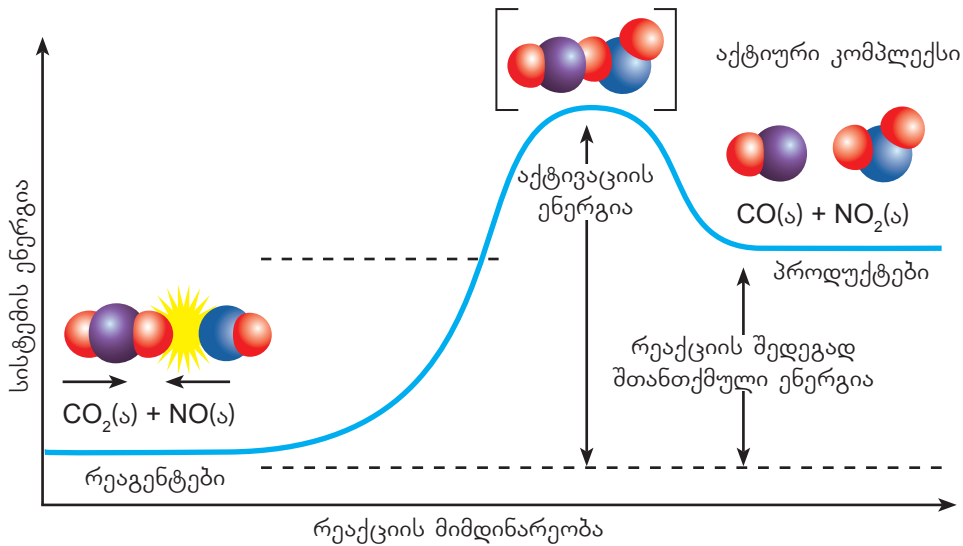
განვიხილოთ კიდევ ერთი მაგალითი, ნახ. 2.16 გვიჩვენებს რეაქციის მიმდინარეობას ნახშირბადის მონოოქსიდსა და აზოტის დიოქსიდს შორის. აქ ნაჩვენებია აქტივაციის, ანუ ის ენერგია, რომელიც რეაგენტებს აუცილებლად უნდა ჰქონდეს, რათა აქტივაციის ბარიერი გადალახოს და პროდუქტებად გარდაიქმნას. აქვე ნაჩვენებია, რომ რეაგენტების ენერგია პროდუქტებისას აღემატება და ენერგიათა ეს სხვაობა გამოიყოფა სითბოს სახით, ანუ რეაქცია ეგზოთერმულია.



ნახ. 2.16. პირდაპირი რეაქციის ენერგეტიკული დიაგრამა.

მრავალი ქიმიური რეაქციისათვის რეაგენტებიდან პროდუქტების წარმოქმნა შეეცევადი პროცესია. ნახ. 2.17 უჩვენებს, რომ  $CO_2$ -სა და  $NO$ -ს შორის მიმდინარე საპირისპირო რეაქციაში რეაგენტების ენერგია ნაკლებია პროდუქტების ენერგიაზე და პროცესი ენდოთერმულია.

თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები



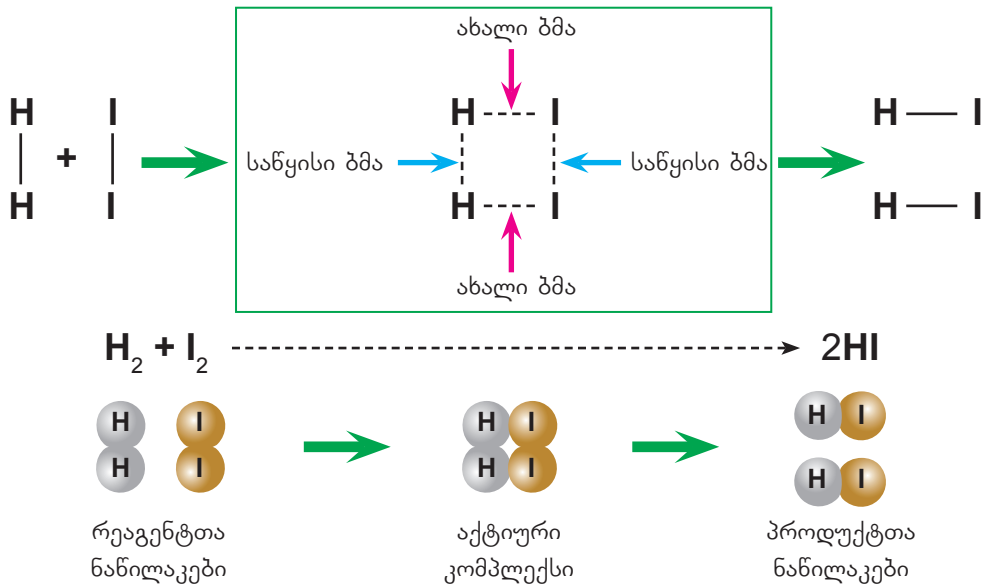
ნახ. 2.17. საპირისპირო რეაქციის ენერგეტიკული დიაგრამა.

ამ რეაქციის აქტივაციის ენერგია ტოლია პირდაპირი რეაქციის აქტივაციისა და სითბოს სახით გამოყოფილი ენერგიების ჯამისა. ხოლო საპირისპირო რეაქციის განხორციელებას ბევრად მეტი ენერგია სჭირდება, ვიდრე პირდაპირისას.



**კითხვები და დავალებები:**

1. მოცემულია იოდწყალბადის წარმოქმნის სქემა.



- ა) ისარგებლეთ 1.3 ცხრილში (გვ. 27) მოცემული ბმის ენერგიებით და გამოთვალეთ ენერგიის ცვლილება.
- ბ) მოცემული რეაქცია ეგზოთერმულია თუ ენდოთერმული? პასუხი დაასაბუთეთ.
- გ) ააგეთ რეაქციის ენერგეტიკული დიაგრამა. მიუთითეთ რეაგენტები, აქტიური კომპლექსი და პროდუქტები.

2.3

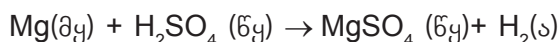
## ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე მოქმედი ფაქტორები

როგორც უკვე ვნახეთ, ზოგიერთი ქიმიური რეაქცია ძალიან სწრაფად მიმდინარეობს, ზოგი კი, პირიქით, ძალიან ნელა. სანარმოო პროცესები, რომელთა საფუძველსაც ქიმიური რეაქციები წარმოადგენს, ხშირ შემთხვევაში საჭიროებს პროცესის წარმართვის ოპტიმიზაციას, რაც ამ რეაქციათა სიჩქარეების რეგულირებით მიიღწევა. როგორ შეიძლება ვმართოთ ქიმიური რეაქციის სიჩქარე? ამის გასაგებად, გავეცნოთ ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე მოქმედ ფაქტორებს.

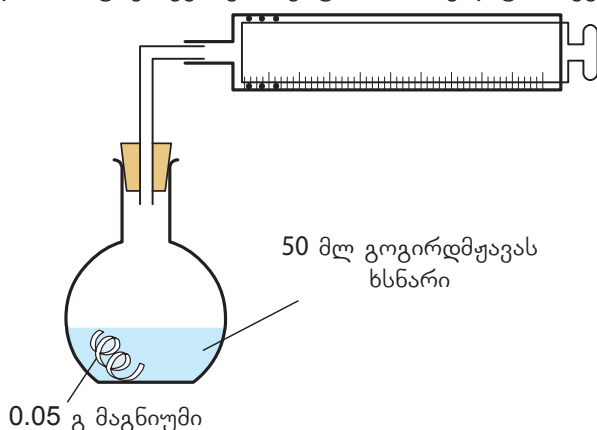
### 2.3.1. კონცენტრაციის გავლენა

ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე რამდენიმე ფაქტორი მოქმედებს. ამ ფაქტორების გავლენის შესწავლის მიზნით განვიხილოთ სხვადასხვა რეაქციის მაგალითი.

მაგნიუმსა და გოგირდმჟავას შორის მიმდინარე რეაქციის დროს წყალბადი გამოიყოფა:

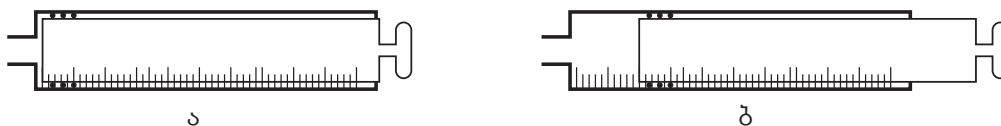


ჩვენთვის უკვე ცნობილია, რომ ქიმიური რეაქციის სიჩქარე შეიძლება განისაზღვროს აირის გამოყოფის ინტენსივობის მიხედვით. წყალბადის გამოყოფის სიჩქარეზე დაკვირვება შესაძლებელია მარტივი ექსპერიმენტით, რომელიც ნაჩვენებია 2.18 ნახაზზე.



ნახ. 2.18. წყალბადის გამოყოფის სიჩქარის დასადგენი მოწყობილობა (ექსპერიმენტი 1).

კოლბაში ჩაასხეს 0.03 მოლი გოგირდმჟავას შემცველი 50 მლ ხსნარი. მასში მოათავსეს კარგად გასუფთავებული მაგნიუმის ბურბუშელა და კოლბას მოარგეს საცობი, რომელშიც გატარებული იყო აირგამყვანი მილი, მასზე მორგებული დგუმიანი შპრიცით. გამოყოფილი წყალბადი აირგამყვანი მილით გადადის შპრიცში და დგუმი იწყებს მოძრაობას (ნახ. 2.19).

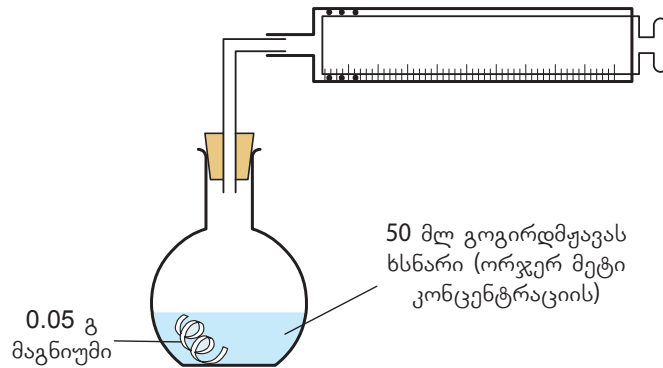


ნახ. 2.19. ა) შპრიცის დგუმის მდებარეობა რეაქციის დაწყებამდე;  
ბ) შპრიცის დგუმის მდებარეობა, როცა შეგროვდა 20 მლ წყალბადი.

ჩართეს წამმზომი და ყოველ ნახევარ წუთში ინიშნავდნენ გამოყოფილი წყალბადის მოცულობას. მიღებული შედეგების საფუძველზე ააგეს გამოყოფილი წყალბადის მოცულობის დროზე დამოკიდებულების მრუდი (ნახ. 2.21 (A)).

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

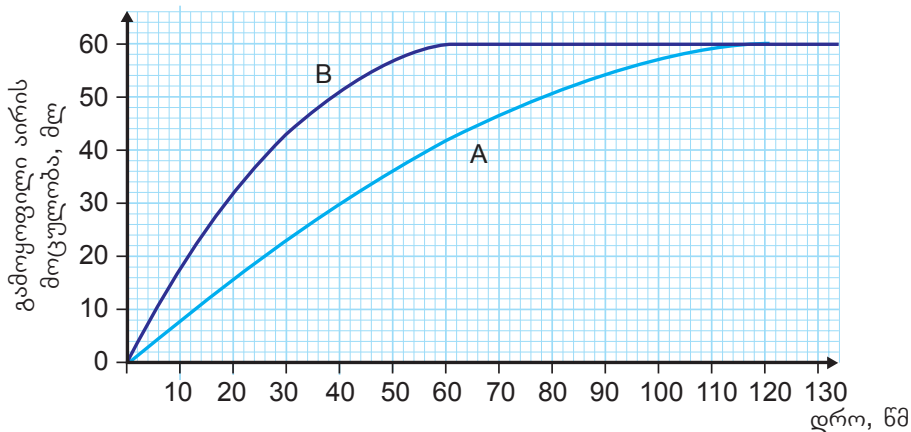
იგივე ექსპერიმენტი გაიმეორეს სხვა პირობებში. ამჯერად კოლბაში მოათავსეს 0.06 მოლი (ანუ ორჯერ მეტი, ვიდრე პირველ ექსპერიმენტში) გოგირდმჟავას შემცველი 50 მლ ხსნარი (ნახ. 2.20).



ნახ. 2.20. წყალბადის გამოყოფის სიჩქარის დასადგენი მონაცემები (ექსპერიმენტი 2).

ექსპერიმენტის მსვლელობისას ყველა სხვა პირობა (ტემპერატურა, წნევა და სხვ.) უცვლელია.

მეორე ექსპერიმენტში მიღებული შედეგების საფუძველზე ასევე ააგეს გამოყოფილი წყალბადის მოცულობის დროზე დამოკიდებულების მრუდი (ნახ. 2.21 (B)).



ნახ. 2.21. გამოყოფილი წყალბადის მოცულობის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

გრაფიკზე დაკვირვებით ჩანს, რომ:

- B მრუდი უფრო მეტად არის დახრილი, ვიდრე A მრუდი. ე. ი. რეაქცია უფრო სწრაფად მიმდინარეობს.
- B ექსპერიმენტში რეაქცია სრულდება 60 წმ-ში, A-ში კი – 120 წმ-ში. ანუ რაც უფრო ნაკლებ დროში დასრულდება რეაქცია, მით უფრო მეტია მისი სიჩქარე (სიჩქარე და დრო უკუპროპორციული სიდიდეებია).
- ორივე რეაქციაში მიღებული წყალბადის ჯამური მოცულობაა 60 მლ.

$$\text{წყალბადის გამოყოფის საშუალო სიჩქარე A ექსპერიმენტში} = \frac{60 \text{ მლ}}{120 \text{ წმ}} = 0.5 \text{ მლ / წმ}$$

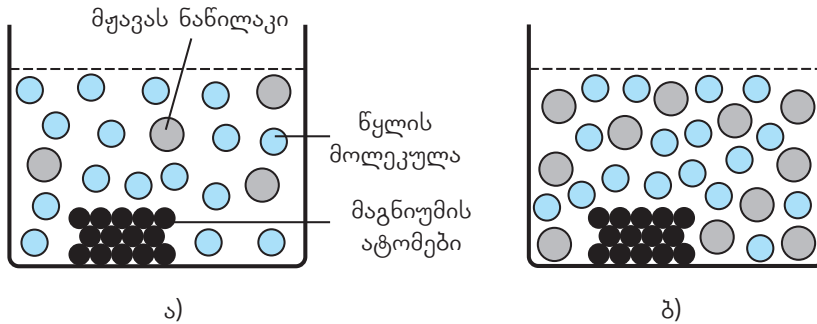
$$\text{წყალბადის გამოყოფის საშუალო სიჩქარე B ექსპერიმენტში} = \frac{60 \text{ მლ}}{60 \text{ წმ}} = 1.0 \text{ მლ / წმ}$$

შესაბამისად, გოგირდმჟავას საწყისი კონცენტრაციის ორჯერ გაზრდამ რეაქციის სიჩქარის გაორმაგება გამოიწვია.

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

რატომ იზრდება ქიმიური რეაქციის სიჩქარე კონცენტრაციის გაზრდით?

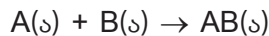
ჩვენთვის უკვე ცნობილია, რომ ქიმიური რეაქციის სიჩქარე დამოკიდებულია მოლეკულების დაჯახებათა რიცხვზე. რაც მეტია დაჯახებების რიცხვი, მით მეტი იქნება ეფექტურ დაჯახებათა რაოდენობაც და, შესაბამისად, ქიმიური რეაქციის სიჩქარეც გაიზრდება (ნახ. 2.22).



ნახ. 2.22. განზავებულ მყავაში (ა) (როცა მყავას ნაწილაკების რიცხვი მცირეა), მაგნიუმის ატომებსა და მყავას ნაწილაკებს შორის დაჯახებების შესაძლებლობა უფრო ნაკლებია, ვიდრე მეტად კონცენტრირებული მყავას (ბ) შემთხვევაში.

ქიმიური რეაქციის სიჩქარის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულება მათემატიკურად აღინერება კანონით, რომელიც **მოქმედ მასათა კანონის** სახელით არის ცნობილი. მოქმედ მასათა კანონის თანახმად, **ქიმიური რეაქციის სიჩქარე პირდაპირპროპორციულია რეაგენტების კონცენტრაციების ნამრავლისა.**

განვიხილოთ ორ აირად ნივთიერებას შორის მიმდინარე ზოგადი რეაქცია:



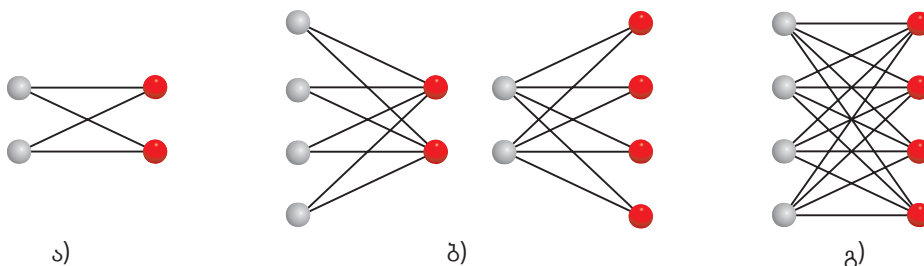
თუ ერთ ჭურჭელში მოვათავსებთ **A** და **B** ნივთიერებების თანაბარ რაოდენობას (პირობითად 2-2 მოლეკულას) მაშინ მათ შორის დაჯახებების შესაძლებლობა იქნება მხოლოდ 4 (ნახ. 2.23 (ა)). თუ რომელიმეს (**A** ან **B**) მოლეკულების რაოდენობას გავაორმაგებთ, მაშინ დაჯახებათა შესაძლებლობაც გაორმაგდება (ნახ. 2.23 (ბ)). ხოლო იმ შემთხვევაში, თუ ორივე ნივთიერების მოლეკულათა რიცხვს გავაორმაგებთ, შესაძლო დაჯახებათა რაოდენობა ოთხჯერ მეტი იქნება, ვიდრე საწყის ექსპერიმენტში (ნახ. 2.23 (გ)). მათემატიკურად ეს დამოკიდებულება ასე ჩაინერება:

$$v = kC_A C_B$$

სადაც  $v$  არის ქიმიური რეაქციის სიჩქარე;

$C_A$  და  $C_B$  ნივთიერებების მოლური კონცენტრაციებია;

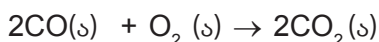
$k$  - პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელსაც სიჩქარის მუდმივას უწოდებენ და რომლის მნიშვნელობაც მუდმივია მოცემული რეაქციისთვის, მოცემულ ტემპერატურაზე.



ნახ. 2.23. A (რუხი) და B (წითელი) მოლეკულებს შორის დაჯახებების შესაძლებლობა; ერთი ხაზი აჩვენებს დაჯახების ერთ შესაძლებლობას.

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

განვიხილოთ ნახშირბადის მონოოქსიდისა და ჟანგბადს შორის მიმდინარე რეაქცია:



ამ შემთხვევაში მოქმედ მასათა კანონი შემდეგნაირად ჩაინერება:

$$v = k \cdot (\text{C}_{\text{CO}})^2 \text{C}_{\text{O}_2} \quad (1)$$

რეაქციის ტოლობაში მოცემული კოეფიციენტი მოქმედ მასათა კანონის გამოსახულებაში ამ ნივთიერების მოლური კონცენტრაციის ხარისხის მაჩვენებლად იწერება.

გამოვთვალოთ, როგორ შეიცვლება ამ რეაქციის სიჩქარე მორეაგირე ნივთიერებების კონცენტრაციის ცვლილებით.

დავუშვათ, რომ სისტემაში ნახშირბადის მონოოქსიდის კონცენტრაცია გაიზარდა ორჯერ. მაშინ ჩავნეროთ, რა იქნება სიჩქარე ამ შემთხვევაში:

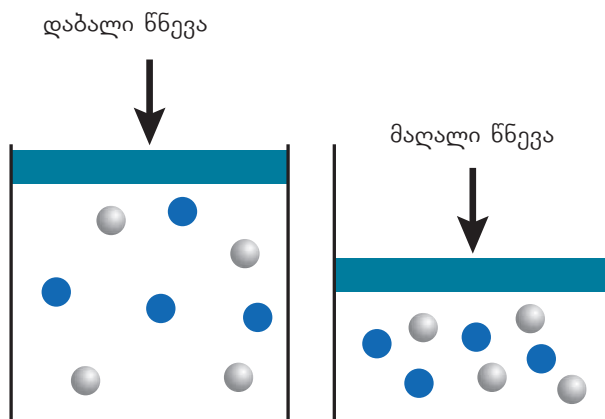
$$v_1 = k \cdot (2\text{C}_{\text{CO}})^2 \text{C}_{\text{O}_2} = k \cdot 4(\text{C}_{\text{CO}})^2 \text{C}_{\text{O}_2} \quad (2)$$

თუ (2) გამოსახულებას (1) გამოსახულებასთან შევაფარდებთ, მივიღებთ:

$$\frac{v_1}{v} = \frac{k \cdot 4(\text{C}_{\text{CO}})^2 \text{C}_{\text{O}_2}}{k \cdot (\text{C}_{\text{CO}})^2 \text{C}_{\text{O}_2}} = 4$$

აქედან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ CO-ს კონცენტრაციის ორჯერ გაზრდით რეაქციის სიჩქარე 4-ჯერ გაიზრდება. შესაბამისად, კონცენტრაციის შემცირება რეაქციის სიჩქარის კლებას გამოიწვევს.

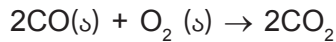
ჩვენთვის ცნობილია, რომ აირადი ნივთიერებების მიერ დაკავებულ მოცულობაზე გავლენას ახდენს წნევა და ტემპერატურა. მუდმივი ტემპერატურის პირობებში წნევის გაზრდა ამცირებს მოცულობას და, შესაბამისად, ზრდის კონცენტრაციას, რაც იმას ნიშნავს, რომ აირის კონცენტრაცია წნევის პირდაპირპროპორციულია (ნახ. 2.24).



ნახ. 2.24. მარჯვენა ნახაზში, მარცხენასთან შედარებით, წნევა გაიზარდა, შესაბამისად, შემცირდა აირის მიერ დაკავებული მოცულობა. აირის ნაწილაკთა რიცხვი არ შეცვლილა, ე.ი. იმავე რაოდენობის ნაწილაკები ახლა უფრო მცირე მოცულობაშია განაწილებული. ამრიგად, გაიზარდა მოცულობის ერთეულში ნაწილაკთა რიცხვი, ანუ გაიზარდა კონცენტრაცია.

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

აირადი ნივთიერებების მონაწილეობით მიმდინარე ქიმიური რეაქციისათვის მოქმედ მასათა კანონის გამოსახულებაში ხშირად კონცენტრაციის ნაცვლად წნევას მიაწინებენ. მაგალითად, ზემოთ განხილული რეაქციისთვის.



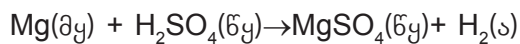
სიჩქარე ასე შეიძლება გამოისახოს:

$$v = k \cdot (P_{\text{CO}})^2 P_{\text{O}_2}$$

### 2.3.2. შეხების ზედაპირის ფართობის გავლენა

თუ მორეაგირე ნივთიერებებიდან ერთ-ერთი მყარია, მაშინ ის არ შედის მოქმედ მასათა კანონის გამოსახულებაში, რადგან ამ შემთხვევაში სიჩქარეს მყარი ნივთიერების ზედაპირის ფართობი განსაზღვრავს, რომელიც არ იცვლება მოცემული ექსპერიმენტის ფარგლებში.

დავუბრუნდეთ განხილულ მაგალითს, როცა მაგნიუმსა და გოგირდმჟავას შორის მიმდინარე რეაქციის დროს წყალბადი გამოიყოფა:



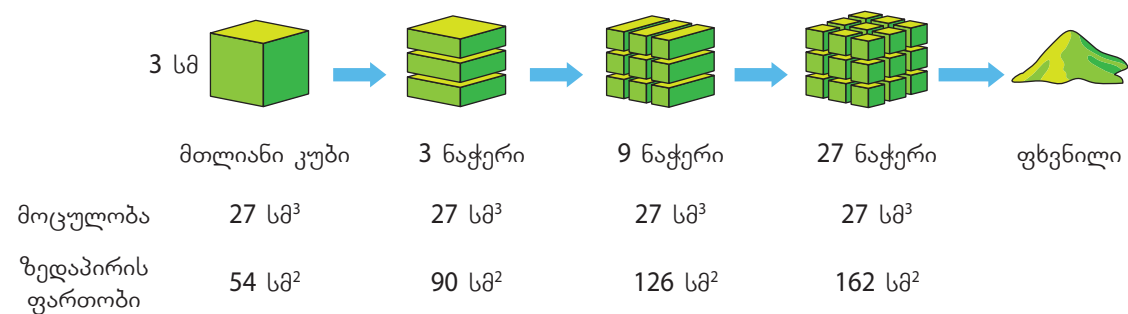
ამ შემთხვევაში მოქმედ მასათა კანონის გამოსახულება შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$v = k \cdot C_{\text{H}_2\text{SO}_4}$$

როგორც ამ გამოსახულებიდან ჩანს, გოგირდმჟავას კონცენტრაციის ორჯერ გაზრდა სიჩქარეს ორჯერ ზრდის, რაც დადასტურდა კიდევ ზემოთ აღწერილი ექსპერიმენტით (იხ. ქვეთავი 2.3.1). რაც შეეხება მყარი ნივთიერების ზედაპირის ფართობს, რეაქციის სიჩქარე მისი პირდაპირპროპორციულია. ამიტომ, რაც უფრო მეტად დავაქუცმაცებთ მყარ ნივთიერებას, მით უფრო სწრაფად წარიმართება მისი მონაწილეობით მიმდინარე რეაქცია.

ამრიგად, კიდევ ერთი ფაქტორი, რომელმაც შეიძლება გავლენა მოახდინოს რეაქციის სიჩქარეზე, არის მყარი ნივთიერების ზედაპირის ფართობი.

მყარი ნივთიერების დაქუცმაცებისას მნიშვნელოვნად იზრდება შეხების ზედაპირის ფართობი (ნახ. 2.25).

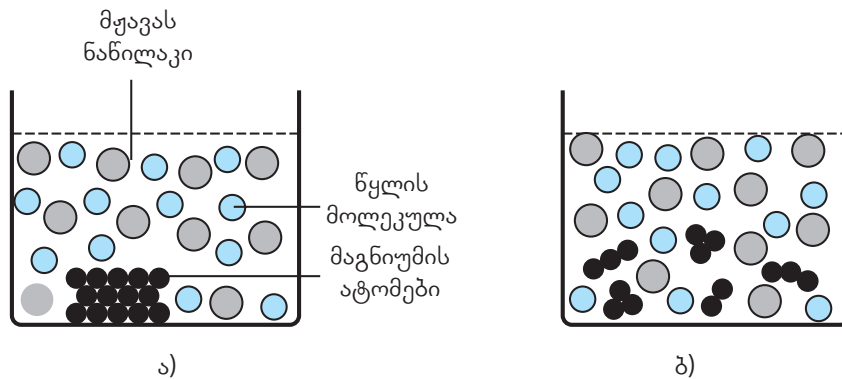


ნახ. 2.25. დაქუცმაცების დროს ზედაპირის ფართობის ზრდა.

რაც უფრო მეტი მოლეკულა შეეხება ერთმანეთს, მით უფრო გაიზრდება ეფექტური შეჯახებების რიცხვი და, შესაბამისად, გაიზრდება რეაქციის სიჩქარე (ნახ. 2.26).



## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები



ნახ. 2.26. ა) რეაქცია მეტალის ნაჭერსა და მჟავას შორის; ბ) რეაქცია იმავე მასის დაქუცმაცებულ მეტალსა და მჟავას შორის.

### 2.3.3. ტემპერატურის გავლენა

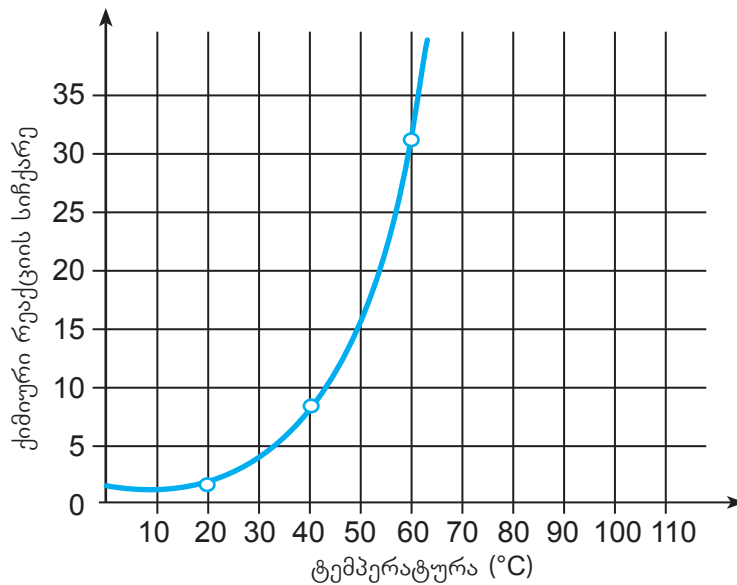
საკვებ პროდუქტებს მაცივარში ვინახავთ, რადგან ოთახის ტემპერატურასთან შედარებით, მაცივარში ისინი უფრო ნელა ფუჭდება (ნახ 2.27). საკვებ პროდუქტებში მუდმივად მიმდინარეობს ქიმიური პროცესები, რაც ხშირად იწვევს მათ გაფუჭებას, მაგალითად, რძის ამჟავება, ხილისა და ბოსტნეულის ლპობა და სხვ. მაცივარში შენახვით ეს პროცესები ნელდება, რა არის ამის მიზეზი? ტემპერატურა ერთ-ერთი ფაქტორია რომელიც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობის სიჩქარეზე. შესაბამისად, რაც უფრო დაბალია ტემპერატურა, მით უფრო დაბალია ქიმიური რეაქციის სიჩქარე. ამრიგად, დაბალ ტემპერატურაზე პროდუქტებში მიმდინარე ქიმიური პროცესები ნელდება, რაც თავიდან გვააცილებს საკვების სწრაფ გაფუჭებას.



ნახ. 2.27. მალფუჭებად პროდუქტებს მაცივარში ინახვენ.

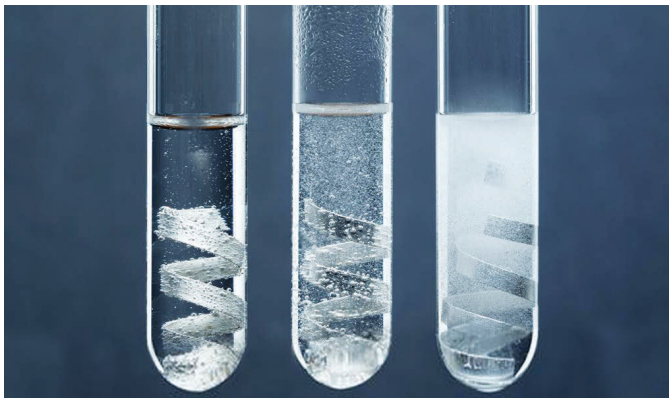
დადგენილია, რომ უმრავლეს შემთხვევაში ტემპერატურის  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ით გაზრდა იწვევს სიჩქარის დაახლოებით 2-ჯერ ზრდას (ნახ. 2.28).

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები



ნახ. 2.28. რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

როგორ იწვევს რეაქციის ტემპერატურის ასეთი მცირე გაზრდა სიჩქარის ასეთ მნიშვნელოვან ცვლილებას? გავიხსენოთ, რომ ტემპერატურის გაზრდა იწვევს ა) მოლეკულების მოძრაობის სიჩქარის გაზრდას, რაც, თავის მხრივ, ზრდის დაჯახებათა ინტენსივობას და ბ) ტემპერატურის მატებისას იზრდება მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერგია. ჯამში, იზრდება ეფექტურ დაჯახებათა რიცხვი და, შესაბამისად, რეაქციის სიჩქარეც. სხვაგვარად რომ ვთქვათ, რაც უფრო მეტი იქნება ტემპერატურა, მით მეტი იქნება იმ მოლეკულების რიცხვი, რომლებიც აქტივაციის ენერგეტიკულ ბარიერს გადალახავს და, შესაბამისად, რეაქციის სიჩქარეც გაიზრდება (ნახ. 2.29).



ნახ. 2.29. მაგნიუმის ზუსტად ერთნაირი ნაჭრები მოთავსებულია სამ სინჯარაში, რომლებშიც ჩასხმულია ერთი და იმავე კონცენტრაციისა და მოცულობის, მაგრამ განსხვავებული ტემპერატურის გოგირდმჟავას ხსნარი. რაც მეტია ბუშტების გამოყოფის ინტენსივობა, მით მეტია ქიმიური რეაქციის სიჩქარე.

ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე ტემპერატურის გავლენა პირველად ქიმიკოსმა ს. არენიუსმა შეისწავლა და მანვე მოგვანოდა სიჩქარის მუდმივასა და ტემპერატურას შორის დამოკიდებულების განტოლება. ქიმიკოსმა ვანტ-ჰოფმა ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე ჩამოაყალიბა ქიმიური რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურაზე დამოკიდებ-

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

ულების წესი, რომლის თანახმადაც: ტემპერატურის ყოველი 10 °C-ით მატებისას, რეაქციის სიჩქარე საშუალოდ 2-4-ჯერ იზრდება. მისი მათემატიკური გამოსახულება ასე ჩაინერება:

$$\frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}$$

$$v_{t_2} = v_{t_1} \cdot \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}$$

სადაც  $v_{t_1}$  და  $v_{t_2}$  არის ქიმიური რეაქციის სიჩქარე, შესაბამისად, უფრო დაბალ ( $t_1$ ) და უფრო მაღალ ( $t_2$ ) ტემპერატურებზე,  $\gamma$  კი – ტემპერატურული კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა შეიძლება იყოს 2-დან 4-მდე.

ვანტ-ჰოფის წესი მხოლოდ შეზღუდულ ტემპერატურულ ინტერვალში (100 °C-მდე) მოქმედებს.

### ამოცანის ამოხსნის ნიმუში – 1

**ამოცანა:** რამდენჯერ გაიზრდება რეაქციის სიჩქარე ტემპერატურის 30 °C-დან 60 °C-მდე გაზრდისას, თუ მისი სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტი  $\gamma = 3$ .

**ამოხსნა:**

$$v_{60} = v_{30} \cdot \gamma^{\frac{60-30}{10}} = v_{30} \cdot 3^3 = 27v_{30}$$

ე.ი. რეაქციის სიჩქარე გაიზრდება 27-ჯერ.

### ამოცანის ამოხსნის ნიმუში – 2

**ამოცანა:** ლაბორატორიაში ჩაატარეს რეაქცია 20 °C-ზე, დაინიშნეს დრო და აღმოჩნდა, რომ რეაქცია დასრულდა 160 წმ-ში. ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ ამ რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტი  $\gamma = 2$ . რა დროში დასრულდება რეაქცია, თუ ტემპერატურა 60 °C-მდე გაიზრდება?

**ამოხსნა:**

პირველ ეტაპზე გამოვთვალოთ, რამდენჯერ გაიზრდება სიჩქარე ტემპერატურის 20 °C-დან 60 °C-მდე მომატებისას.

$$\frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}} = 2^{\frac{60-20}{10}} = 2^4 = 16$$

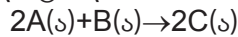
ე. ი. ტემპერატურის 20°C-დან 60°C-მდე გაზრდით რეაქციის სიჩქარე 16-ჯერ იმატებს. ამასთანავე, ცნობილია, რომ სიჩქარე და დრო უკუპროპორციულია, ამიტომ რეაქციის მიმდინარეობის დრო 16-ჯერ უნდა შემცირდეს.

აქედან გამომდინარე, რეაქცია  $160 : 16 = 10$  წმ-ში დასრულდება.



**კითხვები და დავალებები:**

1. მოცემულია რეაქციის ზოგადი ტოლობა:



როგორ შეიცვლება მოცემული რეაქციის სიჩქარე, თუ

- ა) A ნივთიერების კონცენტრაცია გაიზრდება 2-ჯერ?
- ბ) B ნივთიერების კონცენტრაცია შემცირდება 3-ჯერ?
- გ) სისტემაში წნევა გაიზრდება 2-ჯერ?
- დ) A ნივთიერების კონცენტრაცია შემცირდა 3-ჯერ, როგორ უნდა შეიცვალოს B ნივთიერების კონცენტრაცია, რომ რეაქციის სიჩქარე დარჩეს უცვლელი?



2. ჭიქებში მოთავსებულია ერთი და იმავე კონცენტრაციის მარილმჟავა და ერთნაირი მასის ცარცი. პირველ ჭიქაში მოთავსებულია ცარცის ნატეხი, მეორე ჭიქაში კი ცარცი დაქუცმაცებულია.

- ა) შეადგინეთ პროცესის ამსახველი რეაქციის ტოლობა;
- ბ) რა განსხვავებაა ჭიქებში მიმდინარე ექსპერიმენტებს შორის? პასუხი დაასაბუთეთ.
- გ) ივარაუდეთ, რომელი კანონზომიერების საჩვენებლად გამოიყენებდნენ ამ ექსპერიმენტს?
- დ) წარმოადგინეთ, რომ ეს ექსპერიმენტი თქვენ უნდა ჩაატაროთ ლაბორატორიაში. განსაზღვრეთ ექსპერიმენტის მიზანი და მოკლედ წარმოადგინეთ ექსპერიმენტის ეტაპები, უსაფრთხოების წესების გათვალისწინებით.
- ე) დაასახელეთ დამოკიდებული, დამოუკიდებელი და საკონტროლო ცვლადები მოცემულ ექსპერიმენტში.
- ვ) ნახ. 2.21-ის მსგავსად სქემატურად წარმოადგინეთ 1-ელი და მე-2 ექსპერიმენტის შედეგების ამსახველი მრუდები.
- ზ) დაჯახებათა თეორიის საფუძველზე ახსენით ექსპერიმენტის შედეგები.
- თ) კიდევ რომელი ქმედებით შეიძლება გაზარდოთ რეაქციის სიჩქარე 1-ელ ექსპერიმენტში?



- 3. რამდენჯერ გაიზრდება ქიმიური რეაქციის სიჩქარე, თუ ტემპერატურას 10 °C-დან 40 °C-მდე გავზრდით, თუ ცნობილია, რომ ტემპერატურის ყოველი 10 °C-ით მომატებისას ამ რეაქციის სიჩქარე 2-ჯერ იზრდება?
- 4. 30 °C-ით ტემპერატურის გაზრდა რეაქციის სიჩქარეს 27-ჯერ ზრდის. როგორია ამ რეაქციის ტემპერატურული კოეფიციენტი?
- 5. რომელ გრადუსამდე უნდა გავაცხელოთ 80 °C -ზე მიმდინარე რეაქცია, რომ მისი სიჩქარე 6.25-ჯერ გაიზარდოს, თუ რეაქციის ტემპერატურული კოეფიციენტი 2.5-ის ტოლია?
- 6. როგორ შეიცვლება დახმულ ჭურჭელში აირად ნივთიერებებს შორის მიმდინარე რეაქციის  $2A+B_2 \rightarrow 2AB$  სიჩქარე, თუ მას 4-ჯერ მცირე მოცულობის ჭურჭელში ჩავატარებთ?
- 7. გააანალიზეთ ნახ. 2.29 და იმსჯელეთ, რომელ სინჯარაში მიმდინარეობს რეაქცია უფრო მაღალ ტემპერატურაზე?



## ქიმიური რეაქციის სიჩქარის რეაგენტის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების დადგენა

როგორც ვიცით, ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე მოქმედი ერთ-ერთი ფაქტორია რეაგენტის კონცენტრაცია. როგორ დავადგინოთ ქიმიური რეაქციის სიჩქარის რეაგენტის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულება? ამისათვის საჭიროა ექსპერიმენტის ჩატარება.

ქიმიური რეაქციის მოდელად გამოვიყენოთ ნატრიუმის თიოსულფატისა და გოგირდმჟავას ურთიერთქმედების რეაქცია:



რეაქციის შედეგად, გოგირდის გამოყოფის გამო, ხსნარი იმღვრევა. რეაქციის სიჩქარის დადგენა შესაძლებელია რეაგენტების შერევის მომენტიდან სიმღვრივის წარმოქმნამდე გასული დროის მიხედვით.

გავიხსენოთ, რომ რეაქციის სიჩქარე გვიჩვენებს კონცენტრაციის ცვლილებას დროში. გოგირდის მიერ წარმოქმნილი სიმღვრივე, რომლის დროსაც წარწერა აღარ ჩანს, შეესაბამება გოგირდის კონცენტრაციას 0.010 მოლი/ლ. ეს მონაცემი გაითვალისწინეთ რეაქციის სიჩქარის გამოთვლისას:

$$v = \frac{\Delta C}{\Delta t} = \frac{0.010}{\Delta t} \text{ მოლი / ლ} \cdot \text{წმ}$$

რეაგენტის სხვადასხვა კონცენტრაციაზე რეაქციის სიჩქარის განსაზღვრით დაადგინეთ მათ შორის დამოკიდებულება.

უსაფრთხოება: გოგირდმჟავას კანზე მოხვედრა იწვევს დამწვრობას, ამიტომ აუცილებლად გამოიყენეთ ხელთათმანი და სათვალე. გაითვალისწინეთ, რომ აუცილებელია ნარჩენების უტილიზაცია სათანადო წესების დაცვით. ექსპერიმენტის დაწყებამდე სრულად გაეცანით უსაფრთხოების წესებს (გვ. 105).

ექსპერიმენტისათვის დაგჭირდებათ:

რეაქტივები:

- ნატრიუმის თიოსულფატის კრისტალჰიდრატი ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )
- გოგირდმჟავას ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 20%-იანი ხსნარი

ქიმიური ჭურჭელი და ხელსაწყოები:

- სასწორი
- მენზურები (25 ან 50 მლ-იანი)
- ქიმიური ჭიქები (100 მლ-იანი)
- საზომი კოლბა (100 მლ-იანი)
- წამმზომი
- მინის წკირი

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

- ჩამრეცხი გამობდილი წყლით
- წარწერებიანი თეთრი ფურცელი

ექსპერიმენტის მსვლელობა:

1. დაამზადეთ ნატრიუმის თიოსულფატის 0.1 მოლი/ლ კონცენტრაციის ხსნარი. ამისათვის სასწორზე აწონეთ 2.48 გ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , მოათავსეთ ქიმიურ ჭიქაში და გახსენით დაახლოებით 50-60 მლ გამობდილ წყალში. ხსნარი გადაიტანეთ 100 მლ-იან საზომ კოლბაში და ჭდემდე (ნიშნულამდე) შეავსეთ გამობდილი წყლით.
2. ჭიქაში მენზურის საშუალებით ჩაასხით ნატრიუმის თიოსულფატის ხსნარი და დაამატეთ წყალი (მოცულობები იხ. N1 ცხრილში).

ცხრილი N1. ექსპერიმენტისათვის საჭირო ნივთიერებათა მოცულობები.

ჭიქის №	ნატრიუმის თიოსულფატის ხსნარის მოცულობა, მლ	დამატებული წყლის მოცულობა, მლ	დამატებული გოგირდმჟავას ხსნარის მოცულობა, მლ
1	10	30	10
2	20	20	10
3	30	10	10
4	40	0	10

3. ამის შემდეგ ჭიქაში დაამატეთ 10 მლ გოგირდმჟავას 20%-იანი ხსნარი (გოგირდმჟავას 20%-იანი ხსნარის დამზადებისას გაითვალისწინეთ, რომ გოგირდმჟავა უნდა ჩაისხას წყალში და არა პირიქით!) და ამ მომენტიდან დაიწყეთ წამმზომით დროის ათვლა, რომელიც უნდა შეწყვიტოთ გარკვეული სიმღვრივის წარმოქმნისას. წამმზომის ჩართვის შემდეგ ხსნარს ფრთხილად მოურიეთ მინის წკირით (დაახლოებით 5-6 წრიული მოძრაობა). ეცადეთ, ყველა შემთხვევაში მორევის დრო და ინტენსივობა ერთნაირი იყოს.
4. არ დაგავიწყდეთ, რომ საჭიროა გამოყენებული მინის წკირი ცდის დაწყებამდე გარეცხოთ გამობდილი წყლით და შეამშრალეთ ქაღალდის ხელსახოცით.
5. იმისათვის, რომ წამმზომი ყველა შემთხვევაში ერთნაირი სიმღვრივისას გამოირთოს, ჭიქა მოათავსეთ თეთრ ფურცელზე გაკეთებულ წარწერაზე და წამმზომით დააფიქსირეთ დროის ის მომენტი, როდესაც წარმოქმნილი სიმღვრივის გამო ჭიქის ქვეშ წარწერა აღარ გამოჩნდება.



## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

6. მიღებული შედეგების მიხედვით შეავსეთ მოცემული ცხრილი N2.

ცხრილი N2. ექსპერიმენტის შედეგები.

ჭიქის №	ნატრიუმის თიოსულფატის კონცენტრაცია, მოლი/ლ	დრო სიმღვრივის წარმოქმნამდე ( $\Delta t$ ), წმ	რეაქციის სიჩქარე, $v = \frac{0.010}{\Delta t}$ მოლი / (ლ · წმ)
1	0.02		
2	0.04		
3	0.06		
4	0.08		

7. ინფორმაციული და საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების (ისტ) გამოყენებით ააგეთ რეაქციის სიჩქარის ნატრიუმის თიოსულფატის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების გრაფიკი. გრაფიკის აგებისას საწყის წერტილად აიღეთ კოორდინატა სათავე.

მიღებული შედეგების საფუძველზე იმსჯელეთ და უპასუხეთ შემდეგ კითხვებს:

- როგორ დამოკიდებულა რეაგენტების კონცენტრაციასა და რეაქციის სიჩქარეს შორის?
- ივარაუდეთ, რისთვისაა საჭირო, რომ მორევის დრო და ინტენსივობა ერთნაირი იყოს ყოველი ცდისათვის?
- როგორ ფიქრობთ, რომელმა ფაქტორებმა შეიძლება გამოიწვიოს ცდომილება ექსპერიმენტში? თქვენი ვარაუდი დაასაბუთეთ.



## ქიმიური რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების დადგენა

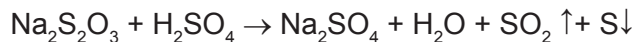
როგორც ვიცით, ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე მოქმედი ერთ-ერთი ფაქტორია ტემპერატურა. როგორ დავადგინოთ ქიმიური რეაქციის სიჩქარისა და ტემპერატურის დამოკიდებულება? ამისათვის საჭიროა ექსპერიმენტის ჩატარება.

როგორც ვიცით, ტემპერატურის გაზრდა იწვევს მოლეკულების კინეტიკური ენერგიისა და მორეაგირე ნივთიერებების მოლეკულების დაჯახებათა რიცხვის გაზრდას, ამიტომ რაც უფრო მეტია ტემპერატურა, მით უფრო სწრაფად წარიმართება ქიმიური რეაქცია.

ვანტ-ჰოფის წესის თანახმად, **ტემპერატურის ყოველი 10°C-ით მომატება იწვევს ქიმიური რეაქციის სიჩქარის 2-4-ჯერ გაზრდას**. მათემატიკურად ეს წესი შემდეგი ფორმულით გამოისახება:

$$V_{(t_2)} = V_{(t_1)} \cdot \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}$$

ქიმიური რეაქციის მოდელად გამოვიყენოთ ნატრიუმის თიოსულფატისა და გოგირდმჟავას შორის ურთიერთქმედების რეაქცია:



რეაქციის შედეგად, გოგირდის გამოყოფის გამო, ხსნარი იმღვრევა. რეაქციის სიჩქარის დადგენა შესაძლებელია რეაგენტების შერევის მომენტიდან სიმღვრივის წარმოქმნამდე გასული დროის მიხედვით.

გავიხსენოთ, რომ რეაქციის სიჩქარე გვიჩვენებს კონცენტრაციის ცვლილებას დროში. გოგირდის მიერ წარმოქმნილი სიმღვრივე, რომლის დროსაც წარწერა აღარ ჩანს, შეესაბამება გოგირდის კონცენტრაციას 0.010 მოლი/ლ. ეს მონაცემი გაითვალისწინეთ რეაქციის სიჩქარის გამოთვლისას:

$$v = \frac{\Delta C}{\Delta t} = \frac{0.010}{\Delta t} \text{ მოლი/ლ} \cdot \text{წმ}$$

განსაზღვრეთ რეაქციის ტემპერატურული კოეფიციენტი სხვადასხვა ტემპერატურაზე რეაქციის სიჩქარის განსაზღვრის მეშვეობით.

უსაფრთხოება: გოგირდმჟავას კანზე მოხვედრა იწვევს დამწვრობას, ამიტომ აუცილებლად გამოიყენეთ ხელთათმანი და სათვალე. გაითვალისწინეთ, რომ აუცილებელია ნარჩენების უტილიზაცია სათანადო წესების დაცვით. ექსპერიმენტის დაწყებამდე სრულად გაეცანით უსაფრთხოების წესებს (გვ. 105).

ექსპერიმენტისათვის დაგჭირდებათ:

რეაქტივები:

- ნატრიუმის თიოსულფატის კრისტალჰიდრატი ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )
- გოგირდმჟავას ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 20%-იანი ხსნარი

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

ქიმიური ჭურჭელი და ხელსაწყოები:

- სასწორი
- მენზურები (25 ან 50 მლ-იანი)
- ქიმიური ჭიქები (100 მლ-იანი)
- საზომი კოლბა (100 მლ-იანი)
- ნამზომი
- მინის წკირი
- ჩამრეცხი გამოხდილი წყლით
- წარწერებიანი თეთრი ფურცელი
- დიდი ზომის სინჯარა
- სპირტქურა
- სინჯარის დამჭერი

ექსპერიმენტის მსვლელობა:

1. დაამზადეთ ნატრიუმის თიოსულფატის 0.1 მოლი/ლ კონცენტრაციის ხსნარი. ამისათვის სასწორზე აწონეთ 2.48 გ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  მოათავსეთ ქიმიურ ჭიქაში და გახსენით დაახლოებით 50-60 მლ გამოხდილ წყალში. ხსნარი გადაიტანეთ 100 მლ-იან საზომ კოლბაში და ჭდემდე (ნიშნულამდე) შეავსეთ გამოხდილი წყლით.
2. ჭიქაში მენზურის საშუალებით ჩაასხით ნატრიუმის თიოსულფატის ხსნარი და დაამატეთ ოთახის ტემპერატურის (20°C) წყალი (მოცულობები იხ. N1 ცხრილში). ცხრილი N1. ექსპერიმენტისათვის საჭირო ნივთიერებათა მოცულობები.

ტემპერატურა	ნატრიუმის თიოსულფატის ხსნარის მოცულობა, მლ	დასამატებელი წყლის მოცულობა, მლ		დასამატებელი გოგირდმჟავას ხსნარის მოცულობა, მლ
		ოთახის ტემპერატურის წყალი	მდულარე წყალი	
20 °C	10	30	0	10
30 °C	10	22	8	10
40 °C	10	14	16	10

3. ამის შემდეგ ჭიქაში დაამატეთ 10 მლ გოგირდმჟავას 20%-იანი ხსნარი (გოგირდმჟავას 20%-იანი ხსნარის დამზადებისას გაითვალისწინეთ, რომ გოგირდმჟავა უნდა ჩაისხას წყალში და არა პირიქით!) და ამ მომენტიდან დაიწყეთ წამმზომით დროის ათვლა, რომელიც უნდა შეწყვიტოთ გარკვეული სიმღვრივის წარმოქმნისას. წამმზომის ჩართვის შემდეგ ხსნარს ფრთხილად მოურიეთ მინის წკირით (დაახლოებით 5-6 წრიული მოძრაობა). ეცადეთ, ყველა შემთხვევაში მორევის დრო და ინტენსივობა ერთნაირი იყოს.
4. იმისათვის, რომ წამმზომი ყველა შემთხვევაში ერთნაირი სიმღვრივისას გამოირთოს, ჭიქა მოათავსეთ თეთრ ფურცელზე გაკეთებულ წარწერაზე და წამმზომით დააფიქსირეთ დროის ის მომენტი, როდესაც წარმოქმნილი სიმღვრივის გამო ჭიქის ქვეშ წარწერა აღარ გამოჩნდება.
5. 30 და 40 °C-ზე ცდის ჩასატარებლად ყველა პროცედურა იგივეა, ოღონდ ამ შემთხვევაში ჭიქაში გოგირდმჟავას ჩამატებამდე, ოთახის ტემპერატურის წყლის გარ-

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

და, უნდა ჩაასხათ შესაბამისი მოცულობის ადუღებული წყალიც (მოცულობები იხ. N1 ცხრილში). ამისათვის სინჯარაში ჩაასხით საჭირო რაოდენობის წყალი და აადუღეთ სპირტურაზე, ოღონდ, ვიდრე წყლის გაცხელებას დაიწყებდეთ, წინასწარ არწყეთ მენზურაში გოგირდმჟავას ხსნარი. როდესაც სინჯარაში წყალი ინტენსიურ დუღილს დაიწყებს, ჩაასხით წყალი სინჯარაში და მაშინვე დაამატეთ გოგირდმჟავა.

6. მიღებული შედეგების მიხედვით შეავსეთ მოცემული ცხრილი N2.  
ცხრილი N2. ექსპერიმენტის შედეგები.

ტემპერატურა	დრო სიმღვრივის წარმოქმნამდე ( $\Delta t$ ), წმ	რეაქციის სიჩქარე, $v = \frac{0.010}{\Delta t}$ მოლი / (ლ · წმ)
20 °C		
30 °C		
40 °C		

7. ინფორმაციული და საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების (ისტ) გამოყენებით ააგეთ რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკი.  
8. გამოთვალეთ რეაქციის ტემპერატურული კოეფიციენტი ორივე ტემპერატურული დიაპაზონისათვის (20-30 °C და 30-40 °C), შემდეგი ფორმულების გამოყენებით:

$$20-30\text{ }^{\circ}\text{C: } \gamma = \frac{V_{30^{\circ}\text{C}}}{V_{20^{\circ}\text{C}}}$$

$$30-40\text{ }^{\circ}\text{C: } \gamma = \frac{V_{40^{\circ}\text{C}}}{V_{30^{\circ}\text{C}}}$$

რის შემდეგაც იანგარიშეთ ტემპერატურული კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა. შედეგები შეიტანეთ ცხრილში N3.

ცხრილი N3. ტემპერატურული კოეფიციენტის დადგენა.

ტემპერატურული დიაპაზონი	ტემპერატურული კოეფიციენტი	ტემპერატურული კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა
20-30 °C		
30-40 °C		

მიღებული შედეგების საფუძველზე იმსჯელეთ და უპასუხეთ შემდეგ კითხვებს:

- როგორი დამოკიდებულებაა ტემპერატურასა და რეაქციის სიჩქარეს შორის?
- თქვენი აზრით, რატომ ტარდება ექსპერიმენტი ორ სხვადასხვა ტემპერატურულ დიაპაზონში?
- ივარაუდეთ, რისთვისაა საჭირო, რომ მორევის დრო და ინტენსივობა ერთნაირი იყოს ყოველი ცდისათვის?
- როგორ ფიქრობთ, რომელმა ფაქტორებმა შეიძლება გამოიწვიოს ცდომილება ექსპერიმენტში? თქვენი ვარაუდი დაასაბუთეთ.

2.4

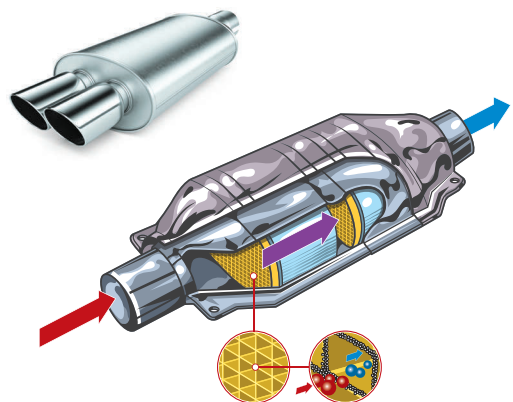
კატალიზატორი

ტემპერატურისა და კონცენტრაციის ცვლილება მოქმედებს რეაქციის სიჩქარეზე, მაგრამ ტემპერატურის მატება ყოველთვის არ არის საუკეთესო ან პრაქტიკულად გამართლებული ქმედება. მაგალითად, როდესაც ადამიანს მაღალი სიცხე აქვს, ორგანიზმში მიმდინარე რეაქციები გაძლიერებულია. ამ დროს წარმოიქმნება და გროვდება დიდი რაოდენობით როგორც სასარგებლო, ისე მავნე ნივთიერებები, გამოიყოფა საჭიროზე მეტი ენერგია და უჯრედები იღუპება. წარმოებაში რეაქციის ჩატარება მაღალ ტემპერატურაზე ასევე დაკავშირებულია ენერგიის დიდ დანახარჯებთან, ამიტომ ქიმიკოსები ხშირად ცდილობენ ისეთი პირობების შემუშავებას, რომ რეაქციები შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე ჩაატარონ, ამასთან, მაღალი სიჩქარით, რისთვისაც კატალიზატორებს იყენებენ.

აღბათ ეს სიტყვა თქვენთვის უკვე ნაცნობია, რადგან ავტომობილის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ნაწილს სწორედ კატალიზატორი წარმოადგენს. რა ფუნქცია აქვს მას?

როგორც ვიცით, საწვავის წვის პროცესში გამოიყოფა სხვადასხვა ტოქსიკური ნივთიერება, რომელიც გარემოს მნიშვნელოვან დამაბინძურებელს წარმოადგენს, მაგალითად: გოგირდის დიოქსიდი, ნახშირბადის მონოოქსიდი, აზოტის ოქსიდები და სხვ.

იმისათვის, რომ ამ ნივთიერებების გარემოში მოხვედრა თავიდან ავირიდოთ, ავტომობილის კორპუსის უკანა მხარეს დამონტაჟებულია სპეციალური მოწყობილობა, რომელიც ამ ტოქსიკურ ნაერთებს გარდაქმნის და ნახშირორჟანგის, წყლისა და აზოტის სახით გამოყოფს. ამ მოწყობილობას ავტომობილის კატალიზურ გარდამქმნელს ან უბრალოდ მანქანის კატალიზატორს უწოდებენ (ნახ. 2.30). ასეთი გარდამქმნელის კორპუსს პლატინის, პალადიუმის ან როდიუმისგან ამზადებენ, რათა გაუძლოს ჟანგვას, კოროზიასა და სხვა გარემო ფაქტორებს. კორპუსის შიგთავსი ამოფენილია სპეციალური ნივთიერებებით, რომლებიც ტოქსიკური ნაერთების გარდაქმნის პროცესს აჩქარებს, თვითონ კი უცვლელი რჩება.



ნახ. 2.30. ავტომობილის კატალიზური გარდამქმნელი.

ზოგადად, კატალიზატორი ქიმიური ნივთიერებაა, რომელიც ქიმიურ რეაქციას აჩქარებს, თვითონ კი რეაქციის დასრულების შემდეგ უცვლელი რჩება. ცოცხალ ორგანიზმებში მიმდინარე რეაქციები ძირითადად ბიოლოგიური კატალიზატორების მეშვეობით ხორციელდება, რომლებსაც **ფერმენტები** ანუ **ენზიმები** ეწოდება. კატალიზატორები ფართოდ

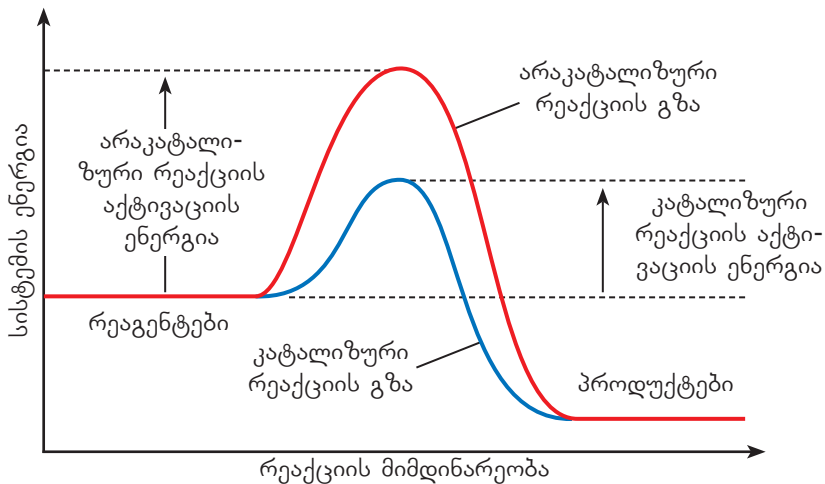
## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

გამოიყენება მრეწველობაში დიდი რაოდენობის პროდუქციის სწრაფად დასამზადებლად, რაც ამცირებს მათ ღირებულებას. ვინაიდან კატალიზატორები ქიმიურ პროცესებში რაოდენობრივად არ იცვლება, ისინი ქიმიური რეაქციის ტოლობაში არ იწერება როგორც რეაგენტი ან პროდუქტი, უბრალოდ მიენიშნება მათი გამოყენება ისევე, როგორც წნევისა და ტემპერატურის. ზოგიერთი ნივთიერება ამცირებს რეაქციის სიჩქარეს, მათ **ინჰიბიტორებს** უწოდებენ. მაგალითად, მიკროორგანიზმებით გამოწვეული ანთებითი პროცესის დროს იყენებენ ანტიბიოტიკებს, რომლებიც ამ ორგანიზმების რომელიმე მნიშვნელოვან სასიცოცხლო პროცესს აფერხებს, ანუ ხელს უშლის მათ განვითარებაში.

კატალიზატორის მეშვეობით მიმდინარე პროცესს **კატალიზი** ეწოდება; ინჰიბიტორით რეაქციის სიჩქარის შემცირებას – **ინჰიბირება**. კატალიზატორების მოქმედებას თავიდან აკვირდებოდნენ დაშლის რეაქციების შესწავლისას და ვინაიდან მათი მეშვეობით აღნიშნული პროცესები ძლიერდებოდა, სახელიც ამ ნიშნით დაერქვა — „კატალიზი“ ბერძნულად დაშლას ნიშნავს. ასევე „ინჰიბიცია“ ლათინურად შეკავებას, ხელის შეშლას აღნიშნავს.

კატალიზატორის მოქმედების პრინციპი მდგომარეობს მოცემული რეაქციის მიმდინარეობის გზის ცვლილებაში, რასაც ახლავს მოცემულ ტემპერატურაზე აქტივაციის ენერჯის შემცირება. დაბალი აქტივაციის ენერჯია ნიშნავს, რომ მოლეკულათა შორის დაჯახებისას მეტი მოლეკულა გადალახავს ამ ბარიერს და წარმოქმნის პროდუქტს. ე. ი. კატალიზატორი აქტივაციის ენერჯის შემცირებით ზრდის ქიმიური რეაქციის სიჩქარეს.

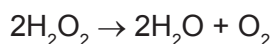
**2.31** ნახაზზე მოცემულია ეგზოთერმული ქიმიური რეაქციის ენერგეტიკული დიაგრამა. ნითელი ხაზით აღნიშნულია რეაქციის მსვლელობა კატალიზატორის გარეშე, ლურჯად კი – კატალიზატორის თანაობისას. როგორც ვხედავთ, კატალიზატორის თანაობით მიმდინარე რეაქციის აქტივაციის ენერჯია ბევრად ნაკლებია, ვიდრე მის გარეშე და, შესაბამისად, სიჩქარეც იზრდება.



ნახ. 2.31. კატალიზატორის მონაწილეობით და მის გარეშე მიმდინარე ქიმიური რეაქციის ენერგეტიკული დიაგრამა.

განვიხილოთ მაგალითი:

წყალბადის პეროქსიდი იშლება წყლისა და ჟანგბადის წარმოქმნით:



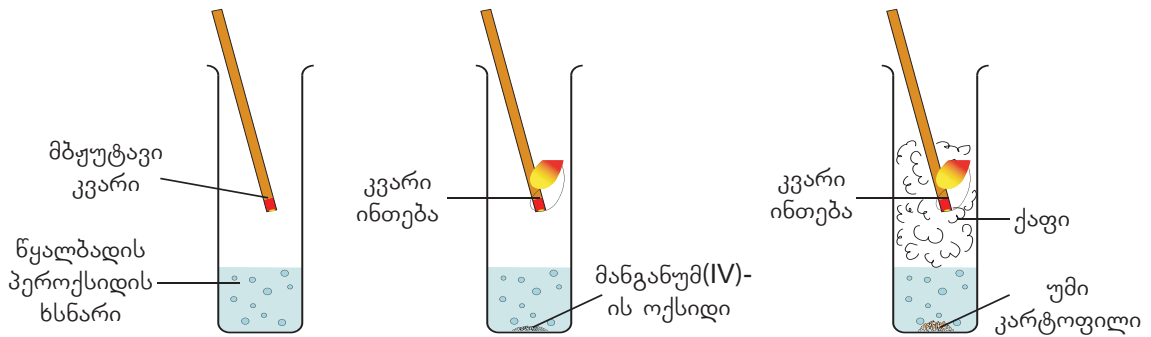


## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

რეაქცია ჩვეულებრივ პირობებში საკმაოდ ნელა მიმდინარეობს. რეაქციის დაჩქარება შესაძლებელია სხვადასხვა ტიპის კატალიზატორის გამოყენებით.

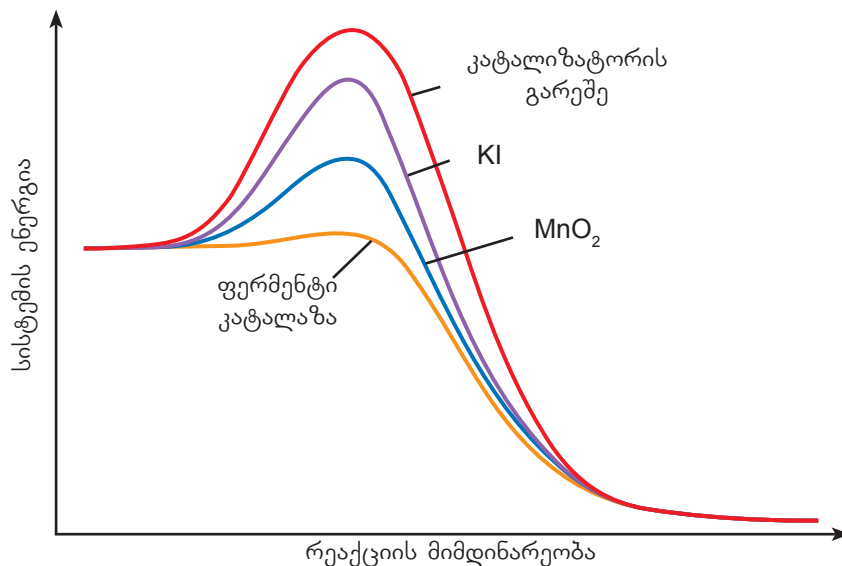
განვიხილოთ ასეთი ექსპერიმენტი:

სამ ერთნაირ სინჯარაში ჩაასხეს ერთი და იმავე მოცულობის წყალბადის პეროქსიდის ხსნარი. პირველი სინჯარა დატოვეს უცვლელად, მეორე სინჯარაში ჩააგდეს მცირე ზომის მანგანუმ(IV)-ის ოქსიდის ნატეხი, ხოლო მესამე სინჯარაში - ფერმენტ კატალაზას შემცველი იმავე ზომის პრეპარატი, მაგალითად, უმი კარტოფილის ნაჭერი (ნახ. 2.32).



ნახ. 2.32. წყალბადის პეროქსიდის დაშლა სხვადასხვა კატალიზატორის თანაობისას და მის გარეშე.

გარკვეული დროის შემდეგ სამივე სინჯარაში შეიტანეს მზუუტავი კვარი. პირველ სინჯარაში კვარი არ აინთო, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ გამოყოფილი ჟანგბადი არ არის საკმარისი კვარის ასანთებად, მეორე და მესამე სინჯარაში კვარი აინთო, ამასთან, მესამეში აქაფებაც შეინიშნება, რაც ჟანგბადის ინტენსიურ გამოყოფაზე მიუთითებს. ამ ექსპერიმენტიდან ჩანს, რომ ფერმენტი ყველაზე მეტად აჩქარებს წყალბადის პეროქსიდის დაშლის რეაქციას, რაც ამ რეაქციის აქტივაციის ენერგიის შემცირების გამო ხდება. იმავე რეაქციის კატალიზატორად შეიძლება გამოვიყენოთ კალიუმის იოდიდი. სხვადასხვა კატალიზატორი განსხვავებულად ცვლის აქტივაციის ენერგიას (ნახ. 2.33).



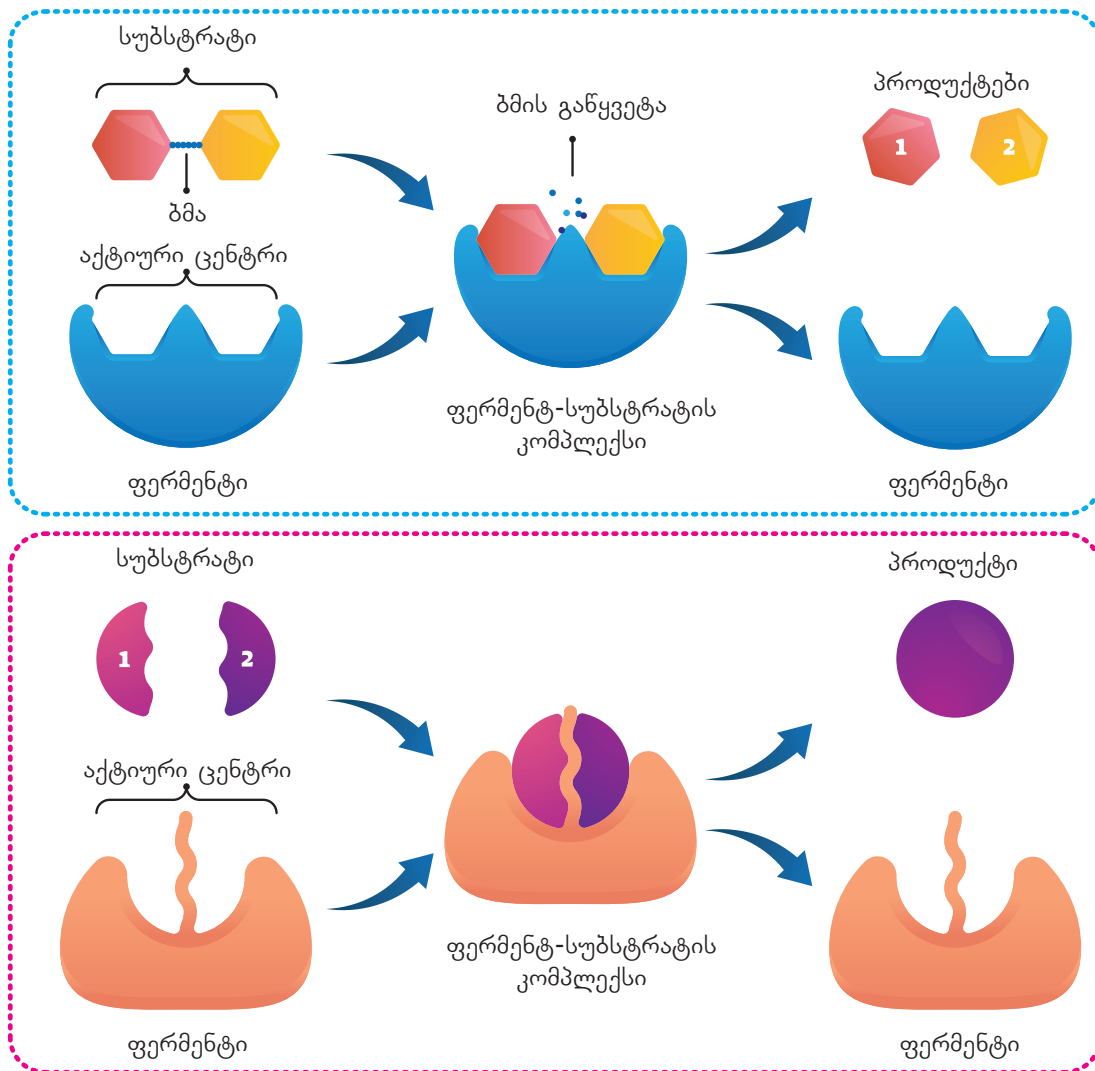
ნახ. 2.33. წყალბადის პეროქსიდის დაშლის რეაქციის აქტივაციის ენერგია სხვადასხვა კატალიზატორის თანაობისას.

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

რა არის ფერმენტები?

ფერმენტები რთული შედგენილობის ცილოვანი ნაერთებია. ისინი განსაკუთრებულ როლს ასრულებს ორგანიზმში მიმდინარე ქიმიურ პროცესებში (მეტაბოლიზმში). ორგანიზმის ტემპერატურა შედარებით დაბალია, ამიტომ ბევრი პროცესის განხორციელებისათვის საჭიროა აქტივაციის ენერჯის შემცირება, რაც სწორედ ფერმენტების, ანუ ბიოლოგიური კატალიზატორების საშუალებით ხდება. ფერმენტები წარმართავს საჭმლის მონელებას, უჯრედულ სუნთქვას, ფოტოსინთეზს, სპირტულ დუღილს და მრავალ სხვა პროცესს.

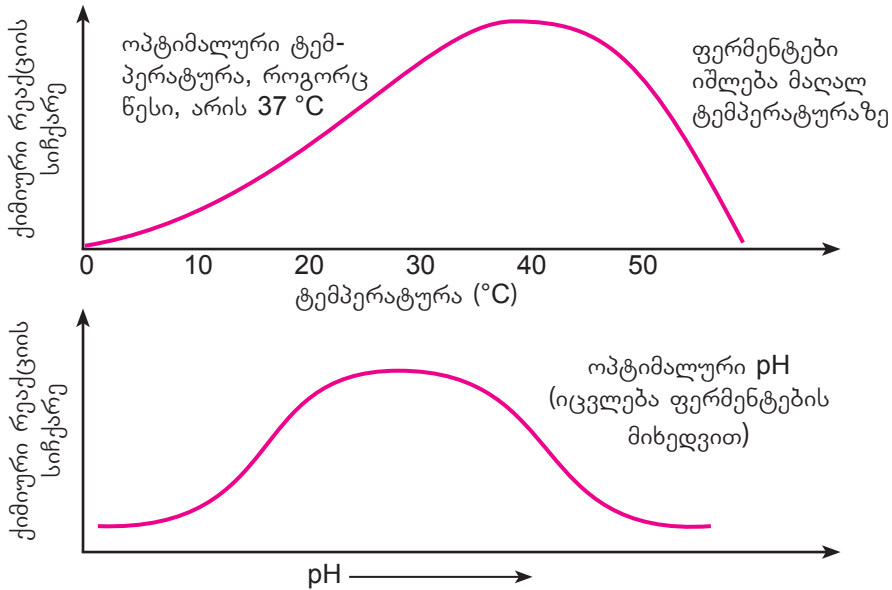
ფერმენტების მოქმედებით შესაძლებელია ისეთი რეაქციების წარმართვა, რომლებიც მაღალი აქტივაციის ენერჯის გამო იმავე პირობებში საერთოდ ვერ წარმართებოდა. ფერმენტის მოლეკულას აქვს სპეციფიკური აღნაგობა, რომელიც გარკვეულწილად რეაგენტის (ანუ სუბსტრატის) მოლეკულის ფორმის შესაბამისია. ამით ფერმენტი და სუბსტრატი ერთმანეთს „ცნობს“ - რეაგენტი ისე ერგება ფერმენტს, როგორც გასაღები - კლიტეს. ფერმენტი და მასთან დაკავშირებული სუბსტრატი წარმოადგენს შუალედურ კომპლექსს, რომელიც შემდგომ პროდუქტებად გარდაიქმნება (ნახ. 2.34).



ნახ. 2.34. ფერმენტების ურთიერთქმედება სუბსტრატთან.

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

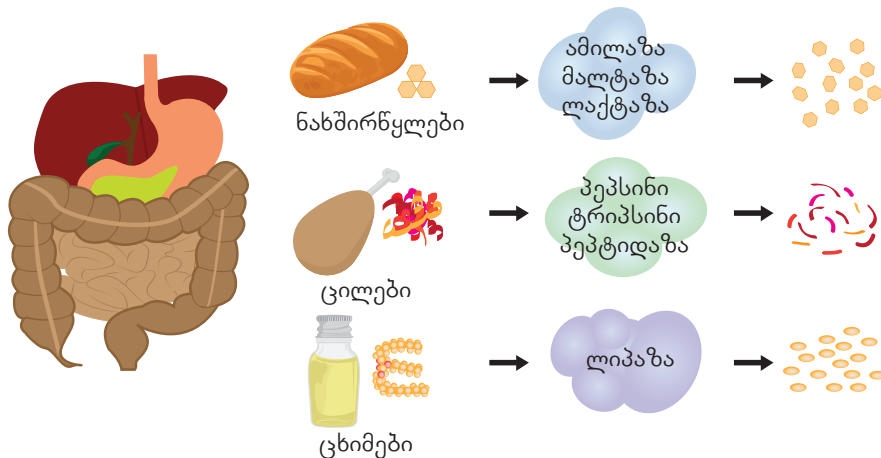
რეალურად ფერმენტების მოქმედება ბევრად უფრო რთული და კომპლექსური პროცესია. ფერმენტს აქვს მოქმედების ოპტიმალური პირობები. მაგალითად, ადამიანის ორგანიზმში ბევრი ფერმენტის მოქმედებისთვის ოპტიმალური ტემპერატურაა  $37^{\circ}\text{C}$  (ნახ. 2.35). ტემპერატურის მატებით ფერმენტის უმრავლესობის აქტივობა იკლებს, ხოლო  $40^{\circ}\text{C}$ -ის ზევით ფერმენტთა უმეტესობა იშლება. ანალოგიურად, ფერმენტების მოქმედებას სჭირდება ოპტიმალური pH, რომელიც შეიძლება განსხვავებული იყოს სხვადასხვა ტიპის ფერმენტისათვის, თუმცა, ძირითადად, ოპტიმალური pH 5-9 ფარგლებშია (ნახ. 2.35).



ნახ. 2.35. ფერმენტების მოქმედების ოპტიმალური პირობები.

ზოგიერთი ფერმენტისათვის შეიძლება ეს პირობები განსახვავებული იყოს. მაგალითად, ფერმენტი პეპსინი, რომელიც ხელს უწყობს ცილოვანი საკვების მონელებას, ფუნქციონირებს კუჭში, სადაც მისი მოქმედებისთვის ოპტიმალური მჟავა არეა (pH = 1-3).

ორგანიზმში არსებული მნიშვნელოვანი ორგანული ნივთიერებების (ნახშირწყლები, ცილები, ცხიმები) გარდაქმნის კატალიზატორებს სხვადასხვა ტიპის ფერმენტი წარმოადგენს (ნახ. 2.36).



ნახ. 2.36. ნახშირწყლების, ცილებისა და ცხიმების დამშლელი ფერმენტები.

## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

ფერმენტებს ასევე უდიდესი როლი აქვს სხვადასხვა ტექნოლოგიურ პროცესში. მაგალითად, ფერმენტულია პროცესები, რომელთა საშუალებითაც მიმდინარეობს პურის გაფუება, რძის პროდუქტების მიღება, ღვინის დადუღება, ლუდის წარმოება და მრავალი სხვა.



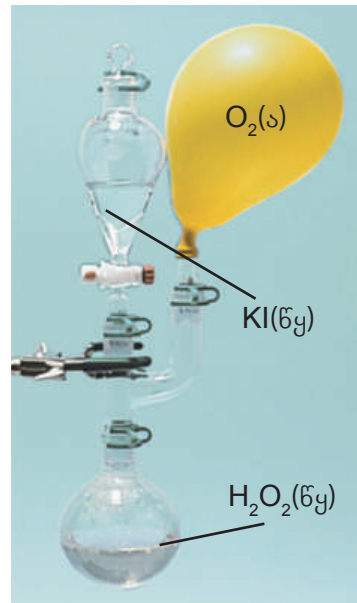
### კითხვები და დავალებები:



უსაფრთხოების წესების დაცვით, ჟანგბადის მისაღებად სპეციალურ მონეობილობაში (ნახ. 1) ჩაასხეს წყალბადის პეროქსიდის 200 გრ 17 %-იანი ხსნარი. გამყოფ დაბრში, რომელიც მორგებული იყო კოლბას, ჩაასხეს კალიუმის იოდიდის ხსნარი. ჟანგბადის შესაგროვებლად კოლბას მოარგეს ბუშტი. სანამ გამყოფი დაბრის ონკანი დაკეტილია (ნახ. 1ა), ბუშტი არ არის გაბერილი. მას შემდეგ, რაც კალიუმის იოდიდის მცირე რაოდენობა ჩაუშვეს კოლბაში, ბუშტი გაიბერა (ნახ. 1ბ). მოცემული ინფორმაციის საფუძველზე უპასუხეთ ქვემოთ მოცემულ კითხვებს.



ნახ. 1 (ა)



ნახ. 1 (ბ)

- რა როლი აქვს ამ ექსპერიმენტში კალიუმის იოდიდს?
- გამოიყენეთ ცხრილი 1.3 (გვ. 27) და გამოთვალეთ ენერგიის ცვლილება მოცემულ რეაქციაში.
- ეგზოთერმულია თუ ენდოთერმული მოცემული რეაქცია?
- სქემატურად გამოსახეთ წყალბადის პეროქსიდის დაშლის რეაქციის ენერგეტიკული დიაგრამა კალიუმის იოდიდის თანაობისას და მის გარეშე.
- გამოთვალეთ წყალბადის პეროქსიდის მასა საწყის ხსნარში.
- გამოთვალეთ რეაქციის შედეგად გამოყოფილი ჟანგბადის მოცულობა (ნ. პ.).



## როგორ მზადდება ყველი?

ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი საწარმოო პროცესი, რომელშიც ფერმენტები გამოიყენება, ყველის წარმოებაა. ყველი ერთ-ერთი ყველაზე პოპულარული რძის პროდუქტია როგორც საქართველოში, ასევე მთელ მსოფლიოში.



ნახ. 2.37. ყველის სახეობები.

ყოველწლიურად დაახლოებით 22 მილიონი ტონა ყველი იწარმოება მსოფლიოს მასშტაბით. ცნობილია ყველის 1800-ზე მეტი სახეობა (ნახ. 2.37), აქედან 250-მდე სახეობა იწარმოება საქართველოში. ქართული ყველის გამორჩეული სახეობებია: სულგუნი, დამბალხაჭო, ტენილი, გუდა, იმერული და სხვ. (ნახ. 2.38)



ტენილი



დამბალხაჭო



სულგუნი

ნახ. 2.38. ქართული ყველის სახეობები.

ყველის წარმოების პირველი ეტაპია რძის პასტერიზება. რძეს აცხელებენ 60°C-მდე 1 სთ-ის განმავლობაში, ამ დროს მავნე მიკროორგანიზმების მნიშვნელოვანი ნაწილი იხოცება. პასტერიზებული რძე გადადის დიდი ზომის რეაქტორში (ნახ. 2.39), სადაც მას ემატება სპეციალურად შერჩეული „სასარგებლო“ ბაქტერიების წარევი. ეს ბაქტერიები გამოყოფს ფერმენტებს, რომლებიც რძის ამჟავების გამომწვევი რეაქციების კატალიზატორებს წარმოადგენს.



## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები



ნახ. 2.39. რძის საფერმენტაციო რეაქტორი.

ამჟავებულ რძეს ემატება ფერმენტი რენინი, რომელსაც მაჭიკი (ძროხის კუჭის ნაწილი) შეიცავს. რენინი რძეს ადებებს და კოლტებს წარმოქმნის. ნარევეს კარგად ურევენ სპეციალური დანების გამოყენებით, რომლებიც კოლტებს აქუცმაცებს. ამის შემდეგ ნარევეს წურავენ ბადეზე და მიღებულ მასას აშრობენ.

გაშრობის შემდეგ ყველის მასა ქუცმაცდება და სახეობების მიხედვით სხვადასხვანაირად მუშავდება. დამუშავებისა და დამწიფების შემდეგ ყველი იჭრება შესაბამის ფორმებში (ნახ. 2.40), იფუთება და სანყობდება.



ნახ. 2.40. ყველის საჭრელი დანადგარი.

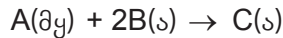
ზემოხსენებული პროცესები არის ზოგადი და გათვლილია დიდი მასშტაბის წარმოებისათვის. ხშირად ყველს გამარტივებულად ამზადებენ სახლებსა თუ მცირე მეურნეობებში: ნედლ რძეს უმატებენ ფერმენტს, რათა აიჭრას და შეკოშტილ მასას ხელით ამოიყვანონ, რასაც ნედლი ანუ ჭყინტი ყველი (იმერული) ეწოდება. ჭყინტი ყველის თერმული დამუშავებით (მოხარშვით) სულგუნს ამზადებენ.





## შემაჯავებელი სავარჯიშოები

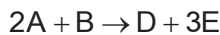
1. მოცემულია რეაქციის ზოგადი ტოლობა:



- ა) როგორ შეიცვლება მოცემული რეაქციის სიჩქარე, თუ სისტემაში წნევა გაიზრდება 3-ჯერ?  
 ბ) კიდეც რომელი ქმედებით არის შესაძლებელი მოცემული რეაქციის სიჩქარის გაზრდა?
2. დაწერეთ რეაქციის ზოგადი ტოლობა, რომელსაც შეესაბამება მოქმედ მასათა კანონის შემდეგი გამოსახულება:

$$v = k \cdot C_{(A)}^2 \cdot C_{(B)}$$

3. მოცემულია რეაქციის ზოგადი ტოლობა:



ამ რეაქციის ტოლობის მიხედვით შეავსეთ ქვემოთ მოცემული ცხრილი და გამოთვალეთ:

- ა) ქიმიური რეაქციის სიჩქარე A ნივთიერების ხარჯვის მიხედვით;  
 ბ) ქიმიური რეაქციის სიჩქარე B ნივთიერების ხარჯვის მიხედვით.

კონცენტრაცია (მოლი/ლ)	A	B	D	E
საწყისი ( $C_1$ )				
ცვლილება ( $\Delta C$ )				
4 წუთის შემდეგ ( $C_2$ )	4	7	5	

4. მოცემულია რეაქციის ზოგადი ტოლობა:



ამ რეაქციის ტოლობის მიხედვით შეავსეთ ქვემოთ მოცემული ცხრილი და გამოთვალეთ:

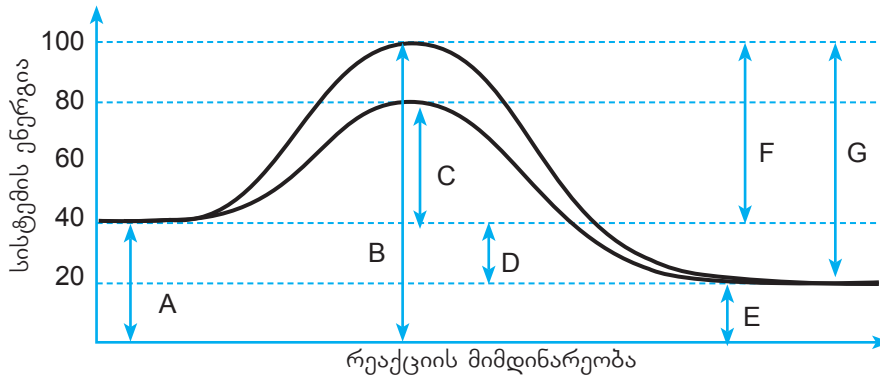
- ა) ქიმიური რეაქციის სიჩქარე A ნივთიერების ხარჯვის მიხედვით;  
 ბ) ქიმიური რეაქციის სიჩქარე B ნივთიერების ხარჯვის მიხედვით.

კონცენტრაცია (მოლი/ლ)	A	B	D
საწყისი ( $C_1$ )	15		
ცვლილება ( $\Delta C$ )			6
8 წუთის შემდეგ ( $C_2$ )		4	

5. რამდენჯერ გაიზრდება ქიმიური რეაქციის სიჩქარე, თუ ტემპერატურას  $0^\circ\text{C}$ -დან  $50^\circ\text{C}$  -მდე გავზრდით, ხოლო სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტი 3-ის ტოლია?  
 6. როგორ უნდა შეიცვალოს ტემპერატურა, რომ რეაქცია დაჩქარდეს 64-ჯერ, თუ რეაქციის ტემპერატურული კოეფიციენტი არის 4?

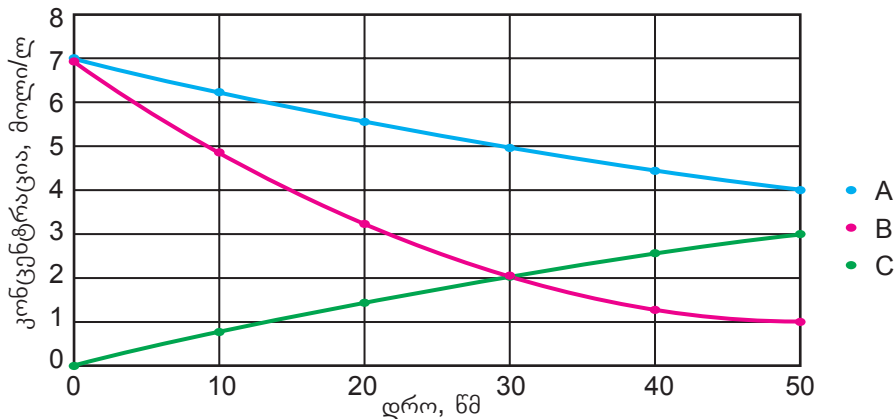
## თავი 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე და მასზე მოქმედი ფაქტორები

7. გამოთვალეთ ქიმიური რეაქციის ტემპერატურული კოეფიციენტი, თუ ტემპერატურის  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ -დან  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ -მდე გაზრდა რეაქციას 8-ჯერ აჩქარებს.
8. რა ტემპერატურაზე მიმდინარეობდა რეაქცია, თუ მისი  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ -მდე გაცხელება რეაქციის სიჩქარეს 81-ჯერ ზრდის, ხოლო ტემპერატურული კოეფიციენტი 3-ის ტოლია?
9. გამოიყენეთ ქვემოთ მოცემული დიაგრამა და უპასუხეთ კითხვებს:



მოცემულ ნახაზზე რომელი აღნიშვნა შეესაბამება:

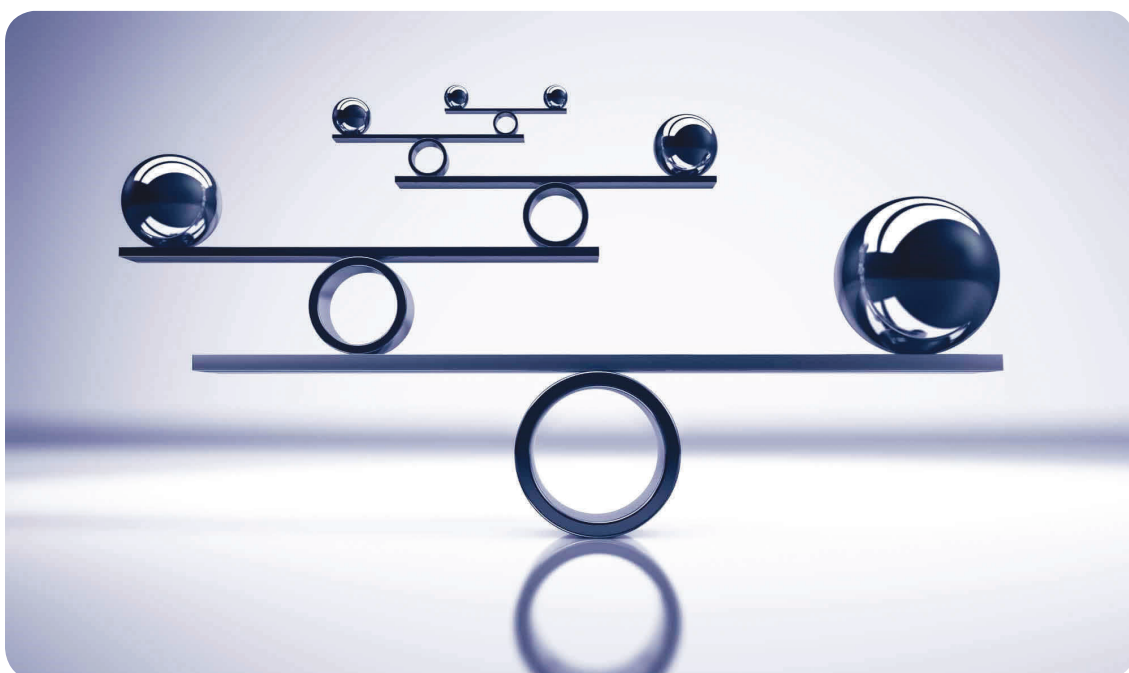
- ა) მორეაგირე ნივთიერებების პოტენციური ენერჯიების ჯამს?
  - ბ) რეაქციის პროდუქტების პოტენციური ენერჯიების ჯამს?
  - გ) რეაქციის აქტივაციის ენერჯიას?
  - დ) რეაქციის სითბურ ეფექტს?
  - ე) კატალიზატორით მიმდინარე რეაქციის აქტივაციის ენერჯიას?
  - ვ) უკატალიზატოროდ მიმდინარე საპირისპირო რეაქციის აქტივაციის ენერჯიას?
10. მოცემულია რეაგენტებისა და პროდუქტების კონცენტრაციის დროზე დამოკიდებულება:



გრაფიკის მიხედვით უპასუხეთ შემდეგ კითხვებს:

- ა) დაადგინეთ A ნივთიერების ხარჯვის სიჩქარე რეაქციის დაწყებიდან 30 წმ-ში.
- ბ) დაადგინეთ C ნივთიერების წარმოქმნის სიჩქარე რეაქციის დაწყებიდან 50 წმ-ში.
- გ) შეადარეთ ერთმანეთს A და B ნივთიერების კონცენტრაციის ცვლილება 50 წმ-ში.
- დ) რამდენჯერ აღემატება A ნივთიერების ხარჯვის სიჩქარე B ნივთიერების ხარჯვის სიჩქარეს 30 წმ-ში?
- ე) შეადარეთ ერთმანეთს B და C ნივთიერების კონცენტრაციის ცვლილება და სიჩქარე 30 წმ-ში.

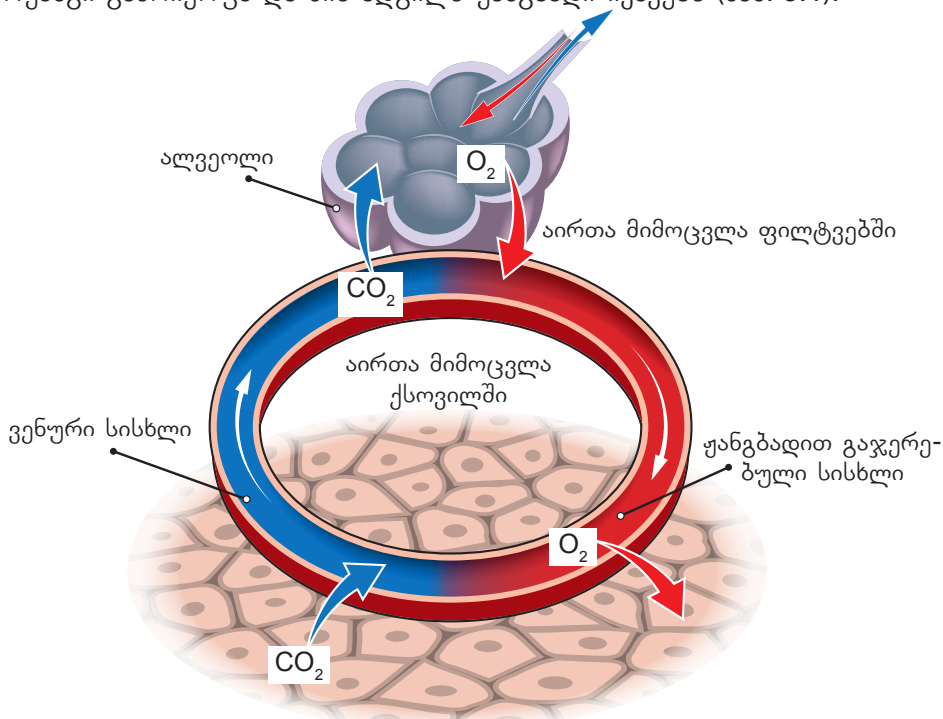
# თავი 3. ქიმიური წონასწორობა



3.1

დინამიკური წონასწორობა

ჩვენი სიცოცხლე დამოკიდებულია ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს შექცევაზე – სისხლსა და ქსოვილებს შორის აირთა (ჟანგბადი და ნახშირორჟანგი) მიმოცვლაზე. სისხლის ნითელ უჯრედებში არსებული ცილა ჰემოგლობინი იერთებს ჟანგბადს მაშინ, როცა ეს უჯრედები ფილტვის სისხლძარღვებშია და გადააქვს ორგანიზმის სხვა ქსოვილებში, სადაც ჟანგბადი თავისუფლდება, მის ნაცვლად კი ჰემოგლობინს ნახშირორჟანგის მოლეკულები უკავშირდება. ფილტვში საპირისპირო პროცესი მიმდინარეობს – ნახშირორჟანგი გამოიყოფა და მის ადგილს ჟანგბადი იკავებს (ნახ. 3.1).



ნახ. 3.1. ჟანგბადისა და ნახშირორჟანგის მიმოცვლა.

კიდევ ერთი შექცევადი პროცესის მაგალითია კრისტალჰიდრატის დაშლა. განვლილი მასალიდან გავიხსენოთ, რომ კრისტალჰიდრატი არის მყარი ნივთიერება, რომელიც შეიცავს წყლის მოლეკულების განსაზღვრულ რაოდენობას. კრისტალჰიდრატის შედგენილობაში შემავალ წყალს კრისტალიზაციური წყალი ეწოდება.

ლურჯი ფერის სპილენძ(II)-ის სულფატის კრისტალჰიდრატის გახურებისას, მას სცილდება კრისტალიზაციური წყალი, უწყლო მარილი კი იღებს ღია ნაცრისფერ შეფერილობას (ნახ. 3.2).



ნახ. 3.2. სპილენძ(II)-ის სულფატის კრისტალჰიდრატის დაშლა.

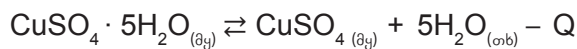
### თავი 3. ქიმიური წონასწორობა

მიღებულ მასაზე წყლის რამდენიმე წვეთის დამატებით კი მიმდინარეობს საპირისპირო რეაქცია, ანუ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ პროცესი შექცევადია (ნახ. 3.3).

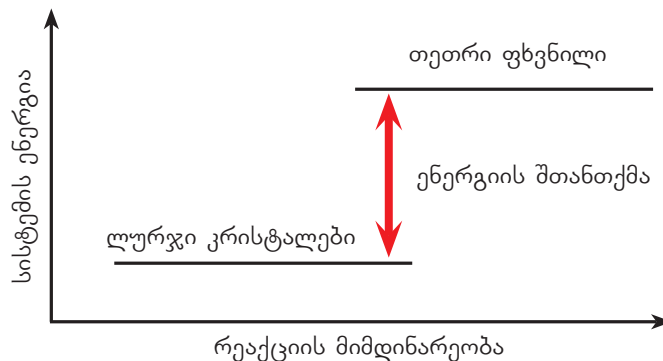


ნახ. 3.3. უწყლო სპილენძ(II)-ის სულფატზე წყლის დამატებით ისევ შაბიამანი წარმოიქმნება.

გავიხსენოთ, რომ ასეთი ტიპის რეაქციების ტოლობის გამოსახვისათვის იყენებენ შექცევადობის სიმბოლოს, ორმაგ ურთიერთსაპირისპირო ისრებს  $\rightleftharpoons$ . ამრიგად, ზემოთ განხილული პროცესის ამსახველი ქიმიური ტოლობა მიიღებს ასეთ სახეს:



კრისტალჰიდრატის დაშლას პირდაპირი რეაქცია ეწოდება, ხოლო წარმოქმნას – საპირისპირო. ენერგიის თავლსაზრისით, აღნიშნულ რეაქციაში პირდაპირი რეაქცია ენდოთერმულია, ხოლო შებრუნებული – ეგზოთერმული. ენერგეტიკული დიაგრამა შემდეგნაირად გამოისახება (ნახ. 3.4):



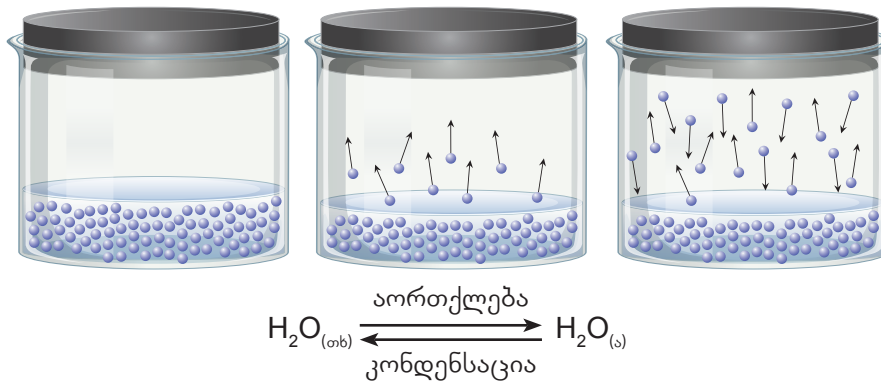
ნახ. 3.4. სპილენძ(II)-ის სულფატის კრისტალჰიდრატის დაშლის ენერგეტიკული დიაგრამა.

შექცევად რეაქციებში ყოველთვის ერთი მიმართულება ეგზოთერმულია, ხოლო საპირისპირო – ენდოთერმული. ენდოთერმული რეაქციის დროს შთანთქმული სითბოს რაოდენობა ყოველთვის ეგზოთერმული რეაქციის დროს გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ტოლია. მოცემული მაგალითის მიხედვით, კრისტალჰიდრატის დაშლისას წყდება ის ბმები, რომლებიც წარმოიქმნება საპირისპირო პროცესში, შესაბამისად, ამ ორ პროცესს ესაჭიროება ერთნაირი რაოდენობის ენერგია.

როგორც ჩვენთვის ცნობილია, აორთქლება ბუნებრივი პროცესია. წვიმის დროს წყლის გუბეები ჩნდება, რომელიც შემდეგ ორთქლდება. ასევე, სამედიცინო სპირტი ადვილად ორთქლდება ხელის გულიდან. ამ შემთხვევებში სითხე ორთქლდება ღია სისტემებიდან – ის მთლიანად „ქრება“. მაგრამ რა მოხდება, თუ წყალს დახურულ ჭურჭელში მოვათავსებთ? წყლის ორთქლი მოგროვდება სითხის ზედაპირზე და მისი კონცენტრაცია

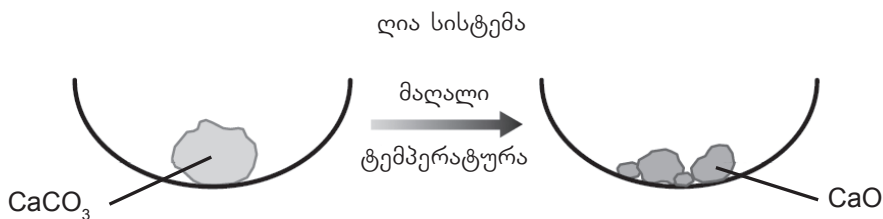
### თავი 3. ქიმიური წონასწორობა

ციის ზრდასთან ერთად დაიწყება საპირისპირო პროცესი – კონდენსაცია. გარკვეული დროის შემდეგ დამყარდება წონასწორობა, რაც იმას ნიშნავს, რომ აორთქლების სიჩქარე გაუთანაბრდება კონდენსაციის სიჩქარეს; ხოლო ორთქლისა და წყლის კონცენტრაციები აღარ შეიცვლება (ნახ. 3.5). ფიზიკური მოვლენის დროს დამყარებულ წონასწორობას **ფიზიკური წონასწორობა** ეწოდება.



ნახ. 3.5. ფიზიკური წონასწორობა წყლის აორთქლებასა და კონდენსაციას შორის.

რა მოხდება, თუ კალციუმის კარბონატს ღია და დახურულ ჭურჭელში გავახურებთ? ღია ჭურჭელში კალციუმის კარბონატის გახურებისას გარკვეული დროის შემდეგ ის სრულად დაიშლება კალციუმის ოქსიდად და ნახშირორჟანგი (IV)-ის ოქსიდად. ნახშირორჟანგი სცილდება სარეაქციო არეს, ამიტომ პროცესი მიმდინარეობს მხოლოდ ერთი მიმართულებით, ე. ი. რეაქცია შეუქცევადია (ნახ. 3.6)

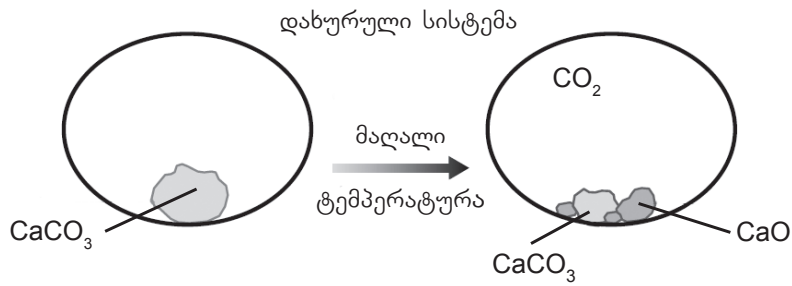


ნახ. 3.6. კალციუმის კარბონატის დაშლა ღია სისტემაში.

იმავე ექსპერიმენტს თუ სპეციალურ ჰერმეტიკულად დახურულ ჭურჭელში ჩავატარებთ, აღმოვაჩინებთ, რომ იმავე დროის გასვლის შემდეგ ჭურჭელში ერთდროულად იქნება კალციუმის კარბონატი, კალციუმის ოქსიდი და ნახშირორჟანგი. თუ რეაქციას იმავე პირობებში გავაგრძელებთ, ჭურჭელში მათი რაოდენობები არ შეიცვლება. ამ დროს ვამბობთ, რომ სისტემა წონასწორულ მდგომარეობაშია. რჩება შთაბეჭდილება, რომ პროცესი შეჩერდა, თუმცა ის კი არ შეჩერებულა, არამედ თანაბარი სიჩქარით მიმდინარეობს ორივე მიმართულებით. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, კალციუმის კარბონატი იშლება და წარმოქმნის კალციუმის ოქსიდსა და ნახშირორჟანგს ზუსტად იმავე სიჩქარით, როგორც კალციუმის ოქსიდი და ნახშირორჟანგი უერთდება ერთმანეთს კალციუმის კარბონატის წარმოქმნით (ნახ. 3.7). ამ ტიპის წონასწორობას **დინამიკური წონასწორობა** ეწოდება. ქიმიაში ყველა წონასწორობა დინამიკურია (მოდრავია).



### თავი 3. ქიმიური წონასწორობა

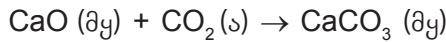


ნახ. 3.7. კალციუმის კარბონატის დაშლა დახურულ სისტემაში.

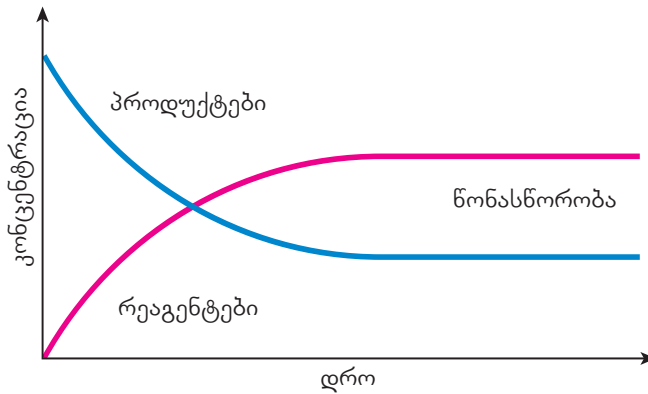
ამ პროცესში პირდაპირი რეაქცია გამოისახება შემდეგნაირად:



ხოლო საპირისპირო:

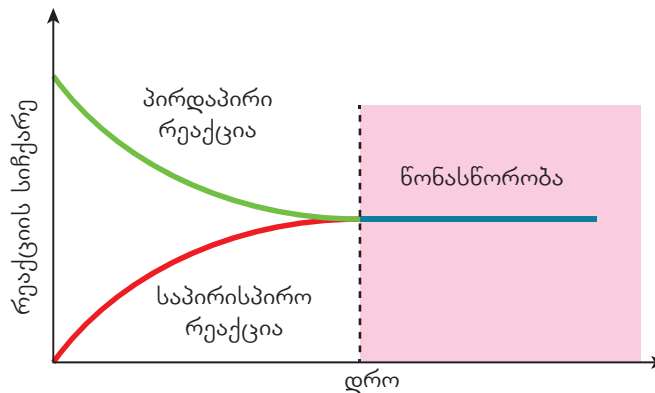


მაშასადამე, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ქიმიური რეაქციის დროს რეაგენტების კონცენტრაცია მცირდება, ხოლო პროდუქტების კონცენტრაცია იზრდება მანამ, სანამ სისტემა წონასწორულ მდგომარეობას მიაღწევს; წონასწორულ მდგომარეობაში კი მათი კონცენტრაციები **უცვლელია!** ეს გრაფიკულად ასე გამოისახება (ნახ. 3.8):



ნახ. 3.8. ნივთიერებათა კონცენტრაციების ცვლილება დროში.

ხოლო რეაქციის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკს შემდეგი სახე აქვს (ნახ. 3.9):



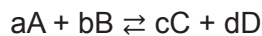
ნახ. 3.9. რეაქციის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულება.

### თავი 3. ქიმიური წონასწორობა

წონასწორული მდგომარეობის თვისება	განმარტება
წონასწორობა დინამიკურია.	რეაქცია არ სრულდება, მიმდინარეობს თანაბარი სიჩქარით და მუდმივად ორივე მიმართულებით.
წონასწორობა მყარდება დახურულ სისტემაში.	დახურულ სისტემაში ნივთიერება არ მიმოიცვლება სარეაქციო სისტემასა და გარემოს შორის, ამდენად, წონასწორობა დამყარდება როდესაც რეაგენტებისა და პროდუქტების კონცენტრაცია გახდება უცვლელი.
რეაგენტებისა და პროდუქტების კონცენტრაცია უცვლელია წონასწორულ მდგომარეობაში.	ისინი წარმოიქმნება და იშლება ერთი და იმავე სიჩქარით.
წონასწორობის მიღწევა შეიძლება ნებისმიერი მიმართულებიდან.	თუ ერთსა და იმავე სარეაქციო ნარევს ავიღებთ ერთნაირ პირობებში, არ აქვს მნიშვნელობა, რეაქციას დაიწყებთ რეაგენტებით თუ პროდუქტებით, წონასწორობა დამყარდება ორივე შემთხვევაში.
წონასწორულ მდგომარეობაში არ იცვლება მაკროსკოპული თვისებები.	მაკროსკოპული (ანუ თვალისათვის ხილული) ცვლილებები, როგორცაა ფერი, აგრეთვე მდგომარეობა, წონასწორობის დამყარების შემდეგ არ იცვლება, რადგან ისინი დამოკიდებულია სარეაქციო კომპონენტების კონცენტრაციაზე, რომელიც უცვლელია წონასწორობის მომენტში.

წონასწორობის რაოდენობრივი დახასიათებისათვის ხშირად იყენებენ წონასწორობის მუდმივას, ის გვაძლევს ინფორმაციას რეაქციის მიმდინარეობის შესახებ. როგორ შეიძლება გამოვთვალოთ წონასწორობის მუდმივა?

წონასწორობის მუდმივა წარმოადგენს პროდუქტების მოლური კონცენტრაციების ნამრავლის ფარდობას რეაგენტების მოლური კონცენტრაციის ნამრავლთან სტექიომეტრიის გათვალისწინებით. ის მუდმივა მოცემულ ტემპერატურაზე და გამოისახება -  $K_{\text{წ}}$  სიმბოლოთი, სადაც ინდექსი „წ“ მიუთითებს წონასწორულ კონცენტრაციაზე. მაგალითად, რეაქციისთვის:



წონასწორობის მუდმივა იქნება:

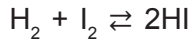
$$K_{\text{წ}} = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

სადაც  $[C]$  და  $[D]$  პროდუქტების, ხოლო  $[A]$  და  $[B]$  რეაგენტების მოლური კონცენტრაციებია (კვადრატული ფრჩხილები მიუთითებს, რომ საუბარია ნივთიერების კონცენტრაციაზე წონასწორულ მდგომარეობაში)  $a$ ,  $b$ ,  $c$  და  $d$  კი – კოეფიციენტები.

წონასწორობის მუდმივას გამოსახულებაში იწერება მხოლოდ აირადი და წყალში გახსნილი ნივთიერებების წონასწორული კონცენტრაციები. განვიხილოთ რეაქცია წყალ-

### თავი 3. ქიმიური წონასწორობა

ბადსა და იოდს შორის, რომლის დროსაც მიიღება იოდწყალბადი.

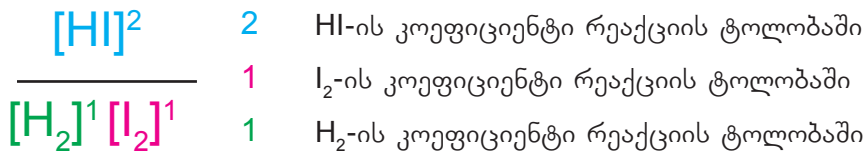


რეაქცია ჩაატარეს რამდენჯერმე ერთსა და იმავე ტემპერატურაზე და თითოეულ შემთხვევაში აიღეს მონაწილე ნივთიერებების სხვადასხვა კონცენტრაცია, წონასწორობის დამყარების შემდეგ კი განსაზღვრეს მორეაგირე ნივთიერებათა წონასწორული კონცენტრაციები (ცხრილი 3.1)

ცხრილი 3.1. ექსპერიმენტის შედეგები.

ექსპერიმენტი N	[H <sub>2</sub> ], მოლი/ლ	[I <sub>2</sub> ], მოლი/ლ	[HI], მოლი/ლ	K <sub>წ</sub>
1	4.56	0.74	13.49	54
2	3.56	1.25	15.50	54
3	2.25	2.34	16.86	54

გამოთვალეს წონასწორობის მუდმივა თითოეული ექსპერიმენტისთვის შემდეგი ფორმულის მიხედვით.



პირველი ექსპერიმენტისთვის:

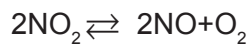
$$K_{\text{წ}} = \frac{13.49^2}{4.56 \cdot 0.74} \approx 54$$

ანალოგიურად გამოთვალეს წონასწორობის მუდმივა დანარჩენი ექსპერიმენტებისთვისაც და მიიღეს იგივე სიდიდე, რაც კიდევ ერთხელ ადასტურებს, რომ მოცემულ ტემპერატურაზე ის მუდმივი სიდიდეა.



#### კითხვები და დავალებები:

1. მოცემულია რეაქციის ტოლობა:



შეადგინეთ წონასწორობის მუდმივას გამოსახულება და გამოთვალეთ მისი მნიშვნელობა, თუ ნივთიერებათა წონასწორული კონცენტრაციებია: [NO<sub>2</sub>]= 0.06 მოლი/ლ, [NO]=0.24 მოლი/ლ, [O<sub>2</sub>]=0.12 მოლი/ლ?

2. იოდსა და წყალბადს შორის მიმდინარე რეაქციის წონასწორობის მუდმივა 427°C-ზე არის K<sub>წ</sub>=54. დაადგინეთ იოდწყალბადის წონასწორული კონცენტრაცია, თუ იოდისა და წყალბადის წონასწორული კონცენტრაციებია: [H<sub>2</sub>]=0.4 მოლი/ლ, [I<sub>2</sub>]=0.5 მოლი/ლ.

3. 3.4 ნახაზის მიხედვით ააგეთ კრისტალჰიდრატის წარმოქმნის ენერგეტიკული დიაგრამა.

3.2

წონასწორობაზე მოქმედი ფაქტორები

ყოველდღიურ ცხოვრებაზე დაკვირვების შედეგად ვიცით, რომ საადრეო ხილის ფასი, იმის გამო, რომ მოთხოვნა აჭარბებს მიწოდებას, მაღალია. გარკვეულ პერიოდში, როდესაც მიწოდება იზრდება, ფასები იკლებს და სტაბილურდება. თუ მოსავალი მეტია, მიწოდება აჭარბებს მოთხოვნას და ფასებიც მცირდება. ეს ეხება თითქმის ყველა სახის პროდუქციას, რომლის მიწოდებაც მოთხოვნის შესაბამისია. ე. ი. ამ შემთხვევაში საქმე გვაქვს მოთხოვნა-მიწოდების ბუნებრივ რეგულაციასთან. ამ ფაქტორების დაბალანსების შედეგად ვიღებთ ფასების სტაბილურობას, ე. ი. პროცესი წონასწორულ მდგომარეობაში გადადის.

რა ფაქტორებმა შეიძლება გამოიწვიოს ფასების სტაბილიზაციის დარღვევა? ეს ფაქტორები შეიძლება იყოს ბუნებრივი ან ხელოვნური.

ბუნებრივ ფაქტორებს მიეკუთვნება ცუდი მოსავლიანობა, ბუნებრივი კატაკლიზმები (ცუნამისა და ფუქუშიმას ატომურ ელექტროსადგურზე ავარიის შედეგად იაპონიაში შეიქმნა ზოგიერთი პროდუქციის დეფიციტი, რომელზეც მოთხოვნა ან გაიზარდა, ან კიდევ წარმოებული პროდუქციის ნაწილი გამოსაყენებლად უვარგისი გახდა, რამაც მოთხოვნის შესაბამისი ფასების დროებითი ზრდა გამოიწვია), საომარი მდგომარეობა, აგრეთვე სხვა, ე.წ. ფორს-მაჟორული (გაუთვალისწინებელი) სიტუაცია. ამ პროდუქციის მიწოდების გაზრდითა და მაღალი მოთხოვნის შემცირებით, გარკვეული დროის შემდეგ, კვლავ მიიღწევა წონასწორული (სტაბილური) მდგომარეობის აღდგენა.

აღბათ ფიქრობთ, თუ რისთვის დაგვჭირდა თქვენთან ამ ეკონომიკურ საკითხებზე მსჯელობა. საქმე ისაა, რომ წონასწორული ქიმიური პროცესებიც ანალოგიურ კრიტიკიუმებს ექვემდებარება – სხვადასხვა ფაქტორის ზეგავლენით შესაძლებელია წონასწორული ქიმიური რეაქციაც ასევე გამოვიყვანოთ წონასწორული მდგომარეობიდან, ჩვენთვის სასურველი საბოლოო შედეგის მისაღწევად.

1888 წელს ქიმიკოსმა ა. ლ. ლე შატელიემ (ნახ. 3.10) აღმოაჩინა, რომ არსებობს გზები, რომლებითაც შეიძლება წონასწორობის კონტროლი მეტი პროდუქტის მიღების მიზნით. ამ გზების ძიებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს მრეწველობაში პროდუქტის მაღალი გამოსავლიანობით მისაღებად.

**ლე შატელიეს პრინციპი** შემდეგში მდგომარეობს: თუ წონასწორობაში მყოფ ქიმიურ რეაქციაში შევცვლით რაიმე ფაქტორს, წონასწორობა გადაიხრება იმ რეაქციის გაძლიერების მხარეს, რომელიც ამ ფაქტორის შეცვლას ეწინააღმდეგება, ანუ:

როდესაც რაიმე გარე ფაქტორის მოქმედებით ირღვევა წონასწორობა, სისტემა მოქმედებს ცვლილების წინააღმდეგ და მყარდება ახალი წონასწორობა.

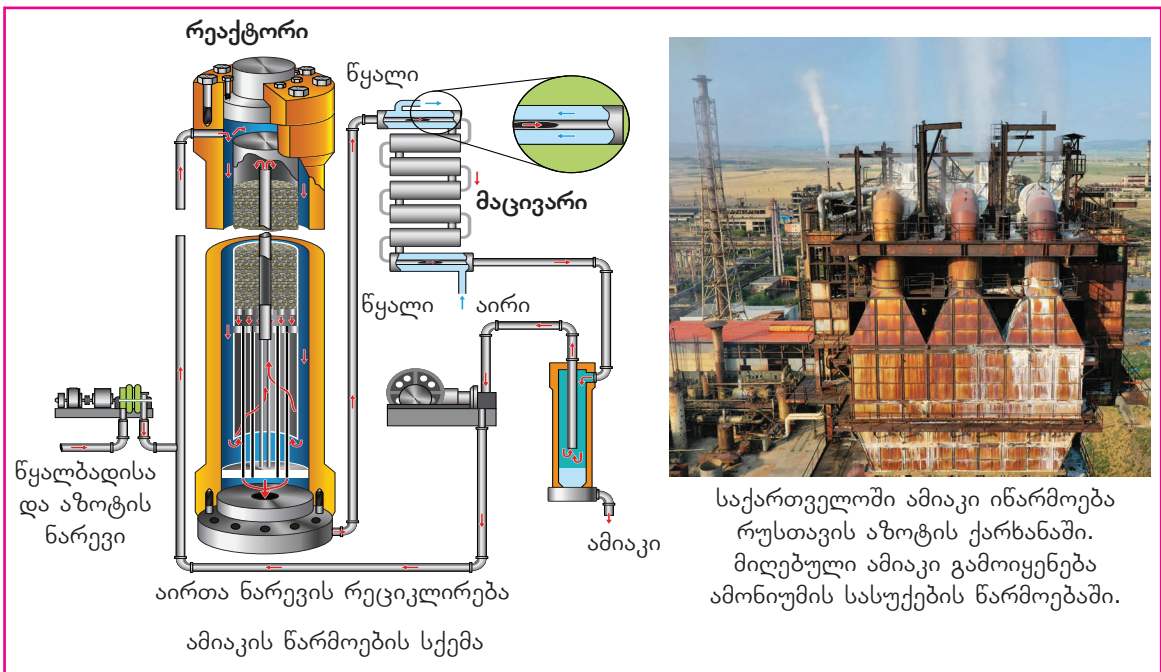
ლე შატელიეს პრინციპის გათვალისწინებით შესაძლებელია პროცესების მართვა სასურველი მიმართულებით.

განვიხილოთ მრეწველობაში ამიაკის სინთეზის მაგალითი. მისი ეკონომიკური მნიშვნელობის გამო ეს პროცესი დეტალურად იქნა შესწავლილი და ცნობილია ჰაბერის პროცესის სახელწოდებით (ნახ. 3.11).



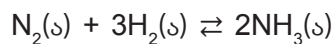
ნახ. 3.10. ანრი-ლუი ლე შატელიე (Henry Louis Le Chatelier)

### თავი 3. ქიმიური წონასწორობა



ნახ. 3.11. ამიაკის სამრეწველო მიღება.

ამიაკის სინთეზის რეაქცია შექცევადია:



პირდაპირი რეაქცია ეგზოთერმულია, ხოლო ენერჯის ცვლილებაა 92 კჯ/მოლი. ვნახოთ, თუ რა გავლენას ახდენს სხვადასხვა ფაქტორი ამიაკის გამოსავლიანობაზე.

#### 3.2.1. კონცენტრაციის გავლენა

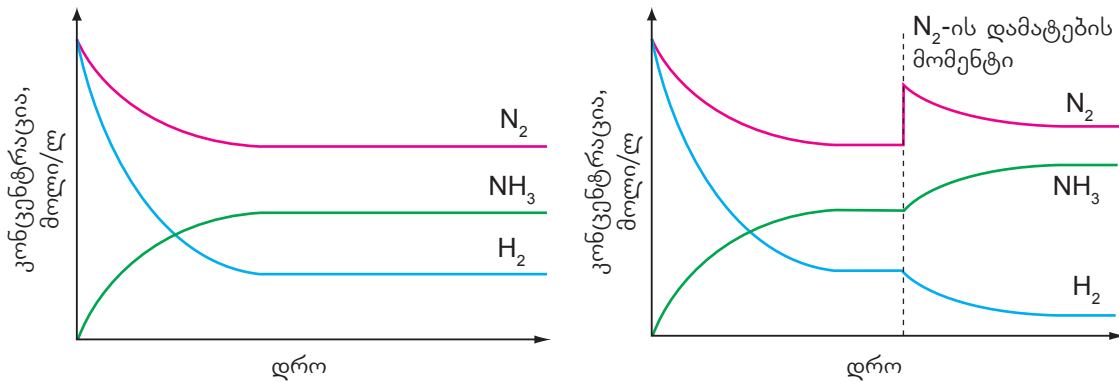
რეაქციის დაწყებისას, ბუნებრივია, რეაგენტების (აზოტისა და წყალბადის) კონცენტრაცია მაღალია და დროთა განმავლობაში მათი კონცენტრაციის შემცირებასთან ერთად თანდათან იზრდება პროდუქტის (ამიაკის) კონცენტრაცია. გარკვეული დროის შემდეგ დგება მომენტი, როდესაც მოცემულ პირობებში დროის ერთეულში რამდენი პროდუქტიც წარმოიქმნება, იმდენივე იშლება, სისტემაში ნივთიერებათა კონცენტრაცია უცვლელი რჩება და მყარდება წონასწორობა (ნახ. 3.12). ამ რეაქციისათვის წონასწორობის მუდმივა ასე გამოისახება:

$$K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \cdot [H_2]^3}$$

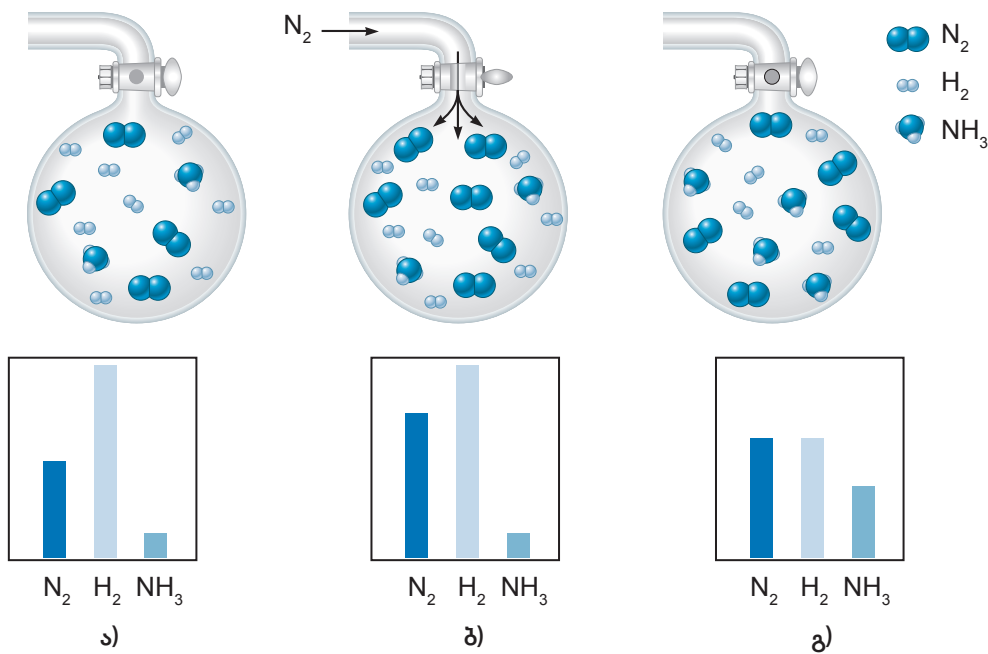
უნდა გვახსოვდეს, რომ წონასწორობის მუდმივა მოცემულ ტემპერატურაზე უცვლელი სიდიდეა.

როგორც კი სისტემაში გაიზრდება ერთ-ერთი რეაგენტის, მაგალითად, აზოტის კონცენტრაცია, სისტემაში წონასწორობა დაირღვევა. აღიძვრება საპირისპირო პროცესი, რომელიც მიმართულია აზოტის კონცენტრაციის შემცირებისკენ, რათა ისევ დამყარდეს წონასწორობა. ამისათვის უნდა წარმოიქმნას მეტი ამიაკი, შესაბამისად, აზოტი რეაქციაში შევა წყალბადთან, წარმოიქმნება ამიაკი, გარკვეული დროის შემდეგ კი რეაგენტებისა და პროდუქტის კონცენტრაცია უცვლელი დარჩება, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ ახალი წონასწორობა დამყარდა (ნახ. 3.12 და ნახ. 3.13).

### თავი 3. ქიმიური წონასწორობა



ნახ. 3.12. რეაგენტებისა და პროდუქტების კონცენტრაციის დროზე დამოკიდებულება.



ნახ. 3.13. ა) საწყისი წონასწორული ნარევი; ბ)  $N_2$  დამატების მომენტი; გ) ახალი წონასწორობის დამყარება.

მაშასადამე, რეაგენტების ან ერთ-ერთი რეაგენტის კონცენტრაციის გაზრდა, ლე შატელიეს პრინციპის თანახმად, იწვევს საწინააღმდეგო პროცესის აღძვრას, კერძოდ, რეაგენტის კონცენტრაციის შემცირებას, რაც თავისთავად გამოიწვევს პროდუქტების კონცენტრაციის გაზრდას და წონასწორობის გადახრის მარჯვნივ, პროდუქტების წარმოქმნის მხარეს. რეაგენტ(ებ)ის კონცენტრაციის შემცირებით კი აღიძვრება პროცესები, რომლებიც მათი კონცენტრაციის გაზრდას გამოიწვევს, ეს კი საპირისპირო რეაქციის მიმდინარეობით მიიღწევა, რაც იმას ნიშნავს, რომ წონასწორობა მარცხნივ, რეაგენტების მხარეს გადაიხრება.

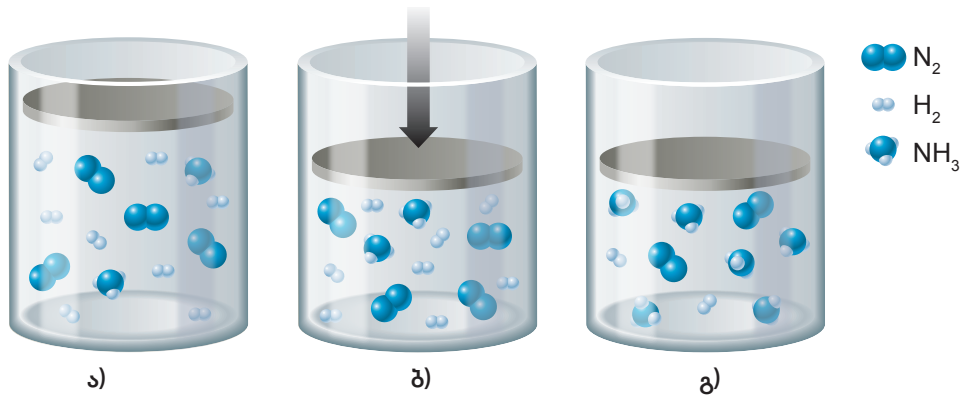
#### 3.2.2. წნევის გავლენა

ამიაკის სინთეზის რეაქციაში ჩანს, რომ რეაგენტების ყოველი 4 მოცულობიდან (1 მოც. აზოტი + 3 მოც. წყალბადი) მიიღება პროდუქტების 2 მოცულობა (2 მოც. ამიაკი). ე.ი. ეს რეაქცია წნევის შემცირებით მიმდინარეობს. ამიტომ, თუ წონასწორულ მდ-



### თავი 3. ქიმიური წონასწორობა

გომარეობაში გაზრდით სარეაქციო არის წნევას, სისტემაში გაძლიერდება ის რეაქცია, რომელიც წნევის შემცირებით მიმდინარეობს. ამ შემთხვევაში ესაა პირდაპირი რეაქცია, ამიტომ წონასწორობა მარჯვნივ – პროდუქტების წარმოქმნის მიმართულებით გადაინაცვლებს. წნევის შემცირების შემთხვევაში კი პირიქით, წონასწორობა გადაიხრება რეაგენტების მხარეს (ნახ. 3.14).



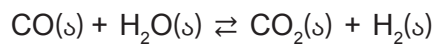
ნახ. 3.14. წნევის გაზრდით პროდუქტის მოცულობა იზრდება ე. ი. წონასწორობა გადაიხრება ამიაკის წარმოქმნის მხარეს.

საზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ წნევის ცვლილება მხოლოდ მაშინ ახდენს გავლენას წონასწორობაზე, როდესაც რეაგენტებიდან ან პროდუქტებიდან ერთ-ერთი მაინც არის აირად მდგომარეობაში. სარეაქციო სისტემაში მყარი ან თხევადი ნივთიერების არსებობის შემთხვევაში ის უგულებელყოფილია. მაგალითად, რეაქციაში:



აირადია მხოლოდ ნახშირორჟანგი, ეს იმას ნიშნავს, რომ რეაქცია მიმდინარეობს წნევის გაზრდით.

მნიშვნელოვანია იმის გათვალისწინებაც, რომ თუ წონასწორულ რეაქციაში რეაგენტებისა და პროდუქტების შემადგენელ აირად ნივთიერებათა კოეფიციენტების (ანუ მოლელების) ჯამი ტოლია, წნევა წონასწორობაზე გავლენას ვერ ახდენს. მაგალითად:



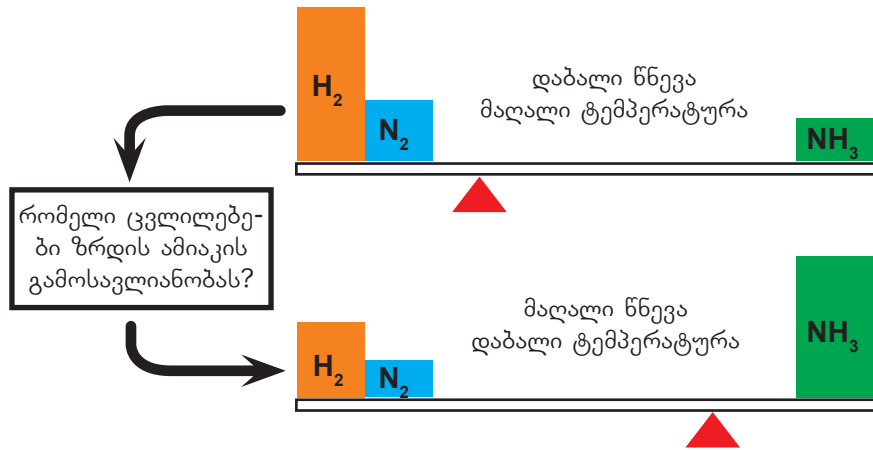
რეაქციის მარჯვენა და მარცხენა მხარეს მოცულობები ტოლია და პროცესში წნევა არ იცვლება. წნევის შეცვლა ორივე რეაქციაზე ერთნაირ გავლენას მოახდენს და, შესაბამისად, წონასწორობა არ დაირღვევა.

#### 3.2.3. ტემპერატურის გავლენა

ძირითადად, ქიმიური რეაქციების დროს სითბო ან გამოიყოფა, ან შთანთქმდება. როგორც უკვე ვიცით, თუ პირდაპირი რეაქცია ეგზოთერმულია, მაშინ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა რიცხობრივად საპირისპირო რეაქციის მიერ შთანთქმული სითბოს რაოდენობის ტოლია. ამიაკის სინთეზის რეაქცია ეგზოთერმულია, 1 მოლი ამიაკის წარმოქმნისას გამოიყოფა 46 კჯ სითბო, ტემპერატურის გაზრდა კი ხელს უწყობს სითბოს შთანთქმით მიმდინარე რეაქციას. ამ შემთხვევაში ენდოთერმულია საპირისპირო, ანუ ამიაკის დაშლის რეაქცია. ამრიგად, ამიაკის სინთეზის შემთხვევაში ტემპერატურის გაზ-

### თავი 3. ქიმიური წონასწორობა

რდით წონასწორობა რეაგენტების მხარეს გადაიხრება, ხოლო ტემპერატურის შემცირებით – პირიქით, ეგზოთერმული რეაქციის მიმართულებით გადაინაცვლებს (ნახ. 3.15).

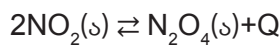


ნახ. 3.15. ამიაკის გამოსავლიანობა სხვადასხვა პირობებში.

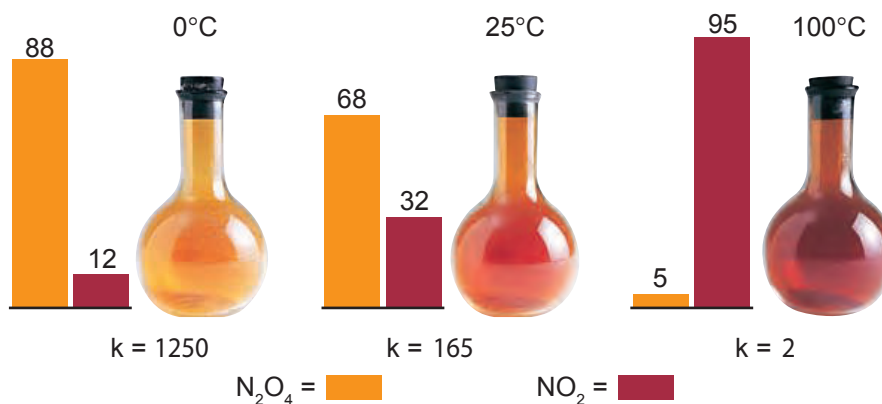
მიუხედავად ამისა, ამგვარ რეაქციებს (ამიაკის, მეთანოლის სინთეზი და სხვ.) მაინც მაღალ ტემპერატურაზე ატარებენ. მართალია, წონასწორობა ამ დროს მარცხნივ არის გადაინაცვლებული, ე.ი. პროდუქტების გამოსავალი მცირეა, სამაგიეროდ, რეაქცია მაღალი სიჩქარით მიმდინარეობს და წონასწორობა მალე მყარდება.

პროცესის განხორციელებისას პროდუქტებს სარეაქციო არეს აცილებენ, ხოლო რეაგენტებს უკან, სისტემაში აბრუნებენ. ამის მეშვეობით დროის ერთეულში მიღებული პროდუქტის რაოდენობა იზრდება, რაც პროცესს მომგებიანს ხდის.

განვიხილოთ შექცევადი რეაქციის კიდევ ერთი მაგალითი, აზოტის დიოქსიდის გარდაქმნა დიაზოტის ტეტრაოქსიდად. რეაქცია ეგზოთერმულია:



აზოტის დიოქსიდი მურა წითელი აირია, ხოლო დიაზოტის ტეტრაოქსიდი უფეროა. თუ აზოტის დიოქსიდით გავავსებთ სამ კოლბას და თავდახურულ მდგომარეობაში მოვათავსებთ 0°C, 25°C და 100°C -ზე, დავინახავთ, რომ ჭურჭლის შიგთავსი სხვადასხვა ფერს მიიღებს (ნახ. 3.16).



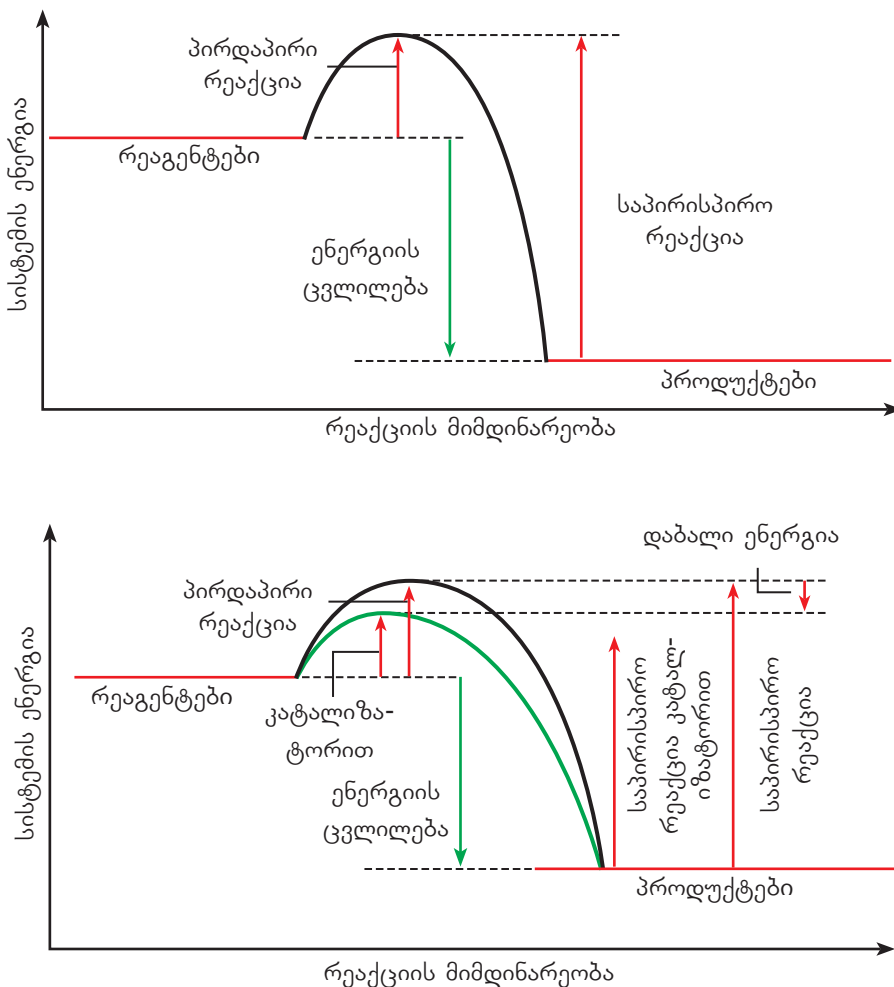
ნახ. 3.16. წონასწორობის მუდმივას დამოკიდებულება ტემპერატურაზე.

### თავი 3. ქიმიური წონასწორობა

როგორც 3.16 ნახაზიდან ჩანს, ტემპერატურის ცვლილება გავლენას ახდენს წონასწორობის მუდმივაზე. ტემპერატურის გაზრდით ეგზოთერმული რეაქციის წონასწორობის მუდმივა მცირდება, ხოლო ენდოთერმული რეაქციის წონასწორობის მუდმივა იზრდება.

როგორც აღვნიშნეთ, ეს ქიმიური პროცესი შექცევადია და პირდაპირი რეაქცია ეგზოთერმულია, შებრუნებული კი – ენდოთერმული. ლე შატელიეს პრინციპის თანახმად, მაღალ ტემპერატურაზე უპირატესად ენდოთერმული რეაქცია მიმდინარეობს, შესაბამისად, წონასწორობა გადახრილი იქნება რეაგენტის მხარეს, ე. ი. დიაზოტის ტეტრაოქსიდი დაიშლება და მუქი ფერის აზოტის დიოქსიდი წარმოიქმნება. დაბალ ტემპერატურაზე კი წონასწორობა გადაიხრება ეგზოთერმული ანუ დიაზოტის ტეტრაოქსიდის წარმოქმნის რეაქციის მხარეს და შიგთავსი ღია შეფერილობას მიიღებს.

**კატალიზატორი** წონასწორობაზე გავლენას არ ახდენს, ვინაიდან ის ერთნაირად აჩქარებს როგორც პირდაპირ, ასევე საპირისპირო რეაქციებს. თუმცა კატალიზატორი აჩქარებს წონასწორობის დამყარების პროცესს (ნახ. 3.17).



ნახ. 3.17. პოტენციური ენერჯის დიაგრამა უკატალიზატოროდ და კატალიზატორის თანხლებით. ენერჯიის ცვლილება ერთნაირია.

შევაჯამოთ, რა გავლენა აქვს თითოეული პარამეტრის ცვლილებას წონასწორობაზე (ცხრილი 3.1):

### თავი 3. ქიმიური წონასწორობა

ცხრილი. 3.1. რეაქციის პირობების ცვლილების გავლენა წონასწორობაზე.

ცვლილება	წონასწორობის გადახრა	წონასწორობის მუდმივა
რეაგენტის კონცენტრაციის გაზრდა	წონასწორობას გადახრის პროდუქტების მხარეს	უცვლელია
რეაგენტის კონცენტრაციის შემცირება	წონასწორობას გადახრის რეაგენტების მხარეს	უცვლელია
წნევის გაზრდა	წონასწორობას გადახრის აირადი ნივთიერებების რაოდენობის შემცირების მიმართულებით	უცვლელია
წნევის შემცირება	წონასწორობას გადახრის აირადი ნივთიერებების რაოდენობის გაზრდის მიმართულებით	უცვლელია
ტემპერატურის გაზრდა	წონასწორობას გადახრის ენდოთერმული რეაქციის მიმართულებით	იცვლება
ტემპერატურის შემცირება	წონასწორობას გადახრის ეგზოთერმული რეაქციის მიმართულებით	იცვლება
კატალიზატორი	არ ახდენს გავლენას წონასწორობაზე	უცვლელია

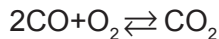


#### კითხვები და დავალებები:

1. რომელ მხარეს გადახრის წონასწორობას ტემპერატურის გაზრდა მოცემული რეაქციებისთვის? პასუხი დაასაბუთეთ.

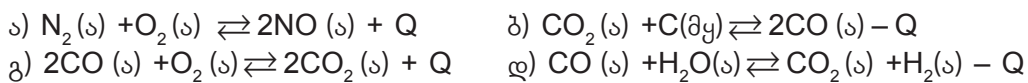


2. მოცემულია აირად ნივთიერებებს შორის მიმდინარე წონასწორული რეაქცია:



ჩამოთვალეთ, რომელი ქმედებებით არის შესაძლებელი წონასწორობის გადახრა მარჯვნივ? თითოეულ შემთხვევაში დაასაბუთეთ თქვენი პასუხი.

3. მოცემული რეაქციებიდან რომლებში გამოიწვევს წნევის გაზრდა წონასწორობის იმავე მხარეს გადაწევას, რომელ მხარესაც გადაანაცვლებს ტემპერატურის დაწევა? პასუხი დაასაბუთეთ.



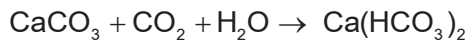


## როგორ წარმოიქმნება სტალაქტიტები და სტალაგმიტები?

ბუნებაში განსაკუთრებული სილამაზით გამოირჩევა მღვიმეები, სადაც შეხვედებით სტალაქტიტებსა (გამოქვაბულის თალიდან კონუსებურ სვეტად ჩამოგრძელებული შვერილი) და სტალაგმიტებს (კონუსისებური წამონაზარდი, რომელიც აღმართულია გამოქვაბულის ძირიდან ვერტიკალურად). მათ ხშირად ბუნების საოცრებად, ხელოვნების ნიმუშად მოიხსენიებენ. ერთ-ერთი ასეთი მსოფლიო მასშტაბით ცნობილი მღვიმეა პრომეთეს მღვიმეც (ნახ. 3.18), რომელიც იმერეთში, წყალტუბოს მუნიციპალიტეტში მდებარეობს. მისი ასაკი დაახლოებით 60 – 70 მილიონი წელია. სტალაქტიტებისა და სტალაგმიტების უმეტესობა, რომლებსაც მღვიმეში ვხვდებით, წარმოიქმნილია კალციუმის კარბონატისაგან და მათ ჩამოყალიბებას მილიონობით წელი სჭირდება.

ისინი შემდეგნაირად წარმოიქმნება:

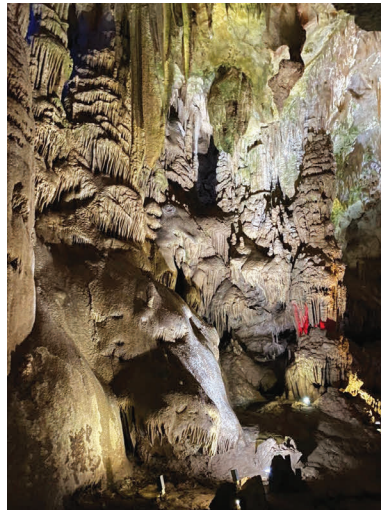
წვიმის წყალში გახსნილ ნახშირორჟანგს კარბონატულ ქანებში არსებული კალციუმის კარბონატი ხსნად ჰიდროკარბონატში გადაჰყავს:



ბუნებაში ეს რეაქცია შექცევადია. წარმოქმნილი კალციუმის ჰიდროკარბონატი მინისქვეშა წყლებში ხვდება და როდესაც ასეთი წყალი მღვიმის ჭერიდან წვეთავს, კალციუმის ჰიდროკარბონატი იშლება და ისევ წარმოიქმნება კალციუმის კარბონატი სტალაქტიტებისა და სტალაგმიტების სახით:



გარდა კარბონატისა, შესაძლებელია სხვა მინერალების მცირე რაოდენობით დალექვაც, რაც სტალაქტიტებისა და სტალაგმიტების სხვადასხვა შედგენილობასა და ფერს განაპირობებს.

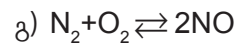
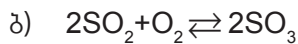
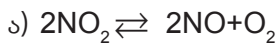


ნახ. 3.18. პრომეთეს მღვიმე.



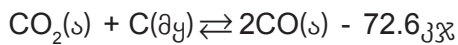
## შემაჯამებელი სავარჯიშოები

1. რომელ მხარეს გადახრის წონასწორობას წნევის გაზრდა მოცემული რეაქციებისთვის? პასუხი დაასაბუთეთ. გაითვალისწინეთ, რომ რეაქციებში მონაწილე ყველა ნივთიერება აირია.



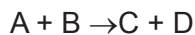
2. მოცემულია წონასწორული რეაქცია:  $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ . რა პირობებში გადაიხრება ამ რეაქციისთვის წონასწორობა მარცხნივ? პასუხი განმარტეთ.

3. რა ფაქტორების გავლენით შეიძლება მოცემული რეაქციის წონასწორობის მარჯვნივ გადახრა? პასუხი დაასაბუთეთ.



4. აზოტ(IV)-ის ოქსიდის წარმოქმნის რეაქცია გამოისახება ტოლობით:  $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ . როგორ შეიცვლება პირდაპირი და საპირისპირო რეაქციების სიჩქარეები, თუ წნევას გაზრდით ორჯერ? გამოიწვევს თუ არა ეს ცვლილება წონასწორობის გადასაცვლებას? პასუხი დაასაბუთეთ.

5. A და B ნივთიერებებს შორის მიმდინარეობს რეაქცია:

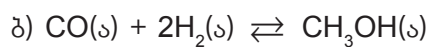
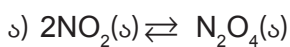


აიღეს ოთხივე ნივთიერების თითო მოლი. წონასწორობის დამყარების შემდეგ ნარევი შეიცავდა 1.5 მოლ C ნივთიერებას. გამოთვალეთ A, B და D ნივთიერებების წონასწორული კონცენტრაციები.

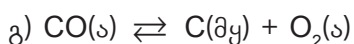
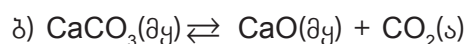
6. რეაქციაში  $\text{CO} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{COCl}_2$  სანყისი ნივთიერებები აიღეს ტოლი მოლური რაოდენობებით. წონასწორობის დამყარების მომენტში დახარჯული აღმოჩნდა რეაგენტთა ნახევარი. როგორ შეიცვლებოდა წნევა ჭურჭელში წონასწორობის დამყარების მომენტში?

7. ჟანგბადის ოზონად გარდაქმნის თერმოქიმიური განტოლებაა:  $3\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{O}_3 - 284 \text{კჯ}$ . შეადგინეთ ოზონის ჟანგბადად გარდაქმნის რეაქციის თერმოქიმიური განტოლება.

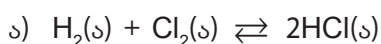
8. დაწერეთ წონასწორობის მუდმივას ტოლობა მოცემული რეაქციებისთვის:



9. გაათანაბრეთ რეაქციები და დაწერეთ შესაბამისი წონასწორობის მუდმივას ტოლობა:



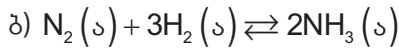
10. გამოთვალეთ წონასწორობის მუდმივა შემდეგი რეაქციებისათვის:



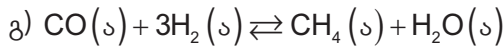


### თავი 3. ქიმიური წონასწორობა

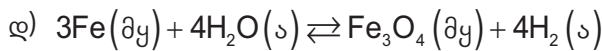
თუ ნივთიერებათა წონასწორული კონცენტრაციებია (მოლი/ლ):  $[H_2]=0.42$ ,  $[Cl_2]=0.075$ , და  $[HCl]=0.95$ .



თუ ნივთიერებათა წონასწორული კონცენტრაციებია (მოლი/ლ):  $[N_2]=0.34$ ,  $[H_2]=0.13$ , და  $[NH_3]=0.19$ .

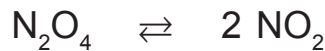


თუ ნივთიერებათა წონასწორული კონცენტრაციებია (მოლი/ლ):  $[CO]=4.0$ ,  $[H_2]=2.8$ ,  $[CH_4]=0.75$ ,  $[H_2O]=0.12$ .



თუ ნივთიერებათა წონასწორული კონცენტრაციებია (მოლი/ლ):  $[H_2O]=1.0$ ,  $[H_2]=4.5$ .

11. დიაზოტის ტეტრაოქსიდი ( $N_2O_4$ ) ადვილად გარდაიქმნება აზოტის დიოქსიდად ( $NO_2$ ). ეს რეაქცია შექცევადია:



უფერო აირი                      მურა ფერის აირი

დალუქულ შპრიცში ჩატუმბეს ამ ორი აირის ნარევი. წონასწორობის დამყარების შემდეგ ნარევმა მიიღო ღია ყავისფერი.

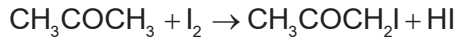


- ა) მუდმივი ტემპერატურის პირობებში თუ დგუმს დავანვებით, ფერი უცბად გამუქდება, შემდეგ კი ნელ-ნელა გალიავდება, რადგან რეაქციის წონასწორობა მარცხნივ გადაიხრება.
- ახსენით, რატომ გამუქდა ნარევი სწრაფი შეკუმშვისას.
  - ახსენით, რატომ გადაიხარა წონასწორობა მარცხნივ.
- ბ) ზემოთ აღწერილი რეაქცია ენდოთერმულია.
- როგორ შეიცვლება ნარევის შეფერილობა გაცხელებისას?
  - როგორ შეიცვლება პირდაპირი და საპირისპირო რეაქციის სიჩქარეები ამ დროს?



## თემის შემაჯამებელი დავალებები

1. მოცემულია აცეტონის იოდთან ურთიერთქმედების რეაქცია:

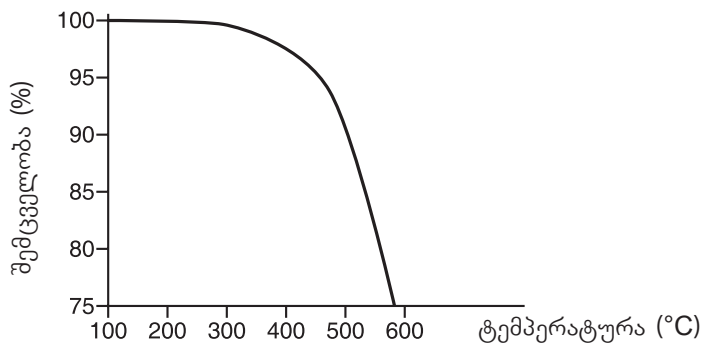


რეაქციის კატალიზატორია ქლორწყალბადმჟავა.

ცხრილში ნაჩვენებია, თუ როგორ იცვლება რეაქციის სიჩქარე აცეტონის, იოდისა და ქლორწყალბადმჟავას სხვადასხვა კონცენტრაციის შემთხვევაში:

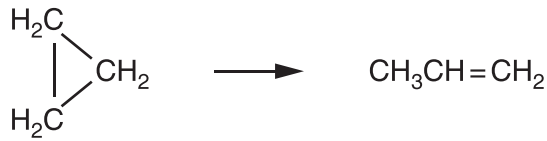
N	აცეტონის კონცენტრაცია, მოლი/ლ	იოდის კონცენტრაცია, მოლი/ლ	ქლორწყალბადმჟავას კონცენტრაცია, მოლი/ლ	რეაქციის სიჩქარე, მოლი/ლ · წთ
1	0.025	0.024	0.12	5.1
2	0.05	0.024	0.12	10.2
3	0.05	0.024	0.06	5.1
4	0.05	0.012	0.06	5.1

- 1.1. როგორ იცვლება რეაქციის სიჩქარე თითოეული ნივთიერების კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად? პასუხი დაასაბუთეთ.
- 1.2. რატომ იწვევს ტემპერატურის მატება ქიმიური რეაქციის სიჩქარის ზრდას? ახსენით დაჯახებათა თეორიის საფუძველზე.
2. გოგირდის ტრიოქსიდი მიიღება გოგირდის დიოქსიდის ჟანგბადთან ურთიერთქმედებით კატალიზატორის თანაობისას. რეაქცია ეგზოთერმულია და ტარდება დახურულ ჭურჭელში, სადაც მყარდება წონასწორობა.
  - 2.1. შეადგინეთ რეაქციის ტოლობა.
  - 2.2. მოიძიეთ ინფორმაცია და დაასახელეთ რეაქციის კატალიზატორი.
  - 2.3. რომელ მხარეს გადაიხრება წონასწორობა, თუ:
    - ა) ტემპერატურა გაიზრდება;
    - ბ) წნევა გაიზრდება;
    - გ) გოგირდის ტრიოქსიდის კონცენტრაცია შემცირდება;
    - დ) კატალიზატორის კონცენტრაცია გაიზრდება?
 თითოეულ შემთხვევაში პასუხი დაასაბუთეთ.
  - 2.4. გრაფიკზე მოცემულია გოგირდის ტრიოქსიდის პროცენტული შემცველობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე:

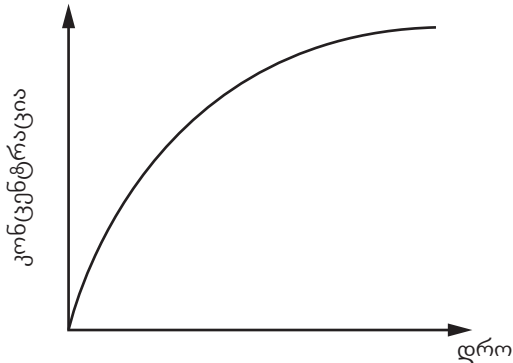


## თემა 2. ქიმიური კინეტიკა

- ა) ახსენით, როგორ და რატომ იცვლება გოგირდის ტრიოქსიდის პროცენტული შემცველობა ტემპერატურის ცვლილებასთან ერთად?
- ბ) რატომ ატარებენ რეაქციას  $450^{\circ}\text{C}$ -ზე და არა  $250^{\circ}\text{C}$ -ზე?
3. გაცხელებისას ციკლოპროპანი პროპენად გარდაიქმნება.



- 3.1. გრაფიკზე მოცემულია პროპენის კონცენტრაციის დროზე დამოკიდებულება:



გრაფიკის მიხედვით ახსენით, თუ როგორ იცვლება პროდუქტის კონცენტრაცია დროში.

- 3.2. როგორ შეიცვლება რეაქციის სიჩქარე, თუ:
- ა) გაიზრდება ციკლოპროპანის კონცენტრაცია;
- ბ) შემცირდება ტემპერატურა?
- თითოეულ შემთხვევაში პასუხი დაასაბუთეთ.
4. მაღალ ტემპერატურაზე წყალბადი ურთიერთქმედებს იოდთან იოდწყალბადის წარმოქმნით. რეაქცია შექცევადია და გარკვეული დროის შემდეგ მყარდება წონასწორობა. რეაქციის სითბური ეფექტია  $53$  კჯ/მოლი.
- 4.1. შეადგინეთ რეაქციის ტოლობა.
- 4.2. რომელ მხარეს გადაიხრება წონასწორობა, თუ:
- ა) წნევა გაიზრდება;
- ბ) ტემპერატურა შემცირდება;
- გ) იოდის კონცენტრაცია შემცირდება;
- დ) იოდწყალბადის კონცენტრაცია გაიზრდება.
- თითოეულ შემთხვევაში პასუხი დაასაბუთეთ.
5. აზოტ(V)-ის ოქსიდი გახურებისას იშლება აზოტ(IV)-ის ოქსიდისა და ჟანგბადის გამოყოფით.
- 5.1. შეადგინეთ რეაქციის ტოლობა.
- 5.2. ცხრილში მოცემულია რეაქციის სიჩქარე აზოტ(V)-ის ოქსიდის სხვადასხვა კონცენტრაციის შემთხვევაში:

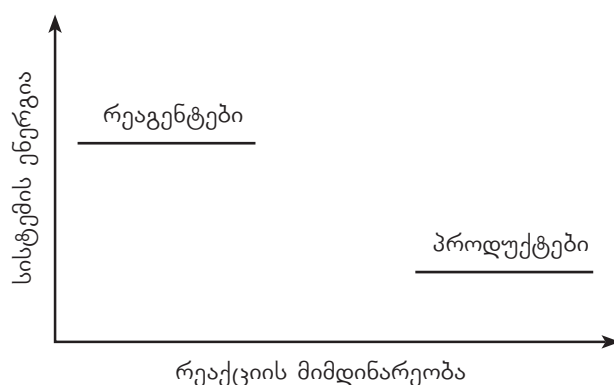
## თემა 2. ქიმიური კინეტიკა

აზოტ(V)-ის ოქსიდის კონცენტრაცია, მოლი/ლ	რეაქციის სიჩქარე, მოლი/ლ · წმ
3.2	6.39
1.6	3.15
0.8	1.63

როგორ და რატომ იცვლება რეაქციის სიჩქარე აზოტ(V)-ის ოქსიდის კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად? დაასაბუთეთ პასუხი შეჯახებათა თეორიის საფუძველზე.

5.3. როგორ შეიცვლება მოცემული რეაქციის სიჩქარე ტემპერატურის გაზრდისას?

5.4. მოცემულია რეაქციის ენერგეტიკული გრაფიკის შაბლონი.

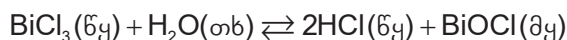


გადახაზეთ რვეულში და გრაფიკზე გამოსახეთ:

- ა) რეაქციის შესაბამისი მრუდი (კატალიზატორის გარეშე);
- ბ) რეაქციის შესაბამისი მრუდი (კატალიზატორის თანაობისას).

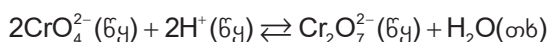
5.5. მოცემული რეაქცია ეგზოთერმულია თუ ენდოთერმული? პასუხი დაასაბუთეთ.

6. ბისმუტ(III)-ის ქლორიდის წყალთან ურთიერთქმედებისას წარმოიქმნება ნალექი:



- ა) რა ცვლილება შეინიშნება ხსნარში, თუ მას დავამატებთ რამდენიმე წვეთ კონცენტრირებულ მარილმჟავას?
- ბ) ექნება თუ არა ამ რეაქციის წონასწორობაზე გავლენა წნევის ცვლილებას? პასუხი დაასაბუთეთ.

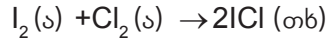
7.  $\text{CrO}_4^{2-}$  იონის შემცველ ყვითელი ფერის წყალხსნარში განზავებული მჟავას დამატებისას წარმოიქმნება  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  იონი, რომელიც წყალხსნარს წარინჯვისფერ შეფერილობას ანიჭებს:



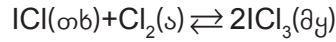
- ა) რა ცვლილება შეინიშნება ხსნარში, თუ მას დავამატებთ რამდენიმე წვეთ ტუტის კონცენტრირებულ ხსნარს?

## თემა 2. ქიმიური კინეტიკა

- ბ) ექნება თუ არა ამ რეაქციის წონასწორობაზე გავლენა წნევის ცვლილებას? პასუხი დაასაბუთეთ.
8. იოდი ქლორთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნის მუქ ყავისფერ იოდის მონოქლორიდს:



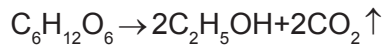
იოდის მონოქლორიდი კვლავ ურთიერთქმედებს ქლორთან ყვითელი ფერის იოდის ტრიქლორიდის წარმოქმნით, რა დროსაც მყარდება წონასწორობა:



- ა) წონასწორული წარევის გაცხელებისას შეინიშნება ხსნარის გაყავისფრება. რეაქცია ენდოთერმულია თუ ეგზოთერმული? პასუხი დაასაბუთეთ.
- ბ) ექნება თუ არა ამ რეაქციის წონასწორობაზე გავლენა წნევის შემცირებას? პასუხი დაასაბუთეთ.
- გ) ქვემოთ მოცემული ცხრილის მიხედვით გამოთვალეთ ენერგიის ცვლილება აღნიშნულ რეაქციაში:

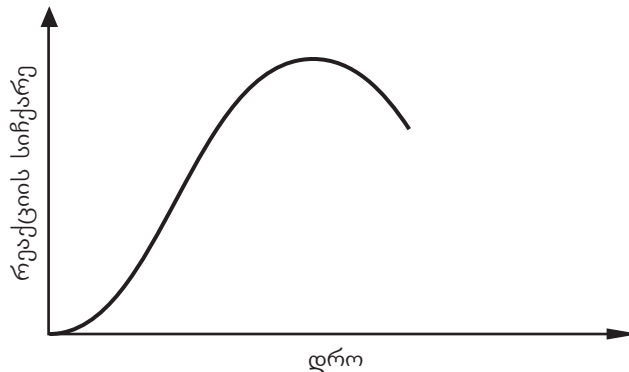
ბმა	ბმის ენერგია, კჯ/მოლი
I-I	151
Cl-Cl	248
I-Cl	208

9. ეთანოლი წარმოიქმნება გლუკოზის ფერმენტაციის შედეგად:



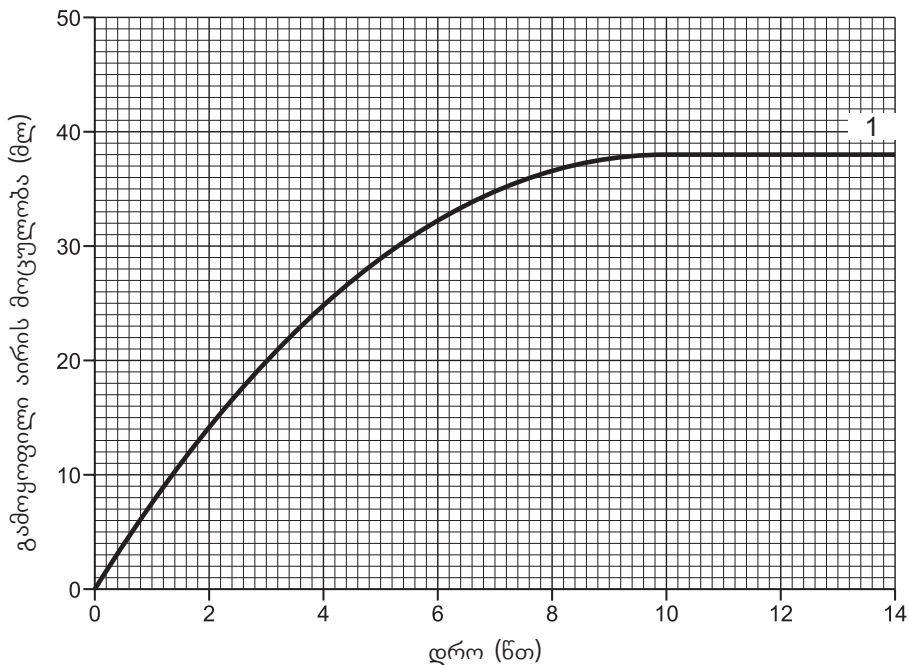
რეაქცია ეგზოთერმულია.

მოცემულია რეაქციის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულის გრაფიკი რამდენიმე დღის განმავლობაში:

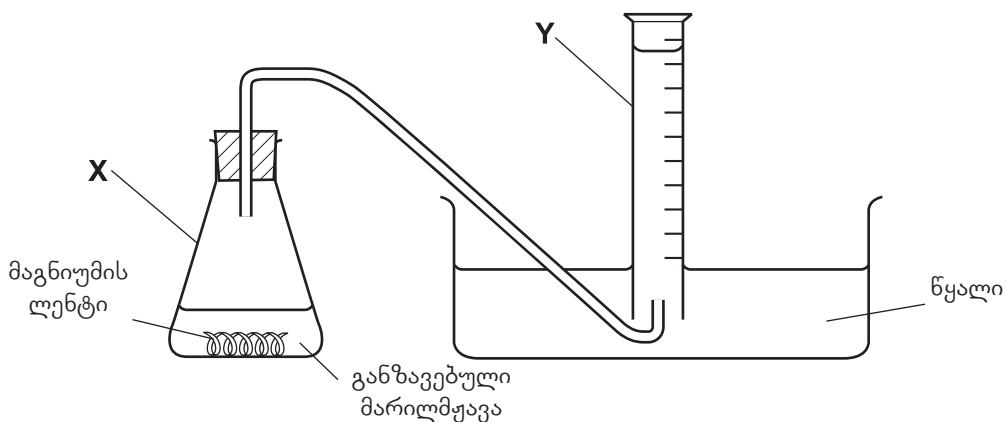


- ა) რატომ იზრდება რეაქციის სიჩქარე პროცესის დაწყებისას?
- ბ) რატომ იკლებს რეაქციის სიჩქარე საბოლოო ჯამში?
10. მოსწავლემ კალციუმის კარბონატის ნატეხებს დაუმატა მარილმჟავა ოთახის ტემპერატურაზე (20°C).  
მოცემულია რეაქციის დროს გამოყოფილი აირის მოცულობის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი (1):

## თემა 2. ქიმიური კინეტიკა



- ა) შეადგინეთ ქიმიური რეაქციის ტოლობა.
- ბ) რატომ არ იცვლება გამოყოფილი აირის მოცულობა 10 წუთის შემდეგ?
- გ) რეაქციის დაწყებიდან რა დროში შეგროვდა 20 მლ აირი?
- დ) მოსწავლემ გაიმეორა ექსპერიმენტი  $30^{\circ}\text{C}$ -ზე, სხვა ყველა პირობა იყო უცვლელი. გადახაზეთ ზემოთ მოცემული გრაფიკი რვეულში და ამავე გრაფიკზე ააგეთ გამოყოფილი აირის მოცულობის დროზე დამოკიდებულების მრუდი (2) ამ ექსპერიმენტისათვის (მოცულობა იზომებოდა ერთნაირ პირობებში).
- ე) მოსწავლემ კიდევ ერთხელ გაიმეორა ექსპერიმენტი ოთახის ტემპერატურაზე, თუმცა კალციუმის კარბონატის ნატეხების ნაცვლად გამოიყენა ფხვნილი. როგორ და რატომ შეიცვლება რეაქციის სიჩქარე ამ შემთხვევაში? იმავე გრაფიკზე ააგეთ მრუდი (3) ამ ექსპერიმენტისთვის.
11. მოსწავლემ შეაგროვა განზავებულ მარილმჟავასთან მაგნიუმის ურთიერთქმედებისას გამოყოფილი აირი შემდეგი მოწყობილობის გამოყენებით:

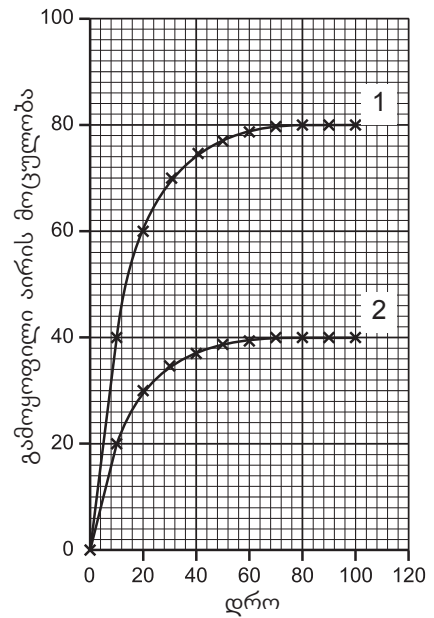




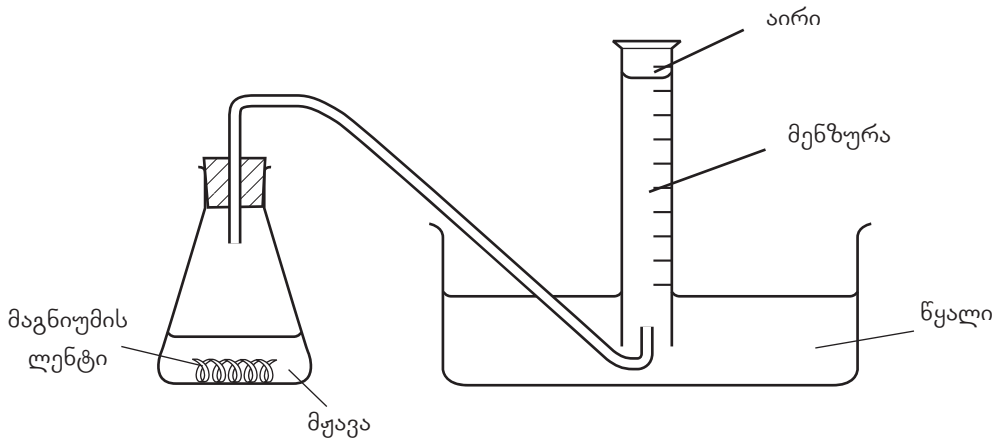
## თემა 2. ქიმიური კინეტიკა

მოსწავლემ ჩაატარა ორი განსხვავებული ექსპერიმენტი, თითოეული მათგანის დროს გამოყოფილი აირის მოცულობის დროზე დამოკიდებულება ასახულია გრაფიკზე:

- ა) შეადგინეთ პროცესის ამსახველი ქიმიური რეაქციის ტოლობა.
- ბ) რა მოცულობის აირი გამოიყო თითოეული ექსპერიმენტის შემთხვევაში?
- გ) ივარაუდეთ, რა შეიძლება შეეცვალა მოსწავლეს მეორე ექსპერიმენტში, პირველ ექსპერიმენტთან შედარებით? პასუხი დაასაბუთეთ.
- დ) ინფორმაციული და საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების (ისტ) გამოყენებით ააგეთ გრაფიკი იმ შემთხვევისათვის, როდესაც პირველ ექსპერიმენტში მაგნიუმის ლენტის ნაცვლად გამოვიყენებთ ფხვნილს.



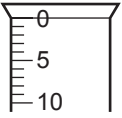
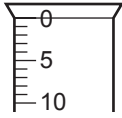
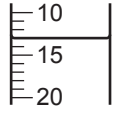
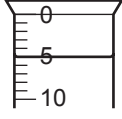
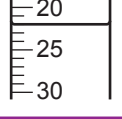
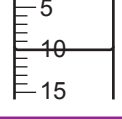
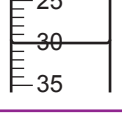
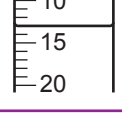
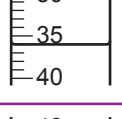
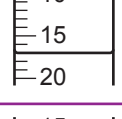
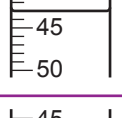
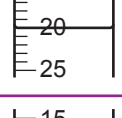
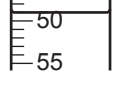
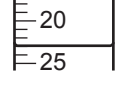
12. მოსწავლემ შეისწავლა მაგნიუმის ურთიერთქმედება ორ სხვადასხვა კონცენტრაციის მჟავასთან (X და Y). მან ჩაატარა ორი ექსპერიმენტი შემდეგი მოწყობილობის გამოყენებით:



მოსწავლემ მენზურის გამოყენებით 50 მლ X მჟავა და 0.5 გ მაგნიუმის ლენტი შეიტანა კოლბაში, დაუცო თავსახური და დაიწყო შეგროვებული აირის მოცულობის ათვლა ყოველ 30 წამში.

- ა) მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილში. მიუწერეთ თითოეულ ნიშნულს შესაბამისი მოცულობის მნიშვნელობა.
- ბ) მეორე ექსპერიმენტში მოსწავლემ იგივე გაიმეორა 50 მლ Y მჟავასათვის. მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილში. მიუწერეთ თითოეულ ნიშნულს შესაბამისი მოცულობის მნიშვნელობა:

## თემა 2. ქიმიური კინეტიკა

ექსპერიმენტი 1			ექსპერიმენტი 2		
დრო	მენზურა	დაგროვილი აირის მოცულობა, მლ	დრო	მენზურა	დაგროვილი აირის მოცულობა, მლ
0			0		
30			30		
60			60		
90			90		
120			120		
150			150		
180			180		

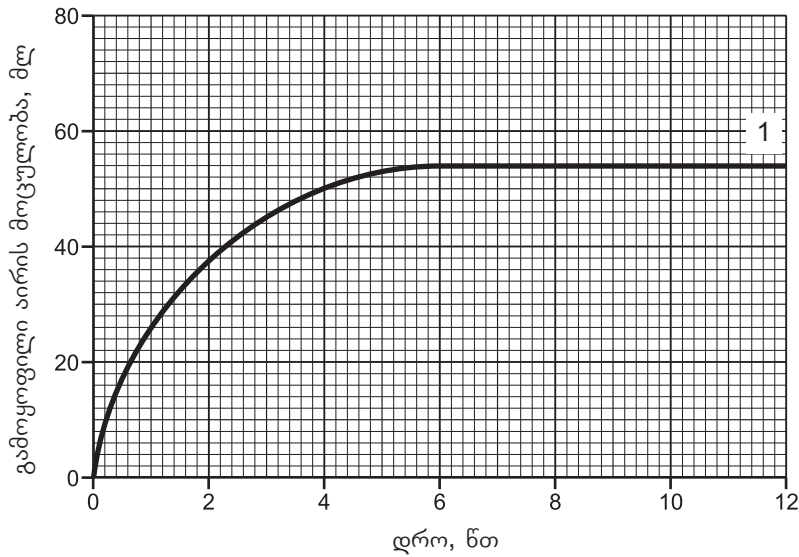
გ) ინფორმაციული და საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების (ისტ) გამოყენებით ერთ გრაფიკზე ააგეთ გამოყოფილი აირის მოცულობის დროზე დამოკიდებულების მრუდები ორივე ექსპერიმენტისათვის. შეადარეთ, რომელი რეაქციაა უფრო სწრაფი და ახსენით, რატომ?

დ) გრაფიკის მიხედვით დაადგინეთ, რა დროში შეგროვდებოდა 15 მლ აირი თითოეული ექსპერიმენტის შემთხვევაში.

ე) თითოეული რეაქციისათვის გამოთვალეთ რეაქციის სიჩქარე პირველი 30 წმ-ის განმავლობაში.

13. მარილმჟავაში გახსნეს თუთია, რის შედეგადაც გამოიყო წყალბადი. მრუდზე (1) მოცემულია 0.2 მოლი/ლ კონცენტრაციის მარილმჟავაში ჭარბი თუთიის გახსნისას გამოყოფილი წყალბადის მოცულობის დროზე დამოკიდებულება.

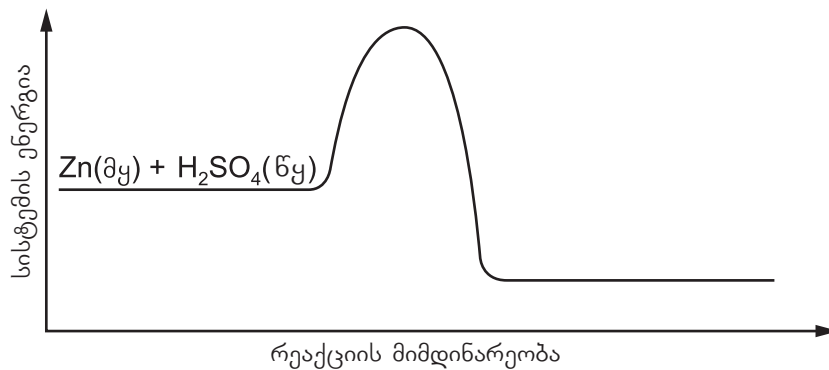
## თემა 2. ქიმიური კინეტიკა



- ა) შეადგინეთ მიმდინარე რეაქციის ტოლობა.
- ბ) რა მოცულობის წყალბადი გამოიყოფა რეაქციის დაწყებიდან ორ წუთში?
- გ) რატომ არ იცვლება წყალბადის მოცულობა 6 წთ-ის შემდეგ?
- დ) ექსპერიმენტი გაიმეორეს 0.1 მოლი/ლ კონცენტრაციის მარილმჟავას მონაწილეობით. ყველა სხვა პირობა უცვლელია. დახაზეთ გამოყოფილი წყალბადის დროზე დამოკიდებულების მრუდი (2) ამავე გრაფიკზე. 0.1 მოლი/ლ კონცენტრაციის მარილმჟავას მონაწილეობით.
- ე) დაასახელეთ მიღებული მარილი.
- ვ) ჩამოთვლილთაგან რომელი შეიძლება შეესაბამებოდეს მარილმჟავას ხსნარის pH-ს?

pH=1,      pH=7,      pH=9      თუ      pH=13?

14. ენერგეტიკული დიაგრამა გვიჩვენებს რეაქციის მიმდინარეობას თუთიასა და განზავებულ გოგირდმჟავას შორის.



- ა) სად უნდა ეწეროს გრაფიკზე პროდუქტების ფორმულები?
- ბ) დიაგრამაზე აჩვენეთ აქტივაციის ენერგია;
- გ) ეგზოთერმულია თუ ენდოთერმული რეაქცია? პასუხი ახსენით გრაფიკზე დაყრდნობით.
- დ) თუთიასა და განზავებულ გოგირდმჟავას შორის რეაქციაში კატალიზატორად შეი-

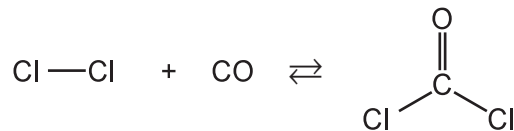
## თემა 2. ქიმიური კინეტიკა

ძლება გამოვიყენოთ სპილენძ(II)-ის სულფატი. გადახაზეთ გრაფიკი და დახაზეთ მრუდი იმავე რეაქციისთვის კატალიზატორის თანაობისას.

15. ნახშირბადის დიოქსიდი მიიღება კალციუმის კარბონატზე განზავებული მარილმჟავას მოქმედებით.
- დანერეთ მოცემული რეაქციის ტოლობა.
  - როგორ შეიცვლება ამ რეაქციის სიჩქარე, თუ მარილმჟავას კონცენტრაციას გავზრდით, ხოლო ყველა სხვა პირობა უცვლელი დარჩება? პასუხი დაასაბუთეთ.
  - როგორ შეიცვლება ამ რეაქციის სიჩქარე, თუ ტემპერატურას გავზრდით, ხოლო ყველა სხვა პირობა უცვლელი დარჩება? პასუხი დაასაბუთეთ.
16. ქლორი რეაგირებს ნახშირბადის მონოოქსიდთან ფოსგენის წარმოქმნით. სამივე ნივთიერება აირადია. რეაქცია ეგზოთერმული და კატალიზურია.



- დახაზეთ ამ რეაქციის ენერგეტიკული დიაგრამა, რომელზეც წარმოდგენილი იქნება:
  - რეაგენტები და პროდუქტები
  - ენერგიის ცვლილება რეაქციის მიმდინარეობისას
  - აქტივაციის ენერგია
- როგორ მოქმედებს ამ შემთხვევაში კატალიზატორი პირდაპირი და საპირისპირო რეაქციების სიჩქარესა და წონასწორობაზე? პასუხი დაასაბუთეთ.
- როგორ შეიცვლება რეაქციის წონასწორობა:
  - წნევის გაზრდით?
  - ტემპერატურის გაზრდით?
 თითოეულ შემთხვევაში პასუხი დაასაბუთეთ.
- ქლორსა და ნახშირბადის მონოოქსიდს შორის რეაქცია სქემატურად შეიძლება ასე წარმოვიდგინოთ:



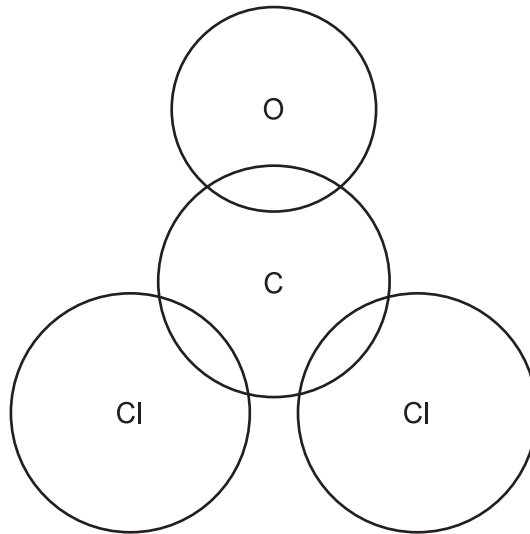
1 მოლი ფოსგენის წარმოქმნისას 230 კჯ ენერგია გამოიყოფა.

ბმა	ბმის ენერგია კჯ/მოლი
Cl – Cl	240
C=O ფოსგენში	745
C – Cl	400

რეაქციისა და ცხრილში მოცემული ბმის ენერგიების გამოყენებით, გამოთვალეთ ბმის ენერგია ნახშირბადის მონოოქსიდში.

- გადახაზეთ რვეულში ქვემოთ მოცემული სქემა და შეადგინეთ ფოსგენის ლუისის ელექტრონული ფორმულა.

თემა 2. ქიმიური კინეტიკა



17. ჰალოგენების წყალბადთან ურთიერთქმედებისას ჰალოგენწყალბადები წარმოიქმნება.

ა) ივარაუდეთ, რომელი ჰალოგენი რეაგირებს წყალბადთან ყველაზე ინტენსიურად. დაასაბუთეთ პასუხი.

ბ) რეაქცია ქლორსა და წყალბადს შორის შემდეგი ტოლობის მიხედვით მიმდინარეობს:



N1.3 ცხრილის (გვ. 27) საფუძველზე ახსენით, რატომაა ეს რეაქცია ეგზოთერმული.

გ) გამოთვალეთ, რა ენერგია გამოიყოფა, თუ რეაქციაში შევა 106.5 გ ქლორი.

დ) როგორ შეიცვლება წონასწორობა, თუ მუდმივი ტემპერატურის პირობებში წნევას შევამცირებთ?

ე) როგორ შეიცვლება პირდაპირი და საპირისპირო რეაქციის სიჩქარეები, თუ მუდმივი წნევის პირობებში ტემპერატურას შევამცირებთ? რომელ მხარეს გადაიხრება წონასწორობა?

18. წყალბადი (ნახშირბადის მონოოქსიდისა და წყალბადის ნარევი) ერთ-ერთი ფართოდ გამოყენებადი საწვავია. იგი ინარმოება გავარვარებულ ნახშირზე წყლის ორთქლის გატარებით:



ა) ეგზოთერმულია თუ ენდოთერმული მოცემული რეაქცია?

ბ) გამოთვალეთ, რა ენერგია დასჭირდება 2240 ლ (ნ. პ.) წყალბადის წარმოქმნას.

გ) ივარაუდეთ, როგორ შეიცვლება წონასწორობა, თუ 1) უცვლელი ტემპერატურის პირობებში წნევას გავზრდით? 2) თუ მუდმივი წნევის პირობებში ტემპერატურას გავზრდით?

დ) ეს რეაქცია შეიძლება გამოვიყენოთ წყალბადის მისაღებადაც. დაასახელეთ ერთი უარყოფითი მხარე, რომელიც ამ გზით მიღებული წყალბადის გამოყენებას ახასიათებს.

## თემა 2. ქიმიური კინეტიკა

ე) წყალბადის კიდეგ ერთი წყაროა ნავთობიდან მიღებული ნახშირწყალბადების დაშლა. დაასახელეთ ერთი უპირატესობა, რომელიც ახასიათებს წყლის ორთქლიდან მიღებულ წყალბადს ნავთობიდან მიღებულთან შედარებით?

19. მანგანუმის დიოქსიდი შეიძლება გამოვიყენოთ სხვადასხვა მიზნით, მაგალითად: ქლორის მისაღებად – რეაქცია 1:  $MnO_2(მყ)+4HCl(წყ) \rightarrow Cl_2(ა)+2H_2O(თხ)+ MnCl_2(წყ)$ ; ჟანგბადის მისაღებად – რეაქცია 2:  $2H_2O_2(წყ) \rightarrow O_2(ა)+H_2O(თხ)$

მეორე რეაქციაში მანგანუმის დიოქსიდი კატალიზატორია.

ა) პირველ რეაქციას იკვლევდნენ სხვადასხვა მასის დიოქსიდის გამოყენებით ერთ-ნაირ პირობებში. შედეგები მოცემულია ცხრილში:

მჟავას ხსნარის მოცულობა, მლ	მჟავას კონცენტრაცია, მოლი/ლ	გამოყენებული $MnO_2$ ის მასა, გ	გამოყოფილი ქლორის მოცულობა (ნ. პ.), ლ
100	1.0	1.74	0.48
100	1.0	0.87	0.24

ახსენით, რატომ გამოიყოფა სხვადასხვა მოცულობის ქლორი.

ბ) (ა) პუნქტში აღწერილ ექსპერიმენტში გამოყავით დამოუკიდებელი, დამოკიდებული და საკონტროლო ცვლადები.

გ) რეაქცია 2-ზე ჩაატარეს ექსპერიმენტი. მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილში:

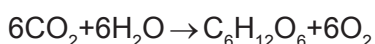
$H_2O_2$ -ის ხსნარის მოცულობა, მლ	$H_2O_2$ -ის ხსნარის კონცენტრაცია, მოლი/ლ	გამოყენებული $MnO_2$ -ის მასა, გ	გამოყოფილი ჟანგბადის მოცულობა (ნ. პ.), ლ
100	1.0	1.74	1.20
100	1.0	0.87	?

როგორ ფიქრობთ, რა მოცულობის ჟანგბადი გამოიყოფა 0.87 გ  $MnO_2$  -ის გამოყენებისას?

დ) რეაქცია 1-ის შედეგად მიღებული ქლორის გამოყენება შეიძლება რკინა(II)-ის ქლორიდის რკინა(III)-ის ქლორიდში გადასაყვანად. დაწერეთ რეაქციის ტოლობა და გამოთვალეთ, რა მასის რკინა(II)-ის ქლორიდი შევა რეაქციაში 0.448 ლ (ნ. პ.) ქლორთან.

20. ფოტოსინთეზი რთული და მრავალსაფეხურიანი პროცესია, რომელიც მზის ენერჯის გავლენით მწვანე ფოთლებში მიმდინარეობს. ამ დროს ნახშირორჟანგისა და წყლისგან წარმოიქმნება გლუკოზა და გამოიყოფა ჟანგბადი. პროცესი ენდოთერმულია და ფერმენტების თანაობისას მიმდინარეობს.

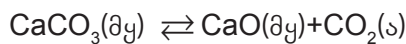
ამ პროცესის ამსახველი ჯამური რეაქციის ტოლობაა:



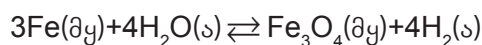


## თემა 2. ქიმიური კინეტიკა

- ა) დახაზეთ ამ რეაქციისთვის ენერგეტიკული დიაგრამა. მონიშნეთ მასზე:
- რეაგენტები და პროდუქტები
  - ენერგიის ცვლილება რეაქციის მიმდინარეობისას
  - აქტივაციის ენერგია
- ბ) ახსენით, რას წარმოადგენს ფერმენტი და რა გავლენა აქვს რეაქციის მიმდინარეობაზე?
21. სუნთქვა ცოცხალი ორგანიზმის უჯრედებში მიმდინარე ქიმიური პროცესია, რომლის შედეგად ორგანიზმი ენერგიით მარაგდება. ამ პროცესის დროს მიმდინარეობს რამდენიმე ქიმიური რეაქცია, რომელთა შედეგად, საბოლოო ჯამში გლუკოზიდან ნახშირორჟანგი და წყალი მიიღება.
- ა) შეადგინეთ რეაქციის ტოლობა.
- ბ) დახაზეთ რეაქციისთვის ენერგეტიკული დიაგრამა. მონიშნეთ მასზე:
- რეაგენტები და პროდუქტები
  - ენერგიის ცვლილება რეაქციის მიმდინარეობისას
  - აქტივაციის ენერგია
- გ) შეადარეთ აგებული დიაგრამა სავარჯიშო 20 ა) დავალებაში აგებულ გრაფიკს.
- დ) სუნთქვა, წვა და ფოტოსინთეზი ბუნებაში ნახშირბადის წრებრუნვის მნიშვნელოვანი პროცესებია. როგორ არეგულირებს ეს ციკლი ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის რაოდენობას?
22. მეცნიერი იკვლევს კალციუმის კარბონატის დაშლას დახშულ ჭურჭელში. დამყარებულია დინამიკური წონასწორობა:



- ა) რას გულისხმობს ტერმინი დინამიკური წონასწორობა?
- ბ) როგორ შეიცვლება წონასწორული ნარევის შედგენილობა, თუ მუდმივი ტემპერატურის პირობებში წნევას შევამცირებთ? პასუხი დაასაბუთეთ.
- გ) მუდმივი წნევის პირობებში ტემპერატურის გაზრდით წონასწორობა მარჯვნივ გადაიხრება. რა დასკვნის გამოტანა შეიძლება ამ მონაცემის საფუძველზე?
- დ) კალციუმის კარბონატი ურთიერთქმედებს აზოტმჟავასთან და მიიღება სამი ნივთიერება: X, Y და Z. სადაც:
- X მარილია,
  - Y უფერო აირი,
  - Z უფერო სითხე.
- დაწერეთ რეაქციის ტოლობა და დაასახელეთ X, Y და Z ნივთიერებები.
23. წარმოებაში წყალბადის მისაღებად გავარჯერებულ რკინაზე წყლის ორთქლს ატარებენ. მოცემულია წონასწორული სისტემა:



- ა) წყლის ორთქლისა და წყალბადის კონცენტრაცია წონასწორობის მიღწევის შემდეგ აღარ იცვლება. ახსენით ამის მიზეზი.

## თემა 2. ქიმიური კინეტიკა

- ბ) რა შეიცვლება სისტემაში, თუ მუდმივი ტემპერატურის პირობებში წნევას გავზრდით?
- გ) მუდმივი წნევის პირობებში ნარევის ტემპერატურის გაზრდით წონასწორობა მარცხნივ გადაიხრება. რა დასკვნის გამოტანა შეიძლება აქედან?
- დ) როგორ შეიცვლება პირდაპირი და საპირისპირო რეაქციების სიჩქარეები ტემპერატურის გაზრდისას? პასუხი დაასაბუთეთ.

ე) მიღებულ ოქსიდს -  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ს გოგირდმჟავაში თუ გავხსნით, მიიღება სამი ნივთიერება: A, B და C. სადაც:

- A - რკინა(II)-ის სულფატი
- B - რკინა(III)-ის სულფატი
- C - უფერო სითხეა.

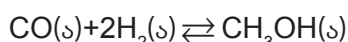
დანერეთ რეაქციის ტოლობა.

ვ) პირობაში მოცემული რეაქციის მიხედვით გამოთვალეთ, რა მოცულობის (ნ. პ.) წყალბადი შეიძლება მივიღოთ 336 კგ რკინის გადამუშავებით.

24. 0.03 გ მაგნიუმის ნაჭერს დაამატეს 20 მლ 0.1 მოლი/ლ კონცენტრაციის მარილმჟავა.

- ა) დანერეთ რეაქციის ტოლობა.
- ბ) დაადგინეთ ჭარბი რეაგენტი.
- გ) რა გარეგნული ნიშნით ამოიცნობთ ამ ქიმიურ რეაქციას?
- დ) გამოთვალეთ გამოყოფილი წყალბადის მასა.
- ე) მეორე ექსპერიმენტში მაგნიუმის ნაჭერი შეცვალეს იმავე მასის მაგნიუმის ფხვნილით. რეაქცია უფრო სწრაფად დასრულდა. ახსენით ამის მიზეზი.

25. მეთანოლის მიღების სამრეწველო გზაა წყალაირის გარდაქმნა. მეთოდი ეფუძნება რეაქციას ნახშირბადის მონოოქსიდსა და წყალბადს შორის, რომელიც ეგზოთერმულია და შექცევადი:



- ა) როგორ იმოქმედებს წნევის გაზრდა მოცემულ სისტემაზე, თუ ტემპერატურას უცვლელად დავტოვებთ? პასუხი დაასაბუთეთ.
- ბ) როგორ იმოქმედებს ტემპერატურის შემცირება მოცემულ სისტემაზე, თუ წნევას უცვლელად დავტოვებთ? პასუხი დაასაბუთეთ.
- გ) მოიხიეთ ინფორმაცია მეთანოლის გამოყენების შესახებ.

26. 200 °C-სა და 200 ატმ წნევაზე ფოსფორ(V)-ის ქლორიდი იშლება ფოსფორ (III)-ის ქლორიდად და ქლორად:



- ა) როგორ იმოქმედებს წნევის შემცირება მოცემულ სისტემაზე, თუ ტემპერატურას უცვლელად დავტოვებთ? პასუხი დაასაბუთეთ.
- ბ) როგორ იმოქმედებს ქლორის კონცენტრაციის გაზრდა ამ სისტემაზე, თუ სხვა ფაქტორებს არ შევცვლით? პასუხი დაასაბუთეთ.

## თემა 2. ქიმიური კინეტიკა

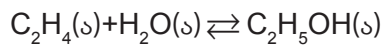
გ) ცხრილში მოცემულია ნარევეში ფოსფორ(III)-ის ქლორიდის პროცენტული შემცველობა სხვადასხვა ტემპერატურაზე.

ტემპერატურა °C	ფოსფორ(III)-ის ქლორიდის შემცველობა, %
200	48
300	95
400	99

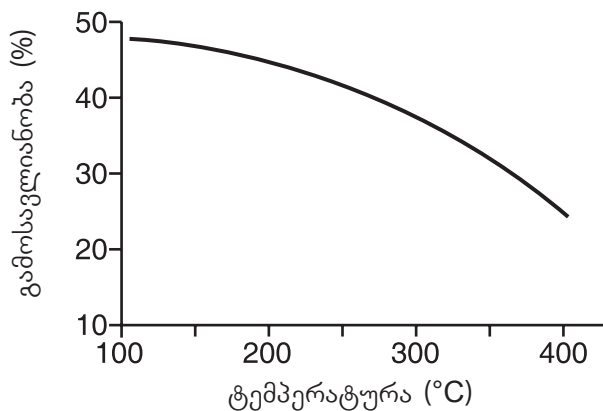
- როგორ შეიცვლება ნარევეში  $PCl_5$ -სა და  $Cl_2$ -ის შემცველობა ტემპერატურის ცვლილებისას?
- რეაქცია ეგზოთერმულია თუ ენდოთერმული? პასუხი დაასაბუთეთ.

დ) ფოსფორ(V)-ის ქლორიდი კარგად იხსნება წყალში და გვაძლევს ფოსფორმჟავასა და ქლორწყალბადს. დაწერეთ რეაქციის ტოლობა.

27. ეთილის სპირტს დიდი გამოყენება აქვს. წარმოებაში იგი მიიღება ეთილენის ჰიდრატაციით. რეაქცია ეგზოთერმულია.



- ა) დაასახელეთ ორი პირობა, რომელიც გაზრდის სპირტის გამოსავლიანობას.  
 ბ) გრაფიკზე ნაჩვენებია სხვადასხვა ტემპერატურაზე ეთანოლის გამოსავლიანობა პროცენტებში.



როგორ და რატომ იცვლება ტემპერატურის ზრდასთან ერთად ეთანოლის გამოსავლიანობა?

- გ) როგორ იმოქმედებს ამ რეაქციაზე წნევის გაზრდა? პასუხი დაასაბუთეთ.  
 დ) დაასახელეთ ეთანოლის გამოყენების მინიმუმ ორი სფერო.



## განვლილი მასალის შეჯამება

### დარწმუნდით, რომ იცით:


- ენერგია არც ქრება და არც წარმოიქმნება, მხოლოდ ერთი ტიპის ენერგია გარდაიქმნება სხვა ტიპის ენერგიად, ამიტომ სამყაროს ენერგია მუდმივია.
- ტემპერატურა არის ნაწილაკების მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერგიის საზომი; ხოლო სითბო – ენერგიის გადაცემის ფორმა.
- ეგზოთერმულ რეაქციებში სითბო გამოიყოფა და სისტემიდან გადაეცემა გარემოს, შესაბამისად, გარემოს ტემპერატურა იმატებს.
- ენდოთერმულ რეაქციებში სითბო შთაინთქმება სისტემის მიერ და გარემოს ტემპერატურა იკლებს.
- ეგზოთერმულ რეაქციაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობას მიუთითებენ პროდუქტების მხარეს “+” ნიშნით ან რეაგენტების მხარეს “-” ნიშნით.
- ენდოთერმული რეაქციის თერმოქიმიურ ტოლობაში შთაინთქმული სითბო შეიძლება ჩაიწეროს რეაგენტების მხარეს “+” ნიშნით ან პროდუქტების მხარეს “-” ნიშნით.
- ბმის ენერგია არის ენერგიის ის რაოდენობა, რომელიც საჭიროა სტანდარტულ პირობებში აირად მდგომარეობაში მყოფ 1 მოლ ნივთიერებაში კოვალენტური ბმების გასაწყვეტად.
- ბმის განწყვეტისას ენერგია შთაინთქმება, ხოლო წარმოქმნისას - გამოიყოფა.
- ქიმიური რეაქციის სიჩქარე დროის ერთეულში რეაგენტების ან პროდუქტების კონცენტრაციის (მასის, მოცულობის) ცვლილებას გვიჩვენებს.
- რეაქციის მსვლელობისას რეაგენტების რაოდენობა იკლებს, პროდუქტებისა კი – იმატებს.
- დროის ერთსა და იმავე ერთეულში რეაგენტის ხარჯვისა და პროდუქტების წარმოქმნის სიჩქარეები ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც მათი სტექიომეტრიული კოეფიციენტები.
- რეაქციის დასაწყებად საჭიროა რეაგენტთა მოლეკულებში არსებული ბმები განწყდეს, რისთვისაც ისინი ერთმანეთს უნდა დაეჯახოს შესაბამისი სიჩქარით და სივრცეში სწორი მიმართულებით (ორიენტაციით).
- მინიმალურ ენერგიას, რომელიც უნდა ჰქონდეს მორეაგირე ნივთიერების ერთ მოლს, რათა გარდაიქმნას პროდუქტად, აქტივაციის ენერგია ეწოდება.
- ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე მოქმედი ფაქტორებია: ტემპერატურა, რეაგენტების კონცენტრაცია, შეხების ზედაპირის ფართობი და კატალიზატორი.
- ტემპერატურის მატებით ქიმიური რეაქციის სიჩქარე იზრდება.
- რეაგენტების კონცენტრაციის გაზრდით ქიმიური რეაქციის სიჩქარე იზრდება.
- რაც მეტია რეაგენტთა შეხების ზედაპირის ფართობი, მით უფრო სწრაფად მიმდინარეობს რეაქცია.
- კატალიზატორი ნივთიერებაა, რომელიც ქიმიურ რეაქციას აჩქარებს, თვითონ კი რეაქციის დასრულების შემდეგ უცვლელი რჩება.

## თემა 2. ქიმიური კინეტიკა

- კატალიზატორის თანაობით მიმდინარე რეაქციის აქტივაციის ენერგია ბევრად ნაკლებია, ვიდრე მის გარეშე.
- ფერმენტები ანუ ენზიმები ბიოლოგიური კატალიზატორებია, ისინი ორგანიზმში მიმდინარე მნიშვნელოვანი ქიმიური რეაქციების კატალიზატორებს წარმოადგენს.
- ქიმიურ ნივთიერებას, რომელიც ქიმიური რეაქციის სიჩქარეს ამცირებს, ინჰიბიტორი ეწოდება.
- სარეაქციო სისტემის მდგომარეობას, როდესაც პირდაპირი და საპირისპირო რეაქციების სიჩქარეები ტოლია, ქიმიური წონასწორობა ეწოდება.
- წონასწორულ მდგომარეობაში რეაგენტებისა და პროდუქტების კონცენტრაციები უცვლელია.
- როდესაც რაიმე გარე ფაქტორის მოქმედებით ირღვევა წონასწორობა, სისტემა მოქმედებს ცვლილების წინააღმდეგ და მყარდება ახალი წონასწორობა.
- რეაგენტ(ებ)ის კონცენტრაციის გაზრდა იწვევს წონასწორობის გადახრის პროდუქტების წარმოქმნის მხარეს და პირიქით, რეაგენტ(ებ)ის კონცენტრაციის შემცირება იწვევს წონასწორობის გადახრას რეაგენტების მხარეს.
- ტემპერატურის გაზრდით წონასწორობა გადაიხრება ენდოთერმული რეაქციის მიმართულებით, ხოლო შემცირებით - ეგზოთერმული რეაქციის მიმართულებით.
- წნევის გაზრდით წონასწორობა გადაიხრება იმ რეაქციის მიმართულებით, რომელიც წნევის შემცირებით მიმდინარეობს და პირიქით, წნევის შემცირებით წონასწორობა გადაიხრება წნევის გაზრდის მხარეს. წნევას გავლენა აქვს სისტემაში არსებულ მხოლოდ აირად კომპონენტებზე.
- კატალიზატორი წონასწორობაზე გავლენას არ ახდენს, მხოლოდ ცვლის პირდაპირი და საპირისპირო რეაქციების სიჩქარეს.



# უსაფრთხოების წესები სასკოლო საბუნებისმეტყველო ლაბორატორიაში მუშაობის პროცესში



ყურადღებით წაიკითხეთ ყველა ინსტრუქცია. თუ რომელიმე ინსტრუქცია ან პროცედურა გაუგებარია, სამუშაოს დაწყების წინ ჰკითხეთ მასწავლებელს.



პირადი უსაფრთხოების მიზნით აუცილებელია ლაბორატორიული სამუშაოების შესრულების დროს ატაროთ ხალათი, დამცავი სათვალე, გამოიყენოთ დამცავი ხელთათმანები.




არასოდეს იმუშაოთ ლაბორატორიაში უფროსის თანდასწრების გარეშე.




ნებისმიერი შემთხვევის შესახებ დაუყოვნებლივ შეატყობინეთ მასწავლებელს.



ლაბორატორიაში მუშაობის დროს უნდა გეცვათ დახურული ფეხსაცმელი. გრძელი თმა უნდა შეიკრათ და არ გამოიყენოთ დიდი ზომის სამკაული.




გაცხელების დროს არასოდეს მიმართოთ სინჯარის პირი თქვენკენ ან სხვისკენ.




ლაბორატორიაში ნებისმიერ დროს აკრძალულია ჭამა და სმა. არ გამოიყენოთ ლაბორატორიული ჭურჭელი საჭმლის შესანახად.




დაუშვებელია ლაბორატორიაში სირბილი და თამაში.




მოერიდეთ ნივთიერებებს ორთქლის შესუნთქვას. დაუშვებელია ნივთიერებების შეხება, დაყნოსვა ან გასინჯვა.




დარწმუნდით, რომ ზუსტად იცით, სად მდებარეობს პირველადი დახმარების ნაკრები, ცეცხლსაქრობი, უსაფრთხოების შხაპი, თვალუბის დასაბანი.




ნებისმიერ ელექტრულ ხელსაწყოთან მუშაობის შემთხვევაში ხელები უნდა გქონდეთ მშრალი.



თუ რომელიმე ნივთიერება დაგეხსათ კანზე, სასწრაფოდ ჩამოიბანეთ დიდი რაოდენობით წყლით.



გამოყენების წინ აუცილებლად შეამოწმეთ მინის ჭურჭელი, რათა არ იყოს დაზიანებული ან გაბზარული.



ლაბორატორიული სამუშაოს დამთავრების შემდეგ ყველაფერი დააბრუნეთ თავის ადგილზე. დაასუფთავეთ სამუშაო მაგიდა. დაიბანეთ ხელები საპნით. გამორთეთ ელექტრული ხელსაწყოები.



როგორ იწერება და როგორ იკითხება ზოგიერთი ქიმიური ელემენტის სიმბოლო

სიმბოლო	ქართული სახელწოდება	ლათინური სახელწოდება	როგორ წავიკითხოთ ფორმულაში
H	წყალბადი	Hydrogenium	ჰაჰ
O	ჟანგბადი	Oxygenium	ო
C	ნახშირბადი	Carboneum	ცე
N	აზოტი	Nitrogenium	ენ
S	გოგირდი	Sulphur	ეს
P	ფოსფორი	Phosphorus	პე
Si	სილიციუმი	Silicium	სილიციუმ
Cl	ქლორი	Chlorum	ქლორ
F	ფთორი	Fluorum	ფთორ
Br	ბრომი	Bromum	ბრომ
I	იოდი	Iodium	იოდ
Fe	რკინა	Ferrum	ფერუმ
Al	ალუმინი	Aluminium	ალუმინ
Na	ნატრიუმი	Natrium	ნატრიუმ
K	კალიუმი	Kalium	კალიუმ
Li	ლითიუმი	Lithium	ლითიუმ
Ca	კალციუმი	Calcium	კალციუმ
Mg	მაგნიუმი	Magnesium	მაგნიუმ
Ba	ბარიუმი	Barium	ბარიუმ
He	ჰელიუმი	Helium	ჰელიუმ
Ne	ნეონი	Neon	ნეონ
Kr	კრიპტონი	Kryptonum	კრიპტონ
Ar	არგონი	Argon	არგონ
Zn	თუთია	Zincum	ცინკუმ
Sn	კალა	Stannum	სტანუმ
Pb	ტყვია	Plumbum	პლუმბუმ
Cr	ქრომი	Chromium	ქრომ
Mn	მანგანუმი	Manganum	მანგანუმ
Co	კობალტი	Cobaltum	კობალტ
Ni	ნიკელი	Niccolum	ნიკელ
As	დარიშხანი	Arsenicum	არსენიკუმ
Cu	სპილენძი	Cuprum	კუპრუმ
Ag	ვერცხლი	Argentum	არგენტუმ
Au	ოქრო	Aurum	აურუმ
Hg	ვერცხლისწყალი	Hydrargyrum	ჰიდრარგირუმ
Pt	პლატინა	Platinum	პლატინუმ
U	ურანი	Uranium	ურანიუმ

## ქიმიაში ხშირად გამოყენებული ერთეულები

პრეფიქსი	პიკო (პ)	ნანო (ნ)	მიკრო (მკ)	მილი (მ)	სანტი (ს)	დეცი (დ)	კილო (კ)
მნიშვნელობა	$10^{-12}$	$10^{-9}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^3$

განზომილება	სიგრძე	დრო	მასა	მოცულობა	რაოდენობა
ერთეული	მეტრი	წამი	გრამი	ლიტრი	მოლი
აღნიშვნა	მ	წმ	გ	ლ	მოლი

### სიგრძე:

$$1 \text{ მ} = 10^{12} \text{ პმ} = 10^9 \text{ ნმ} = 10^6 \text{ მკმ} = 10^3 \text{ მმ} = 10^2 \text{ სმ} = 10^{-3} \text{ კმ}$$

### დრო:

$$1 \text{ წმ} = 10^9 \text{ ნწმ} = 10^6 \text{ მკწმ} = 10^3 \text{ მწმ}$$

$$1 \text{ წთ} = 60 \text{ წმ}$$

$$1 \text{ სთ} = 60 \text{ წთ} = 3600 \text{ წმ}$$

### მასა:

$$1 \text{ გ} = 10^9 \text{ ნგ} = 10^6 \text{ მკგ} = 10^3 \text{ მგ} = 10^{-3} \text{ კგ}$$

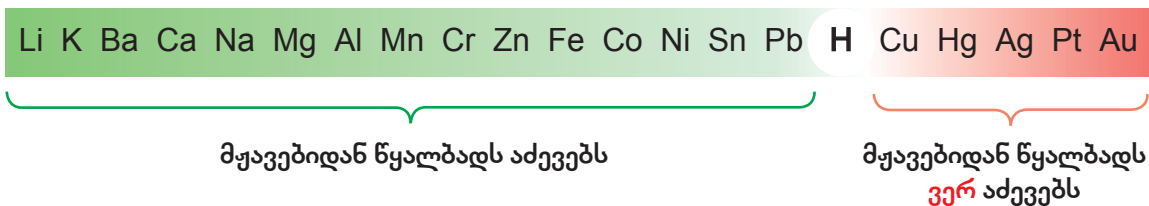
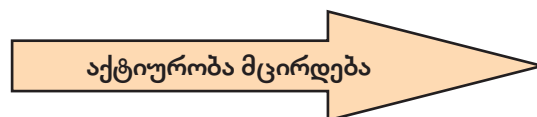
### მოცულობა:

$$1 \text{ ლ} = 10^6 \text{ მკლ} = 10^3 \text{ მლ} = 1 \text{ დმ}^3 = 10^{-3} \text{ მ}^3$$

### რაოდენობა:

$$1 \text{ მოლი} = 10^6 \text{ მკმოლი} = 10^3 \text{ მმოლი} = 10^{-3} \text{ კმოლი}$$

## მეტალთა ელექტროქიმიური აქტიურობის მწკრივი



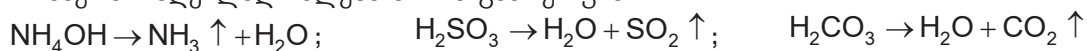
ელემენტთა ფარდობითი ელექტროუარყოფითობების ცხრილი

1 <b>H</b> 2.2																
3 <b>Li</b> 1.0	4 <b>Be</b> 1.6											5 <b>B</b> 2.0	6 <b>C</b> 2.6	7 <b>N</b> 3.0	8 <b>O</b> 3.4	9 <b>F</b> 4.0
11 <b>Na</b> 0.9	12 <b>Mg</b> 1.3											13 <b>Al</b> 1.6	14 <b>Si</b> 1.9	15 <b>P</b> 2.2	16 <b>S</b> 2.6	17 <b>Cl</b> 3.2
19 <b>K</b> 0.8	20 <b>Ca</b> 1.0	21 <b>Sc</b> 1.4	22 <b>Ti</b> 1.5	23 <b>V</b> 1.6	24 <b>Cr</b> 1.7	25 <b>Mn</b> 1.6	26 <b>Fe</b> 1.8	27 <b>Co</b> 1.9	28 <b>Ni</b> 1.9	29 <b>Cu</b> 1.9	30 <b>Zn</b> 1.7	31 <b>Ga</b> 1.8	32 <b>Ge</b> 2.0	33 <b>As</b> 2.2	34 <b>Se</b> 2.6	35 <b>Br</b> 3.0
37 <b>Rb</b> 0.8	38 <b>Sr</b> 1.0	39 <b>Y</b> 1.2	40 <b>Zr</b> 1.3	41 <b>Nb</b> 1.6	42 <b>Mo</b> 2.2	43 <b>Tc</b> 2.1	44 <b>Ru</b> 2.2	45 <b>Rh</b> 2.3	46 <b>Pd</b> 2.2	47 <b>Ag</b> 1.9	48 <b>Cd</b> 1.7	49 <b>In</b> 1.8	50 <b>Sn</b> 2.0	51 <b>Sb</b> 2.1	52 <b>Te</b> 2.1	53 <b>I</b> 2.7
55 <b>Cs</b> 0.8	56 <b>Ba</b> 0.9	57 <b>La*</b> 1.1	72 <b>Hf</b> 1.3	73 <b>Ta</b> 1.5	74 <b>W</b> 1.7	75 <b>Re</b> 1.9	76 <b>Os</b> 2.2	77 <b>Ir</b> 2.2	78 <b>Pt</b> 2.2	79 <b>Au</b> 2.4	80 <b>Hg</b> 1.9	81 <b>Tl</b> 1.8	82 <b>Pb</b> 1.8	83 <b>Bi</b> 1.9	84 <b>Po</b> 2.0	85 <b>At</b> 2.2
87 <b>Fr</b> 0.7	88 <b>Ra</b> 0.9	89 <b>Ac**</b> 1.1														

მარილების, ფუძეებისა და მჟავების წყალში ხსნადობის ცხრილი

იონები	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>
OH <sup>-</sup>		ხს*	ხს	ხს	-	ხს	მხ	უ	უ	უ	-	უ	უ	უ	უ
F <sup>-</sup>	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	უ	უ	უ	მხ	მხ	ხს	უ	მხ	ხს	მხ
Cl <sup>-</sup>	ხს	ხს	ხს	ხს	უ	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	მხ	ხს	ხს	ხს
Br <sup>-</sup>	ხს	ხს	ხს	ხს	უ	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	მხ	მხ	ხს	ხს	ხს
I <sup>-</sup>	ხს	ხს	ხს	ხს	უ	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	უ	უ	ხს	-	ხს
S <sup>2-</sup>	ხს**	ხს	ხს	ხს	უ	-	-	-	უ	უ	უ	უ	უ	უ	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	ხს*	ხს	ხს	ხს	მხ	მხ	მხ	მხ	მხ	-	-	უ	მხ	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ხს	ხს	ხს	ხს	მხ	უ	მხ	ხს	ხს	ხს	ხს	უ	ხს	ხს	ხს
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	ხს*	ხს	ხს	ხს	უ	უ	უ	უ	უ	-	-	უ	უ	-	-
SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	უ	-	ხს	ხს	უ	უ	უ	უ	უ	-	-	უ	უ	-	-
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	ხს	ხს	ხს	ხს	უ	უ	უ	უ	უ	უ	უ	უ	უ	უ	უ
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	ხს	ხს	ხს	ხს	მხ	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	ხს	-	-

\* - ნაერთი ადვილად იშლება აირის გამოყოფით:



\*\* - ხსნარიდან აირის სახით გამოიყოფა: H<sub>2</sub>S ↑

ხს - ხსნადი; მხ - მცირედ ხსნადი; უ - უხსნადი; „—“ - ნაერთი არ არსებობს ან წყლით იშლება.

ქიმიური ელემენტების პერიოდულულობის ცხრილი (გრძელი)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIIIB	VIIIB	VIIIB	IB	IIIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
1 <b>H</b> წყობილი 1.008	2 <b>He</b> წყობილი 4.003	3 <b>Li</b> ლითონი 6.94	4 <b>Be</b> ბერილი 9.01	5 <b>B</b> ბორი 10.81	6 <b>C</b> ნახევრად- მეტალი 12.01	7 <b>N</b> აზოტი 14.00	8 <b>O</b> ოქსიგენი 15.99	9 <b>F</b> ფორი 19.00	10 <b>Ne</b> ნეონი 20.18	11 <b>Na</b> ნატრიუმი 22.99	12 <b>Mg</b> მაგნიუმი 24.30	13 <b>Al</b> ალუმინი 26.98	14 <b>Si</b> სილიცი 28.08	15 <b>P</b> ფოსფორი 30.97	16 <b>S</b> სერენი 32.06	17 <b>Cl</b> ქლორი 35.46	18 <b>Ar</b> არგონი 39.96
19 <b>K</b> პოტაშის წყობილი 39.10	20 <b>Ca</b> კალციუმი 40.08	21 <b>Sc</b> სკანდიუმი 44.96	22 <b>Ti</b> ტიტანი 47.87	23 <b>V</b> ვანადი 50.94	24 <b>Cr</b> კრომი 52.00	25 <b>Mn</b> მანგანი 54.94	26 <b>Fe</b> რკინა 55.85	27 <b>Co</b> კობალტი 58.93	28 <b>Ni</b> ნიკელი 58.69	29 <b>Cu</b> სპილენძი 63.55	30 <b>Zn</b> ცინკი 65.38	31 <b>Ga</b> გალიუმი 69.72	32 <b>Ge</b> გერმანიუმი 72.63	33 <b>As</b> არსენი 74.92	34 <b>Se</b> სელენი 78.97	35 <b>Br</b> ბრომი 79.90	36 <b>Kr</b> კრიპტონი 83.80
37 <b>Rb</b> რუბიდიუმი 85.48	38 <b>Sr</b> სტრონციუმი 87.62	39 <b>Y</b> იტრიუმი 88.91	40 <b>Zr</b> ზირკონი 91.22	41 <b>Nb</b> ნიობიუმი 92.91	42 <b>Mo</b> მოლიბდენი 95.95	43 <b>Tc</b> ტექნიციუმი 97.91	44 <b>Ru</b> რუთენიუმი 101.07	45 <b>Rh</b> როდენიუმი 102.91	46 <b>Pd</b> პალადიუმი 106.42	47 <b>Ag</b> ვერცხვი 107.87	48 <b>Cd</b> კადმიუმი 112.41	49 <b>In</b> ინდიუმი 114.82	50 <b>Sn</b> პლუმბი 118.71	51 <b>Sb</b> ანტიმონი 121.76	52 <b>Te</b> ტელური 127.60	53 <b>I</b> იოდი 126.90	54 <b>Xe</b> ქსენონი 131.29
55 <b>Cs</b> ცეზიუმი 132.91	56 <b>Ba</b> ბარიუმი 137.33	57-71 <b>La-Lu</b> ლანთანოიდები	72 <b>Hf</b> ჰაფნიუმი 178.49	73 <b>Ta</b> ტანგსტანი 180.95	74 <b>W</b> ვოლფრამი 183.84	75 <b>Re</b> რენიუმი 186.21	76 <b>Os</b> ოსმიუმი 190.23	77 <b>Ir</b> ირიდიუმი 192.22	78 <b>Pt</b> პლათინა 195.08	79 <b>Au</b> რკინი 196.97	80 <b>Hg</b> მერკური 200.59	81 <b>Tl</b> თალიუმი 204.38	82 <b>Pb</b> პლუმბი 207.2	83 <b>Bi</b> ბიზმუტი 208.98	84 <b>Po</b> პოლონიუმი 209	85 <b>At</b> ასტატი 209	86 <b>Rn</b> რადონი 222
87 <b>Fr</b> ფრანსიუმი 223	88 <b>Ra</b> რადიუმი 226	89-103 <b>Ac-Lr</b> აქტინოიდები	104 <b>Rf</b> რეიფენიუმი 261	105 <b>Db</b> დუბნიუმი 262	106 <b>Sg</b> სიბგოიუმი 263	107 <b>Bh</b> ბერკლიუმი 264	108 <b>Hs</b> ჰასიუმი 265	109 <b>Mt</b> მიტანოვილი 266	110 <b>Ds</b> დავსიუმი 267	111 <b>Rg</b> რენგოლმიუმი 268	112 <b>Cn</b> კოპერნიციუმი 269	113 <b>Nh</b> ნიჰონიუმი 270	114 <b>Fl</b> ფლორიდინი 271	115 <b>Mc</b> მოსკოვიუმი 272	116 <b>Lv</b> ლუვენიუმი 273	117 <b>Ts</b> ტენესი 274	118 <b>Og</b> ოგანესონი 276
<p>1 კოორდინაციული რიცხვი</p> <p>2 ატომური რიგითი ნომერი</p> <p>3 ქიმიური სიმბოლო</p> <p>4 ატომური მასა</p> <p>5 ჯგუფი</p> <p>6 პერიოდი</p> <p>7 ლანთანოიდები</p> <p>8 აქტინოიდები</p> <p>9 ლანთანოიდები</p> <p>10 ლანთანოიდები</p> <p>11 ლანთანოიდები</p> <p>12 ლანთანოიდები</p> <p>13 ლანთანოიდები</p> <p>14 ლანთანოიდები</p> <p>15 ლანთანოიდები</p> <p>16 ლანთანოიდები</p> <p>17 ლანთანოიდები</p> <p>18 ლანთანოიდები</p> <p>19 ლანთანოიდები</p> <p>20 ლანთანოიდები</p> <p>21 ლანთანოიდები</p> <p>22 ლანთანოიდები</p> <p>23 ლანთანოიდები</p> <p>24 ლანთანოიდები</p> <p>25 ლანთანოიდები</p> <p>26 ლანთანოიდები</p> <p>27 ლანთანოიდები</p> <p>28 ლანთანოიდები</p> <p>29 ლანთანოიდები</p> <p>30 ლანთანოიდები</p> <p>31 ლანთანოიდები</p> <p>32 ლანთანოიდები</p> <p>33 ლანთანოიდები</p> <p>34 ლანთანოიდები</p> <p>35 ლანთანოიდები</p> <p>36 ლანთანოიდები</p> <p>37 ლანთანოიდები</p> <p>38 ლანთანოიდები</p> <p>39 ლანთანოიდები</p> <p>40 ლანთანოიდები</p> <p>41 ლანთანოიდები</p> <p>42 ლანთანოიდები</p> <p>43 ლანთანოიდები</p> <p>44 ლანთანოიდები</p> <p>45 ლანთანოიდები</p> <p>46 ლანთანოიდები</p> <p>47 ლანთანოიდები</p> <p>48 ლანთანოიდები</p> <p>49 ლანთანოიდები</p> <p>50 ლანთანოიდები</p> <p>51 ლანთანოიდები</p> <p>52 ლანთანოიდები</p> <p>53 ლანთანოიდები</p> <p>54 ლანთანოიდები</p> <p>55 ლანთანოიდები</p> <p>56 ლანთანოიდები</p> <p>57 ლანთანოიდები</p> <p>58 ლანთანოიდები</p> <p>59 ლანთანოიდები</p> <p>60 ლანთანოიდები</p> <p>61 ლანთანოიდები</p> <p>62 ლანთანოიდები</p> <p>63 ლანთანოიდები</p> <p>64 ლანთანოიდები</p> <p>65 ლანთანოიდები</p> <p>66 ლანთანოიდები</p> <p>67 ლანთანოიდები</p> <p>68 ლანთანოიდები</p> <p>69 ლანთანოიდები</p> <p>70 ლანთანოიდები</p> <p>71 ლანთანოიდები</p> <p>72 ლანთანოიდები</p> <p>73 ლანთანოიდები</p> <p>74 ლანთანოიდები</p> <p>75 ლანთანოიდები</p> <p>76 ლანთანოიდები</p> <p>77 ლანთანოიდები</p> <p>78 ლანთანოიდები</p> <p>79 ლანთანოიდები</p> <p>80 ლანთანოიდები</p> <p>81 ლანთანოიდები</p> <p>82 ლანთანოიდები</p> <p>83 ლანთანოიდები</p> <p>84 ლანთანოიდები</p> <p>85 ლანთანოიდები</p> <p>86 ლანთანოიდები</p> <p>87 ლანთანოიდები</p> <p>88 ლანთანოიდები</p> <p>89 ლანთანოიდები</p> <p>90 ლანთანოიდები</p> <p>91 ლანთანოიდები</p> <p>92 ლანთანოიდები</p> <p>93 ლანთანოიდები</p> <p>94 ლანთანოიდები</p> <p>95 ლანთანოიდები</p> <p>96 ლანთანოიდები</p> <p>97 ლანთანოიდები</p> <p>98 ლანთანოიდები</p> <p>99 ლანთანოიდები</p> <p>100 ლანთანოიდები</p> <p>101 ლანთანოიდები</p> <p>102 ლანთანოიდები</p> <p>103 ლანთანოიდები</p> <p>104 ლანთანოიდები</p> <p>105 ლანთანოიდები</p> <p>106 ლანთანოიდები</p> <p>107 ლანთანოიდები</p> <p>108 ლანთანოიდები</p> <p>109 ლანთანოიდები</p> <p>110 ლანთანოიდები</p> <p>111 ლანთანოიდები</p> <p>112 ლანთანოიდები</p> <p>113 ლანთანოიდები</p> <p>114 ლანთანოიდები</p> <p>115 ლანთანოიდები</p> <p>116 ლანთანოიდები</p> <p>117 ლანთანოიდები</p> <p>118 ლანთანოიდები</p> <p>119 ლანთანოიდები</p> <p>120 ლანთანოიდები</p> <p>121 ლანთანოიდები</p> <p>122 ლანთანოიდები</p> <p>123 ლანთანოიდები</p> <p>124 ლანთანოიდები</p> <p>125 ლანთანოიდები</p> <p>126 ლანთანოიდები</p> <p>127 ლანთანოიდები</p> <p>128 ლანთანოიდები</p> <p>129 ლანთანოიდები</p> <p>130 ლანთანოიდები</p> <p>131 ლანთანოიდები</p> <p>132 ლანთანოიდები</p> <p>133 ლანთანოიდები</p> <p>134 ლანთანოიდები</p> <p>135 ლანთანოიდები</p> <p>136 ლანთანოიდები</p> <p>137 ლანთანოიდები</p> <p>138 ლანთანოიდები</p> <p>139 ლანთანოიდები</p> <p>140 ლანთანოიდები</p> <p>141 ლანთანოიდები</p> <p>142 ლანთანოიდები</p> <p>143 ლანთანოიდები</p> <p>144 ლანთანოიდები</p> <p>145 ლანთანოიდები</p> <p>146 ლანთანოიდები</p> <p>147 ლანთანოიდები</p> <p>148 ლანთანოიდები</p> <p>149 ლანთანოიდები</p> <p>150 ლანთანოიდები</p> <p>151 ლანთანოიდები</p> <p>152 ლანთანოიდები</p> <p>153 ლანთანოიდები</p> <p>154 ლანთანოიდები</p> <p>155 ლანთანოიდები</p> <p>156 ლანთანოიდები</p> <p>157 ლანთანოიდები</p> <p>158 ლანთანოიდები</p> <p>159 ლანთანოიდები</p> <p>160 ლანთანოიდები</p> <p>161 ლანთანოიდები</p> <p>162 ლანთანოიდები</p> <p>163 ლანთანოიდები</p> <p>164 ლანთანოიდები</p> <p>165 ლანთანოიდები</p> <p>166 ლანთანოიდები</p> <p>167 ლანთანოიდები</p> <p>168 ლანთანოიდები</p> <p>169 ლანთანოიდები</p> <p>170 ლანთანოიდები</p> <p>171 ლანთანოიდები</p> <p>172 ლანთანოიდები</p> <p>173 ლანთანოიდები</p> <p>174 ლანთანოიდები</p> <p>175 ლანთანოიდები</p> <p>176 ლანთანოიდები</p> <p>177 ლანთანოიდები</p> <p>178 ლანთანოიდები</p> <p>179 ლანთანოიდები</p> <p>180 ლანთანოიდები</p> <p>181 ლანთანოიდები</p> <p>182 ლანთანოიდები</p> <p>183 ლანთანოიდები</p> <p>184 ლანთანოიდები</p> <p>185 ლანთანოიდები</p> <p>186 ლანთანოიდები</p> <p>187 ლანთანოიდები</p> <p>188 ლანთანოიდები</p> <p>189 ლანთანოიდები</p> <p>190 ლანთანოიდები</p> <p>191 ლანთანოიდები</p> <p>192 ლანთანოიდები</p> <p>193 ლანთანოიდები</p> <p>194 ლანთანოიდები</p> <p>195 ლანთანოიდები</p> <p>196 ლანთანოიდები</p> <p>197 ლანთანოიდები</p> <p>198 ლანთანოიდები</p> <p>199 ლანთანოიდები</p> <p>200 ლანთანოიდები</p> <p>201 ლანთანოიდები</p> <p>202 ლანთანოიდები</p> <p>203 ლანთანოიდები</p> <p>204 ლანთანოიდები</p> <p>205 ლანთანოიდები</p> <p>206 ლანთანოიდები</p> <p>207 ლანთანოიდები</p> <p>208 ლანთანოიდები</p> <p>209 ლანთანოიდები</p> <p>210 ლანთანოიდები</p> <p>211 ლანთანოიდები</p> <p>212 ლანთანოიდები</p> <p>213 ლანთანოიდები</p> <p>214 ლანთანოიდები</p> <p>215 ლანთანოიდები</p> <p>216 ლანთანოიდები</p> <p>217 ლანთანოიდები</p> <p>218 ლანთანოიდები</p> <p>219 ლანთანოიდები</p> <p>220 ლანთანოიდები</p> <p>221 ლანთანოიდები</p> <p>222 ლანთანოიდები</p> <p>223 ლანთანოიდები</p> <p>224 ლანთანოიდები</p> <p>225 ლანთანოიდები</p> <p>226 ლანთანოიდები</p> <p>227 ლანთანოიდები</p> <p>228 ლანთანოიდები</p> <p>229 ლანთანოიდები</p> <p>230 ლანთანოიდები</p> <p>231 ლანთანოიდები</p> <p>232 ლანთანოიდები</p> <p>233 ლანთანოიდები</p> <p>234 ლანთანოიდები</p> <p>235 ლანთანოიდები</p> <p>236 ლანთანოიდები</p> <p>237 ლანთანოიდები</p> <p>238 ლანთანოიდები</p> <p>239 ლანთანოიდები</p> <p>240 ლანთანოიდები</p> <p>241 ლანთანოიდები</p> <p>242 ლანთანოიდები</p> <p>243 ლანთანოიდები</p> <p>244 ლანთანოიდები</p> <p>245 ლანთანოიდები</p> <p>246 ლანთანოიდები</p> <p>247 ლანთანოიდები</p> <p>248 ლანთანოიდები</p> <p>249 ლანთანოიდები</p> <p>250 ლანთანოიდები</p> <p>251 ლანთანოიდები</p> <p>252 ლანთანოიდები</p> <p>253 ლანთანოიდები</p> <p>254 ლანთანოიდები</p> <p>255 ლანთანოიდები</p> <p>256 ლანთანოიდები</p> <p>257 ლანთანოიდები</p> <p>258 ლანთანოიდები</p> <p>259 ლანთანოიდები</p> <p>260 ლანთანოიდები</p> <p>261 ლანთანოიდები</p> <p>262 ლანთანოიდები</p> <p>263 ლანთანოიდები</p> <p>264 ლანთანოიდები</p> <p>265 ლანთანოიდები</p> <p>266 ლანთანოიდები</p> <p>267 ლანთანოიდები</p> <p>268 ლანთანოიდები</p> <p>269 ლანთანოიდები</p> <p>270 ლანთანოიდები</p> <p>271 ლანთანოიდები</p> <p>272 ლანთანოიდები</p> <p>273 ლანთანოიდები</p> <p>274 ლანთანოიდები</p> <p>275 ლანთანოიდები</p> <p>276 ლანთანოიდები</p> <p>277 ლანთანოიდები</p> <p>278 ლანთანოიდები</p> <p>279 ლანთანოიდები</p> <p>280 ლანთანოიდები</p> <p>281 ლანთანოიდები</p> <p>282 ლანთანოიდები</p> <p>283 ლანთანოიდები</p> <p>284 ლანთანოიდები</p> <p>285 ლანთანოიდები</p> <p>286 ლანთანოიდები</p> <p>287 ლანთანოიდები</p> <p>288 ლანთანოიდები</p> <p>289 ლანთანოიდები</p> <p>290 ლანთანოიდები</p> <p>291 ლანთანოიდები</p> <p>292 ლანთანოიდები</p> <p>293 ლანთანოიდები</p> <p>294 ლანთანოიდები</p> <p>295 ლანთანოიდები</p> <p>296 ლანთანოიდები</p> <p>297 ლანთანოიდები</p> <p>298 ლანთანოიდები</p> <p>299 ლანთანოიდები</p> <p>300 ლანთანოიდები</p>																	

ქიმიური ელემენტების პერიოდული ცხრილი (მოკლე)

პერიოდი	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	H წყალბადი 1.01											
2	Li ლითონი 6.94	Be ბერილი 9.01	B ბორი 10.81	C ნახშირბადი 12.01	N აზოტი 14.00	O ოქსიგენი 15.99	F ფლორინი 19.00	Ne ნეონი 20.12				
3	Na ნატრიუმი 22.99	Mg მაგნიუმი 24.31	Al ალუმინი 26.98	Si სილიციუმი 28.09	P ფოსფორი 30.97	S სერენი 32.06	Cl კვლევი 35.45	Ar არგონი 39.95				
4	K პოტასიუმი 39.10	Ca კალციუმი 40.08	Sc სკანდიუმი 44.96	Ti ტიტანიუმი 47.9	V ვანადიუმი 50.94	Cr კრომიუმი 52.00	Mn მანგანუმი 54.94	Fe ჰემიკონი 55.85	Co კობალტი 58.93	Ni ნიკელი 58.70		
5	Cu საქონი 63.55	Zn ცინკი 65.38	Ga გალიუმი 69.72	Ge გერმანიუმი 72.59	As არსენი 74.92	Se სელენი 78.96	Br ბრომი 79.90	Kr კრიპტონი 83.80				
6	Rb რუბიდიუმი 85.47	Sr სტრონციუმი 87.62	Y იტრიუმი 88.91	Zr ცირკონიუმი 91.22	Nb ნიობიუმი 92.91	Mo მოლიბდენი 95.94	Tc ტექნიციუმი 98.91	Ru რუთენიუმი 101.1	Rh რინიუმი 102.9	Pd პალადიუმი 106.40		
7	Ag ვერცხვი 107.9	Cd კადმიუმი 112.4	In ინდიუმი 114.82	Sn სპიტი 118.69	Sb ანტიმონი 121.75	Te ტელური 127.60	I იოდი 126.90	Xe ქსენონი 131.30				
8	Cs ცეზიუმი 132.91	Ba ბარიუმი 137.33	La* ლანთანი 138.91	Hf ჰაფნიუმი 178.49	Ta ტანტალი 180.95	W ვოლფრამი 183.85	Re რენიუმი 187.21	Os ოსმიუმი 190.20	Ir ირიდიუმი 192.22	Pt პლატინა 195.09		
9	Au რედი 196.97	Hg მერკური 200.59	Tl თალიუმი 204.37	Pb პლუმი 207.20	Bi ბიზმუტი 208.98	Po პოლონიუმი [209]	At ასტატი [222]	Rn რადონი [222]				
10	Fr ფრანსიუმი [223]	Ra რადიუმი [226.03]	Ac** აქტინიუმი [227]	Rf რეზერვინი [261]	Db დუბნიუმი [262]	Sg სიგმატიუმი [265]	Bh ბოჰრიუმი [270]	Hs ჰასიუმი [277]	Mt მითნიუმი [276]	Ds დავნიუმი [276]		
11	Rg რიგნიუმი [281]	Cn კოპერნიციუმი [285]	Nh ნიჰონიუმი [286]	Fl ფლორიუმი [289]	Mc მოსკოვიუმი [288]	Lv ლუვენიუმი [293]	Ts ტენესინი [294]	Og ოგანესონი [294]				

\* ლანთანოიდები

58	Ce ცერინი 140.12	Pr პრომიტიუმი 140.91	Nd ნიობიუმი 144.24	Sm სამარიუმი 150.40	Eu ევროპიუმი 151.96	Gd გადოლინიუმი 157.25	Tb თერბიუმი 158.93	Dy დიზპროსიუმი 162.50	Ho ჰოლიმიუმი 164.93	Er ერბიუმი 167.26	Tm თულმიუმი 168.93	Yb იბერიუმი 174.04	Lu ლუთეციუმი 174.97
----	------------------------	----------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	-----------------------------	--------------------------	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------------------

\*\* აქტინოიდები

90	Th თორიუმი 232.04	Pa პრომიტიუმი 231.04	U ურანიუმი 238.03	Np ნეპტუნიუმი 237.05	Pu პლუტონიუმი [244]	Am ამერიციუმი [243]	Cm კურნიუმი [247]	Bk ბერკელიუმი [247]	Cf კალიფორნიუმი [251]	Es ეისენბერგის ელემენტი [252]	Fm ფერმიუმი [257]	Md მადონის ელემენტი [254]	No ნობელიუმი [259]	Lr ლურენსის ელემენტი [262]
----	-------------------------	----------------------------	-------------------------	----------------------------	---------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------------	-----------------------------	-------------------------------------	-------------------------	---------------------------------	--------------------------	----------------------------------



## გამოსათვლელი დავალებების პასუხები

გვ. 16-17

2. 16950 კვ; 3. 752500 კვ; 4. ა) 1950 კვ; ბ) 560 ლ; 6. 501528 კვ.

გვ. 22

2. 38 საათი.

გვ. 31

1. 242 კვ/მოლი; 2. 103 კვ; 3. 95 კვ

გვ. 33-34 (შემაჯამებელი სავარჯიშოები)

1. 4 გ; 2. 31.9 კვ; 3. 228.9 კვ; 4. 1.66 კგ; 5. 11 °C ; 6. 4868.5 გ; 9. 204 კვ

გვ. 41

1. 0.001 მოლი/ლ·წმ; 2. 0.25 მოლი/ლ;

გვ. 46

1. ა) 11 კვ

გვ. 55

3. 8-ჯერ; 4.  $\gamma = 3$ ; 5. 100 °C ; 6. 64-ჯერ.

გვ. 67

1. ბ) 2144 კვ; ე) 34 გ; ე) 11.2 ლ.

გვ. 70-71 (შემაჯამებელი სავარჯიშოები).

5. გაიზრდება 243-ჯერ; 6. გაიზარდოს 30 °C -ით. 7.  $\gamma = 2$ ; 8. 80 °C

გვ. 78

1. 1.92; 2. 3.29 მოლი/ლ

გვ. 87-88

5.  $[A]=0.5$  მოლი;  $[B]=0.5$  მოლი;  $[D]=1.5$  მოლი. 6. შემცირდებოდა  $\frac{4}{3}$ -ჯერ.  
10. ა) 28.65; ბ) 48.33; გ) 0.001; დ) 410

გვ. 89-102 (თემის შემაჯამებელი სავარჯიშოები)

8. გ) 168 კვ; 17. გ) 277.5 კვ; 18. ბ) 13100 კვ; 19. დ) 5.08 გ; 23. ე) 179.2 ლ; 24. დ) 0.004 გ.

## გამოყენებული რესურსები:

1. <http://chemistry.ge/>

2. <https://el.ge>

3. <https://iupac.org>

4. <https://www.cas.org>

5. <https://www.britannica.com>

6. <https://chem.libretexts.org>

7. <https://www.acs.org>

სურათები:

<https://www.shutterstock.com/>