განათლების, მეცნიერებისა და
ახალგაზრდობის სამინისტრო

ქიმია 10

მოსწავლის წიგნი
პირველი ნაწილი



გიული ანდრონიკაშვილი ლალი ბერიძე
ლალი ტურიაშვილი

ქიმია 10

მოსწავლის წიგნი
პირველი ნაწილი

სახელმძღვანელო შექმნილია
საქართველოს განათლების, მეცნიერებისა და ახალგაზრდობის სამინისტროს მიერ

საქართველოს განათლების, მეცნიერებისა და ახალგაზრდობის სამინისტრო
თბილისი
2026

ქიმია
X კლასი, I ნაწილი
მოსწავლის წიგნი

საქართველოს განათლების, მეცნიერებისა და ახალგაზრდობის სამინისტრო
პირველი გამოცემა, თბილისი, 2026 წ.

ავტორები:
გიული ანდრონიკაშვილი
ლალი ბერიძე
თანაავტორი:
ლალი ტურიაშვილი

საგნის ექსპერტ-კონსულტანტი: სოფიო მშვილდაძე
სამეცნიერო რეცენზენტი: თინათინ ბუთხუზი
ფსიქოლოგი-მეთოდისტი: თამარ ადეიშვილი
რედაქტორი: თამთა გრიგოლია
დამკაბადონებელი: ნანა ესართია
ყდის დიზაინერი: ნინო ხვინგია

სახელმძღვანელო განკუთვნილია მეათე კლასის მოსწავლეებისთვის და შექმნილია ეროვნული სასწავლო გეგმის მოთხოვნების შესაბამისად.
სახელმძღვანელოში გამოყენებულია: ციფრული ლიცენზირებული პლატფორმებიდან შეძენილი/მოპოვებული ფოტოილუსტრაციები; საქართველოს პარლამენტის ეროვნული ბიბლიოთეკის ციფრულ ბიბლიოთეკა „ივერიელში“ დაცული რაფიელ აგლაძის ფოტო; ქიმიურ ლაბორატორიაში გადაღებული ფოტომასალა; ასევე, ცალკეული ფოტოილუსტრაციები შექმნილია/დამუშავებულია ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებით.

სახელმძღვანელოს კომპლექტის შემადგენლობა:
მოსწავლის წიგნი I და II ნაწილები;
მასწავლებლის წიგნი I და II ნაწილები.

საქართველოს განათლების, მეცნიერებისა და ახალგაზრდობის სამინისტრო

© საქართველოს განათლების, მეცნიერებისა და ახალგაზრდობის სამინისტრო
ISBN 978-9941-8-8922-6



ძალა ერთობაშია

თავისუფლება

ჩემი ხატია სამშობლო,
სახატე მთელი ქვეყანა,
განათებული მთა-ბარი,
წილნაყარია ღმერთთანა.
თავისუფლება დღეს ჩვენი
მომაყალს უმღერს დიდებას,
ცისკრის ვარსკვლავი ამოდის
და ორ ზღვას შუა ბრწყინდება,
დიდება თავისუფლებას,
თავისუფლებას დიდება.

მოუსმინეთ ჰიმნს

ლექსი დავით მაღრაძისა
მუსიკა ზაქარია ფალიაშვილისა
ჰიმნად დაამუშავა იოსებ კეკელიძემ

სარჩევი

თემა I. ქიმიური რეაქციები და მათი მართვა

თავი 1. ქიმიური რეაქციის ენერგეტიკული დახასიათება 7

1.1. ქიმიური რეაქციის სითბური ეფექტი 8

1.2. ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობისას ენერგეტიკული ცვლილებების ანალიზი .. 15

შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები 20

თავი 2. ქიმიური კინეტიკა 21

2.1. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე 22

2.2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე მოქმედი ფაქტორები 29

2.2.1. მორეაგირე ნივთიერებათა ბუნების გავლენა 29

2.2.2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე მორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაციების გავლენა 30

2.2.3. ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე ტემპერატურის გავლენა 36

2.2.4. ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე კატალიზატორის გავლენა 40

შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები 45

2.3. ქიმიური წონასწორობა 46

2.4. წონასწორობის გადახრის პირობები. ლე შატელიეს პრინციპი 52

შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები 61

თავი 3. ჟანგვა-აღდგენის რეაქციები 63

3.1. ჟანგვის რიცხვი 64

3.2. ჟანგვა-აღდგენის რეაქციების ზოგადი დახასიათება 68

3.3. ჟანგვა-აღდგენის რეაქციების ტოლობების შედგენა 72

3.4. ელექტროლიზი 76

შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები 82

პასუხები 84

დანართები 85

ქიმბოტი

თქვენ უკვე იცით, რომ ქიმია ექსპერიმენტული მეცნიერებაა, ექსპერიმენტი კი მოითხოვს მუშაობის პროცესში უსაფრთხოების წესების მკაცრ დაცვას!

ლაბორატორიაში მუშაობის წესები

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

კატეგორიულად აკრძალულია ლაბორატორიაში ექსპერიმენტზე მუშაობა ლაბორანტის ან მასწავლებლის მეთვალყურეობის გარეშე.

ქიმიურ ლაბორატორიაში არსებული ნივთიერებების – ქიმიური რეაქტივების – უმეტესობა უსაფრთხო არ არის; ზოგი **მომწამლავია**, ზოგი კი კანზე და ქსოვილზე მოხვედრისას **იწვევს დამწვრობას**. ბევრი მათგანი **ადვილად აალებადი** და **ფეთქებადია** და ა. შ. ამიტომ ნივთიერებებთან მუშაობისას საჭიროა დაიცვათ შემდეგი წესები:

- ☑ მკაცრად დაიცავით რეაქტივების ეტიკეტზე მითითებული უსაფრთხოების ნიშნები;
- ☑ ხელით არ შეეხოთ რეაქტივებს და არ გაუსინჯოთ გემო;
- ☑ ნივთიერების სუნის გასარკვევად თავმოხდილი ჭურჭელი არ მიიტანოთ ცხვირთან ახლოს. საჭიროა ხელის მოძრაობით შეარხიოთ ჰაერის ნაკადი და მიმართოთ თქვენკენ;
- ☑ თუ შემთხვევით გადმოასხით ან გადმოყარეთ ჭურჭლიდან ზედმეტი ნივთიერება, უკან ჭურჭელში ნუ ჩააბრუნებთ;
- ☑ რეაქტივები უნდა ინახებოდეს თავდახურულ ჭურჭელში;
- ☑ თქვენთვის უცნობი ნივთიერებები მასწავლებლის მითითების გარეშე არ შეურიოთ;
- ☑ ცდის ჩატარებისას ყოველთვის ისარგებლეთ სუფთა ლაბორატორიული ჭურჭლით;
- ☑ ერთი და იმავე კოვზით ან შპატელით არ აიღოთ სხვადასხვა რეაქტივი;
- ☑ გამოყენებული რეაქტივები მოაგროვეთ სპეციალურ ჭურჭელში, არ ჩაასხათ წყალსადენის მილში;
- ☑ განსაკუთრებით დიდი სიფრთხილით იმუშავეთ ისეთ ნივთიერებებთან (ტუტეები, მჟავები), რომელთა კანზე მოხვედრა იწვევს დამწვრობას. შემთხვევით ტანსაცმელზე ან კანზე მათი მოხვედრისას სასწრაფოდ ჩამოირეცხეთ გამდინარე წყლის ნაკადით;
- ☑ აქროლად, მომწამლავ ნივთიერებებთან იმუშავეთ მხოლოდ ამწოვ კარადაში;
- ☑ სამუშაოს დამთავრების შემდეგ მოაწესრიგეთ თქვენი სამუშაო მაგიდა.

ყურადღება!
რეაქტივებზე დატანილი **გამაფრთხილებელი ნიშნების** გათვალისწინება აუცილებელია!



აალებადი



მომწამლავი



ფეთქებადი



წვავს კანსა და ქსოვილს



აღიზიანებს ლორწოვან გარსს

სახელმძღვანელოში გამოყენებული ჩუბრიკები

რას ისწავლით

პარაგრაფში შესასწავლ საკითხებზე მოკლე ინფორმაცია

გაიხსენეთ

გაიაზრეთ

პარაგრაფში ჩართული კითხვები ახალი მასალის უკეთ აღქმისა და გააზრებისათვის

პრაქტიკული სამუშაო თეორიული ცოდნის გასამყარებლად და სიღრმისეული ანალიზისათვის

ექსპერიმენტი

უსაფრთხოების ნიშნები – ექსპერიმენტის მიმდინარეობისას დასაცავი სავალდებულო წესები

მაგალითი

პარაგრაფში ჩართული ამოცანის ამოხსნის ნიმუში, რომელიც დაგეხმარებათ მასალის გაანალიზებაში

რა ისწავლეთ

პარაგრაფში განხილული მასალის საფუძველზე მიღებული დასკვნები

ქიმია ყოფა-ცხოვრებაში

თემასთან დაკავშირებული დამატებითი საინტერესო ინფორმაცია

ტიპური ამოცანების ამოხსნა

სხვადასხვა სირთულის ამოცანის ამოხსნის ნიმუშები (ალგორითმი)

საშინაო აქტივობა

დამოუკიდებლად შესასრულებელი საშინაო დავალება

შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები

შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები მიღებული ცოდნის შესამოწმებლად

თემა I. ქიმიური რეაქციები და მათი მართვა

თავი 1 | ქიმიური რეაქციის ენერგეტიკული დახასიათება



ამ თავში გაეცნობით:

- ენერგეტიკულ ცვლილებებს ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობისას
- ეგზოთერმულ და ენდოთერმულ რეაქციებს
- სითბური ეფექტის ცნებასა და თერმოქიმიური ტოლობის შედგენას
- რა როლი აქვს ენერგეტიკულ პროცესებს ბუნებასა და ყოფა-ცხოვრებაში

1.1. ქიმიური რეაქციის სითბური ეფექტი

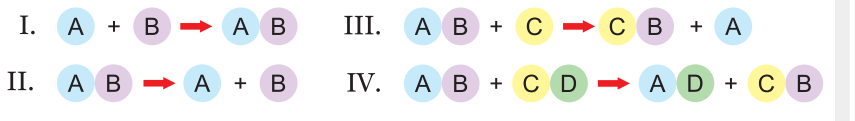
რას ისწავლით

- გაეცნობით რეაქციის სითბურ ეფექტს;
- შეძლებთ თერმოქიმიური ტოლობის გამოყენებით რაოდენობითი გამოთვლების წარმოებას;
- გააანალიზებთ ეგზოთერმულ და ენდოთერმულ რეაქციებში ენერგეტიკულ ცვლილებებს.

ჩვენ ვცხოვრობთ განსხვავებული თვისებების მქონე უამრავი ნივთიერების გარემოცვაში. სწორედ ნივთიერებათა მრავალგვარობა განაპირობებს სამყაროს მრავალფეროვნებას. მრავალგვარია არა მარტო ნივთიერება, არამედ ნივთიერებებს შორის მიმდინარე ქიმიური რეაქციაც.

გაიხსენეთ

1. რა ნიშნებით შეიძლება ამოიცნოთ ქიმიური პროცესების მიმდინარეობა?
2. დააკვირდით სქემას, რეაქციის რომელ ტიპს მიეკუთვნება თითოეული მათგანი და განმარტეთ.



3. რომელ კანონებს ეფუძნება ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობის ამსახველი ქიმიური ტოლობის შედგენა?
4. რა ენერგეტიკული ცვლილებები შეგიმჩნევიათ ქიმიური გარდაქმნის პროცესში?



ქიმიური რეაქციის ენერგეტიკული დახასიათება

ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობისას ენერგეტიკული ცვლილება – სითბოს გამოყოფა ან შთანთქმა – დაკავშირებულია შესაბამის ტემპერატურულ ცვლილებასთან. ამის დასაბუთებას წარმოადგენს მოცემული ექსპერიმენტი.

ექსპერიმენტი



ექსპერიმენტის მიზანი:

დაკვირვება ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობისას ენერგეტიკულ ცვლილებებზე

რეაქტივები:	**ხელსაწყოები:**
წყალი; კალციუმის ოქსიდი (CaO); რკინის ნაქლიბი; გოგირდის ფხვნილი; ბარიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარი – $Ba(OH)_2$; ამონიუმის ქლორიდის ხსნარი (NH_4Cl); კალციუმის კარბონატი ($CaCO_3$)	ფაიფურის ჯამი; ქიმიური ჭიქა; სინჯარა; ტიგელი; პიპეტი; სპირტქურა; შტატივი მომჭერი თათით; შტატივის რგოლი; გამანაწილებელი ბადე

ცდა 1

აიღეთ ფაიფურის ჯამი და ჩაყარეთ 5 გ ჩაუმქრალი კირი (კალციუმის ოქსიდი). პიპეტით დაამატეთ მცირე რაოდენობით წყალი.

ამ დროს ისეთი დიდი რაოდენობით გამოიყოფა სითბო, რომ წყალი იწყებს დუღილს (სურ. 1 ბ).



სურ. 1. კალციუმის ოქსიდის წყალთან ურთიერთქმედება (ბ)

ცდა 2

სინჯარაში მოათავსეთ 1,4 გ რკინის ნაქლიბისა და 0,8 გ გოგირდის ფხვნილის ნარევი. სინჯარა დაამაგრეთ შტატივზე მომჭერისა და თათის საშუალებით, გაახურეთ სპირტქურის ალზე.

ნარევს მხოლოდ საწყის ეტაპზე სჭირდება გახურება, შემდეგ პროცესი გრძელდება მკვეთრი, წითელი შეფერილობის ნათებით (სურ. 2).



სურ. 2. რკინა(II)-ის სულფიდის წარმოქმნა

ცდა 3

ტიგელში ჩაყარეთ 3 გ კალციუმის კარბონატი, დადგით შტატივის რგოლზე მოთავსებულ გამანაწილებელ ბადეზე და გაახურეთ სპირტქურის ალზე.

კალციუმის კარბონატი იწყებს დაშლას კალციუმის ოქსიდად და ნახშირბად(IV)-ის ოქსიდად (სურ. 3).



სურ. 3. კალციუმის კარბონატის დაშლა

ცდა 4

ქიმიური ჭიქა მოათავსეთ ხის სველ ნაჭერზე და ჩაასხით ბარიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარი. დაუმატეთ ამონიუმის ქლორიდის (ნიშადურის) ხსნარი.

ტემპერატურა იმდენად მკვეთრად ეცემა დაბლა, რომ ჭიქა ხის ნაჭერს მიეყინება (სურ. 4).



სურ. 4. ბარიუმის ჰიდროქსიდის ურთიერთქმედება ამონიუმის ქლორიდთან

ექსპერიმენტის ანალიზი:

როგორც ვხედავთ, პირველი ორი რეაქცია წარიმართა სითბოს გამოყოფით, მე-3 და მე-4 რეაქციები – სითბოს შთანთქმით.

მაშასადამე:

ქიმიურ რეაქციას ყოველთვის თან ახლავს ენერგეტიკული ცვლილებები;

სითბოს გამოყოფით მიმდინარე რეაქციებს **ეგზოთერმული** (ბერძნულად „ეგზო“ – გარეთ) რეაქციები ეწოდება;

სითბოს შთანთქმით მიმდინარე რეაქციებს **ენდოთერმული** (ბერძ. „ენდო“ – შიგნით) რეაქციები ეწოდება.

ქიმიური რეაქციის დროს გამოყოფილ ან შთანთქმულ სითბოს რაოდენობას რეაქციის სითბური ეფექტი ეწოდება. იგი აღინიშნება Q-ასოთი და იზომება კილოჯოულებში (კჯ).

მეცნიერების დარგს, რომელიც სწავლობს ქიმიური რეაქციებით გამოწვეულ სითბურ პროცესებს, ეწოდება **თერმოქიმია**. ქიმიურ ტოლობას, რომელშიც მითითებულია რეაქციის სითბური ეფექტი, **თერმოქიმიური ტოლობა** ეწოდება. თერმოქიმიური ტოლობის შედგენისას სითბური ეფექტი, ჩვეულებრივ, ტოლობის მარჯვენა მხარეს იწერება.

სითბური ეფექტის მნიშვნელობის წინ ნიშანი „პლუსი“ **(+Q)** აღნიშნავს სითბოს გამოყოფას და მიუთითებს, რომ რეაქცია ეგზოთერმულია. ენდოთერმული რეაქციების თერმოქიმიურ ტოლობაში სითბური ეფექტი უარყოფითი ნიშნით **(–Q)** აღინიშნება.

► თერმოქიმიურ ტოლობაში ნივთიერებათა აგრეგატული მდგომარეობის აღნიშვნებია: მყარი – (მყ); თხევადი – (თხ); აირადი – (ა); ნივთიერება ხსნარშია – (ხს).

განხილული ექსპერიმენტის შესაბამისი თერმოქიმიური ტოლობებია:

1. $CaO(მყ) + H_2O(თხ) \rightarrow Ca(OH)_2(ხს) + Q$
2. $Fe(მყ) + S(მყ) \rightarrow FeS(მყ) + Q$
3. $CaCO_3(მყ) \rightarrow CaO(მყ) + CO_2(ა) - Q$
4. $2NH_4Cl(ხს) + Ba(OH)_2(ხს) \rightarrow BaCl_2(ხს) + 2NH_3(ა) + 2H_2O(თხ) - Q$

თერმოქიმიურ ტოლობაში რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებათა კოეფიციენტები შეესაბამება მათ რაოდენობებს მოლებში. ამიტომ თერმოქიმიურ ტოლობაში კოეფიციენტი შეიძლება გამოისახოს წილადითაც.

$$H_2O(თხ) \rightarrow H_2(ა) + \frac{1}{2}O_2(ა) - 286 \text{ კჯ}$$

? გაიაზრეთ

- როგორ უნდა დავადგინოთ ეგზოთერმულია თუ ენდოთერმული მიმდინარე ქიმიური პროცესი?

ქიმიური რეაქციის დასაწყებად ხშირად საჭიროა სარეაქციო ნარევის გაცხელება (ცდა 2; 3).

თუ რეაქცია ეგზოთერმულია, მაშინ გაცხელებისას სარეაქციო არის ტემპერატურა მკვეთრად იზრდება და ზოგჯერ შეიძლება აფეთქებითაც დამთავრდეს.

თუ რეაქცია ენდოთერმულია, მაშინ გახურებისას რეაქციის პროცესში ნარევის ტემპერატურა არ იცვლება.

წყლის დაშლის რეაქცია ენდოთერმულია და ენერგიის მიწოდებას საჭიროებს მთელი პროცესის განმავლობაში:

$$2H_2O(თხ) \rightarrow 2H_2(ა) + O_2(ა) - 572 \text{ კჯ}$$

წყლის დაშლის საპირისპირო პროცესი – წყლის წარმოქმნის რეაქცია – ეგზოთერმულია:

$$2H_2(ა) + O_2(ა) \rightarrow 2H_2O(თხ) + 572 \text{ კჯ}$$

როგორც ვხედავთ, პირდაპირი და საპირისპირო რეაქციების სითბური ეფექტის მნიშვნელობები რიცხობრივად ტოლია, მაგრამ ნიშნით – საწინააღმდეგო.

რა ისწავლეთ

- ქიმიური გარდაქმნები ყოველთვის მიმდინარეობს ენერგეტიკული ცვლილებით – სითბოს გამოყოფით ან შთანთქმით;
- პირდაპირი და საპირისპირო რეაქციების სითბური ეფექტის მნიშვნელობები რიცხობრივად ტოლია, მაგრამ ნიშნით – საწინააღმდეგო.

ახალი ტერმინები

- ეგზოთერმული
- ენდოთერმული
- თერმოქიმია
- სითბური ეფექტი
- თერმოქიმიური ტოლობა

ქიმიის ისტორიიდან

კალორიმეტრი და კალორია

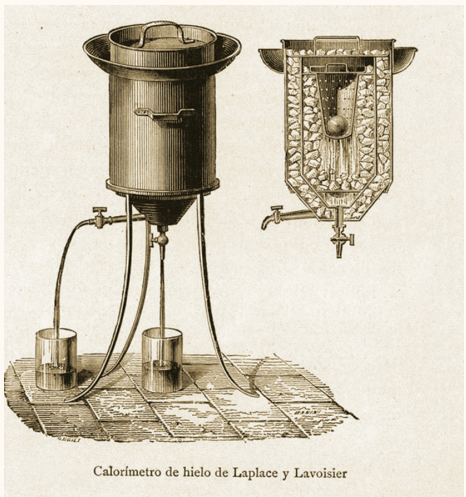
დღეს ყველა საკვებს, რომელიც შეფუთულია ქარხნულად, აწერია საკვები პროდუქტის კალორიებში ასახული ენერგეტიკული ღირებულება. ერთი კალორია (ლათინურად calor – სითბო) სითბოს რაოდენობაა, რომელიც საჭიროა ერთი გრამი წყლის ერთი გრადუსით გასათბობად. 1 კალორია 4,184 ჯოულია.

სითბოს რაოდენობის ექსპერიმენტულად გასაზომი ხელსაწყო არის კალორიმეტრი, რომლითაც ისაზღვრება სხვადასხვა ფიზიკური, ქიმიური, ბიოლოგიური პროცესის დროს (საკვების წვის ჩათვლით) გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა.

სითბოს გამოსათვლელი პირველი ხელსაწყო 1759-1763 წლებში შექმნა შოტლანდიელმა მეცნიერმა ჯოზეფ ბლეკმა.

პირველი კალორიმეტრი იყო ყინულის. შიდა კამერაში ათავსებდნენ საკვლევ ობიექტს, რომელიც გამოყოფდა სითბოს. იგი გარშემორტყმული იყო ყინულით ან თოვლით შევსებული პერანგით. საკვლევი ობიექტიდან გამოყოფილი სითბო ადნობდა ყინულს, რომელიც გროვდებოდა სპეციალურ ჭურჭელში. ყინულის დნობით მიღებული წყლის მიხედვით ხდებოდა ობიექტის მიერ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის გამოთვლა.

1782-1783 წლებში ფრანგმა მეცნიერებმა ანტუან ლავუაზიემ და პიერ-სიმონ ლაპლასმა შექმნეს სრულყოფილი ყინულის კალორიმეტრი (სურ. 5) და ამ, ერთი შეხედვით, მარტივი ხელსაწყოს დახმარებით განსაზღვრეს მრავალი ქიმიური რეაქციის: ნახშირის, წყალბადის, ფოსფორის, შავი დენთის და სხვ. წვის სითბო. ამით საფუძველი ჩაეყარა თერმოქიმიას.



სურ. 5. ყინულის ერთ-ერთი პირველი კალორიმეტრი (XVIII საუკუნის ილუსტრაცია).

იმავე წლებში ლავუაზიემ კალორიმეტრში მოათავსა ზღვის გოჭი. მისი სუნთქვისას გამოყოფილმა სითბომ გაალღო ყინული კალორიმეტრის პერანგში. ლავუაზიემ გამოთქვა მოსაზრება, რომ ცხოველის სუნთქვა სანთლის წვის მსგავსია, რის ხარჯზეც ორგანიზმში შენარჩუნებულია სითბოს აუცილებელი ბალანსი.

XIX საუკუნის პირველ ნახევარში კალორიმეტრში საკვები ნიმუშების წვაზე ცდებს ატარებდა გერმანელი ქიმიკოსი იუსტუს ფონ ლიბიხი, რომელიც იზიარებდა ლავუაზიეს მოსაზრებას, რომ საკვები ისეთივე საწვავია ორგანიზმისათვის, როგორც შეშა – ღუმელისათვის.

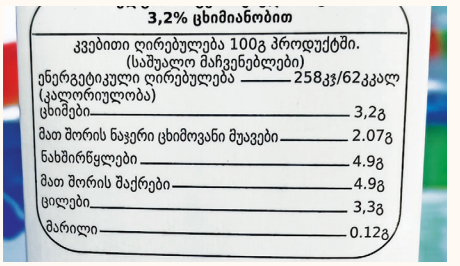
ლიბიხის საქმის გამგრძელებელი გახდა ამერიკელი აგროქიმიკოსი ვილბურ ოლინ ეტვოტერი. მან პირველმა შეძლო ექსპერიმენტულად ნახშირწყლების, ცილებისა და ცხიმების კალორიულობის განსაზღვრა და შექმნა სქემა (1896 წელს), რომლის მიხედვითაც ნებისმიერი საკვები პროდუქტის კალორიულობის გამოთვლა შეიძლება:

საკვები ნივთიერება	კკალორია 1 გრამზე
ნახშირწყლები	4
ცილები	4
ცხიმები	9
ეთილის სპირტი	7

ამრიგად, როდესაც ნებისმიერი პროდუქტის ეტიკეტზე კვებით ღირებულებას – კალორიებს – კითხულობთ, თქვენ ეტვოტერის შრომის შედეგს ხედავთ.



სურ. 6. ვილბურ ოლინ ეტვოტერი (1844-1907)



სურ. 7. კვებითი ღირებულება ეტიკეტზე

დღეისათვის კალორიმეტრიული მეთოდის სიზუსტე მნიშვნელოვნად არის გაზრდილი.

ტიპური ამოცანების ამოხსნა

ამოცანა 1

კალორიმეტრში დაწვეს 1გ ნახშირი და გაზომეს ამ დროს გამოყოფილი სითბო. იგი აღმოჩნდა 32,75 კჯ-ის ტოლი. ამ მონაცემების საფუძველზე შეადგინეთ რეაქციის თერმოქიმიური ტოლობა სითბური ეფექტის მნიშვნელობის მითითებით.

ამოხსნა:

მოც.:
$m(C) = 1$ გ
$Q_1 = 32,75$ კჯ

$Q = ?$

$$C(მყ) + O_2(ა) \rightarrow CO_2(ა)$$

ექსპერიმენტის მონაცემების მიხედვით, თუ 1გ ნახშირის წვის დროს გამოიყო 32,75 კჯ სითბო, მაშინ 12გ ანუ 1 მოლი ნახშირის წვისას წარმოიქმნება

$12 \cdot 32,75$ კჯ $= 393$ კჯ სითბო.

პასუხი: თერმოქიმიური ტოლობა მიიღებს სახეს:

$$C(მყ) + O_2(ა) \rightarrow CO_2(ა) + 393 \text{ კჯ}.$$

ამოცანა 2

ნახშირის წვის თერმოქიმიური ტოლობაა: $C(მყ) + O_2(ა) \rightarrow CO_2(ა) + 393$ კჯ. რა მასის ნახშირი დაიწვა, თუ რეაქციის დროს გამოიყო 589,5 კჯ სითბო?

ამოხსნა:

მოც.:
$Q_1 = 589{,}5$ კჯ
$Q = 393$ კჯ

$m(C)$?

თუ 393 კჯ სითბო გამოიყო 1 მოლი ანუ 12 გ ნახშირის წვისას, 589,5 კჯ სითბო გამოიყოფა:

$$m(C) = \frac{589{,}5 \text{ კჯ}}{393 \text{ კჯ/მოლი}} \cdot 12 \text{ გ/მოლი} = 18 \text{ გ ნახშირის წვისას.}$$

პასუხი: 18 გ.

ამოცანა 3

ფოსფორის წვის თერმოქიმიური ტოლობაა: $4P(მყ) + 5O_2(ა) \rightarrow 2P_2O_5(მყ) + 3010$ კჯ. გამოთვალეთ 62 გ ფოსფორის წვის დროს გამოყოფილი სითბო.

ამოხსნა:

მოც.:
$m(P) = 62$ გ
$Q = 3010$ კჯ

Q_1 = ?

$$n(P) = \frac{62 \text{ გ}}{31 \text{ გ/მოლი}} = 2 \text{ მოლი}$$

$n = \frac{m}{M}$ $M(P) = 31$ გ/მოლი

რეაქციის მიხედვით 4 მოლი ფოსფორის წვისას გამოიყოფა 3010 კჯ სითბო.

2 მოლის წვისას გამოიყოფა $\frac{3010 \text{ კჯ}}{4 \text{ მოლი}} \cdot 2$ მოლი = 1505 კჯ.

პასუხი: 1505 კჯ.

ამოცანა 4

რა მოცულობის ჟანგბადი (ნ.პ.) გამოიყოფა ქიმიური რეაქციის დროს, რომლის თერმოქიმიური ტოლობაა: $2KClO_3(მყ) \rightarrow 2KCl(მყ) + 3O_2(ა) - 91$კჯ, თუ ბერთოლეს მარილის ($KClO_3$) დაშლისას დაიხარჯა 182 კჯ სითბო?

ამოხსნა:

მოც.:
$Q = -91$ კჯ
$Q_1 = -182$ კჯ

$V(O_2)$ = ?

$V_M = \frac{V}{n}$ (ლ/მოლი) $V = nV_M$(ლ)

რეაქციის მიხედვით:

3 მოლი ჟანგბადის მიღებისას შთაინთქმება 91 კჯ სითბო
x მოლი ---------- 182 კჯ სითბო

$x = 6$ მოლი

გამოთვალეთ ჟანგბადის მოცულობა:

$V(O_2) = 6$ მოლი $\cdot$ 22,4 ლ/მოლი = 134,4 ლ.

პასუხი: 134,4 ლ.

საშინაო აქტივობა

1. ჩამოთვლილთაგან რომელი მიეკუთვნება ეგზოთერმულ და რომელი – ენდოთერმულ პროცესებს? გადახაზეთ ცხრილი სამუშაო რვეულში და შეავსეთ. პასუხი დაასაბუთეთ.

1	კირის ჩაქრობა	
2	ყინულის ლღობა	
3	სპირტის აქროლება	
4	გოგირდმჟავას ხსნარის განზავება	
5	ნატრიუმის ურთიერთქმედება წყალთან	

2. იზიარებთ თუ არა ანტუან ლავუაზიეს აზრს, რომ „საკვები ისეთივე საწვავია ორგანიზმისათვის, როგორც შეშა – ღუმელისათვის“. ამის გათვალისწინებით რა შეგიძლიათ თქვათ ცილების, ცხიმებისა და ნახშირწყლების შესახებ. რომელ მათგანს აქვს ყველაზე მეტი ენერგეტიკული ღირებულება? დაასაბუთეთ თქვენი მოსაზრება.

3. შეადგინეთ მაგნიუმის წვის თერმოქიმიური ტოლობა, თუ 2,4 გ მაგნიუმის წვისას გამოიყო 60,16 კჯ სითბო.

4. მეთანი ბუნებრივი აირის ძირითადი შემადგენელი ნაწილია (~97%). რა მასის მეთანი უნდა დაიწვას 1780 კჯ სითბოს მისაღებად? რეაქციის სითბური ეფექტი 890 კჯ-ის ტოლია.

5. აცეტილენის ჟანგბადში წვის რეაქცია გამოყენებულია მეტალების ჭრისა და შედუღებისათვის. მისი სრული წვის რეაქციის თერმოქიმიური ტოლობაა:

$$2C_2H_2(ა) + 5O_2(ა) \rightarrow 4CO_2(ა) + 2H_2O(თხ) + 2610 \text{ კჯ}.$$

გამოთვალეთ, რა რაოდენობის სითბო გამოიყოფა, თუ რეაქციაში შევიდა:

ა) 1 მოლი აცეტილენი
ბ) 0,5 მოლი ჟანგბადი
გ) 11,2 ლ (ნ.პ.) აცეტილენი
დ) 224 ლ (ნ.პ.) ჟანგბადი

6. რა შემთხვევაში გამოიყოფა მეტი სითბო – 1 მოლი მეთანის, თუ 1 მოლი აცეტილენის წვისას?

1.2. ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობისას ენერგეტიკული ცვლილებების ანალიზი

ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობისას წყდება მორეაგირე ნივთიერებათა შედგენილობაში შემავალ ატომებს შორის კავშირები – ქიმიური ბმები და წარმოიქმნება ახალი ბმები, ე.ი. ახალი ნივთიერებები. **ბმების გაწყვეტისას ენერგია ყოველთვის იხარჯება, ხოლო ბმების წარმოქმნისას – გამოიყოფა.** ამ ენერგიებს შორის სხვაობის გამო ქიმიურ რეაქციებს ყოველთვის თან ახლავს ენერგეტიკული ცვლილებები – ენერგიის გამოყოფა ან შთანთქმა.

ენერგიას, რომელიც იხარჯება ნივთიერებაში არსებული 1 მოლი ერთი და იმავე ბმის გასაწყვეტად ან გამოიყოფა იმავე რაოდენობის ბმის წარმოქმნისას, ეწოდება ქიმიური ბმის ენერგია.

ცხრილი 1. ზოგიერთი კოვალენტური ბმის ენერგიის მნიშვნელობა

ბმა	ენერგია (კჯ/მოლი)	ბმა	ენერგია (კჯ/მოლი)
H—H	436	O—O	146
H—F	565	S—O	265
H—Cl	431	F—F	159
H—Br	366	Cl—Cl	242
H—I	300	Br—Br	193
C—H	413	I—I	151
C—C	346	C═C	612
C—Cl	330	C═O	799
C—O	358	S═O	523
N—H	391	O═O	495
N—N	160	C≡C	839
O—H	463	N≡N	946

ცხრილის მონაცემებს თუ დავაკვირდებით, დავინახავთ დიდ სხვაობას ქიმიური ბმების ენერგიებს შორის. ეს რიცხვები განსაზღვრავენ ამ ბმების შემცველი ნივთიერებების თვისებებსა და მათ შესაბამისად გამოყენებას (სურ. 1; 2).



სურ.1. მტკიცე სამმაგი ბმის გამო აზოტი ინერტული და მდგრადი აირია. სწორედ ამიტომ, სპორტული ავტომობილებისა და თვითმფრინავების საბურავებს აზოტით ბერავენ, რადგან ასეთი საბურავები ექსტრემალურ ტემპერატურასა და წნევას უძლებს.

რას ისწავლით

- გაეცნობით, რატომ მიმდინარეობს ქიმიური რეაქციები სითბოს გამოყოფით ან შთანთქმით;
- შეძლებთ რეაქციის მიმდინარეობისას გამოყოფილი ან შთანთქმული სითბოს რაოდენობის გამოთვლას;
- შეაფასებთ, რა როლი აქვს ენერგეტიკულ პროცესებს ბუნებასა და ყოფა-ცხოვრებაში.



სურ. 2. სუსტი O–O ბმა გვხვდება წყალბადის პეროქსიდში (H_2O_2), რომელიც მედიცინაში ანტისეპტიკურ საშუალებად გამოიყენება. ოთახის სინათლის ენერგიაც კი საკმარისია ამ ნივთიერების დასაშლელად. ამიტომ ინახავენ მას ყოველთვის მუქ, გაუმჭვირვალე ბოთლებში.

როგორ გამოვთვალოთ რეაქციის მიმდინარეობისას გამოყოფილი ან შთანთქმული სითბოს რაოდენობა ბმის ენერგიების მნიშვნელობების გამოყენებით? განვიხილოთ მაგალითები.

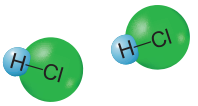
მაგალითი 1. **ეგზოთერმული რეაქციის ანალიზი – ქლორწყალბადის წარმოქმნა**

წყალბადისა და ქლორის ნარევზე მზის სხივების ზემოქმედებით წარმოიქმნება ქლორწყალბადი:

$$H—H + Cl—Cl \rightarrow 2H — Cl$$



სურ. 3. ბმების გაწყვეტა წყალბადისა და ქლორის მოლეკულებში



სურ. 4. ქლორწყალბადის წარმოქმნა

I ეტაპი

მზის ენერგიის ხარჯზე ირღვევა ქიმიური ბმები წყალბადისა და ქლორის მოლეკულებში (სურ. 3).

1-ელი ცხრილის მონაცემებიდან:

Cl—Cl ბმის ენერგიაა 242 კჯ/მოლი;

H—H ბმის ენერგიაა 436 კჯ/მოლი.

1 მოლი H_2 და 1 მოლი Cl_2-ის ბმის ენერგიების ჯამია 678 კჯ.

ბმების გაწყვეტაზე დახარჯული ენერგიაა –678 კჯ.

II ეტაპი

წყალბადისა და ქლორის ატომებიდან წარმოიქმნება ქლორწყალბადის მოლეკულები (სურ. 4). ეს პროცესი მიმდინარეობს ენერგიის გამოყოფით.

1-ელი ცხრილის მონაცემებიდან:

1 მოლი HCl-ის წარმოქმნისას გამოიყოფა 431 კჯ.

2 მოლის წარმოქმნისას გამოიყოფა 2 x 431 = 862 კჯ.

ბმების წარმოქმნისას გამოყოფილი ენერგია +862 კჯ.

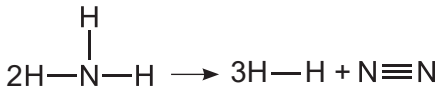
სითბური ეფექტი = –678 კჯ + 862 კჯ = +184 კჯ.

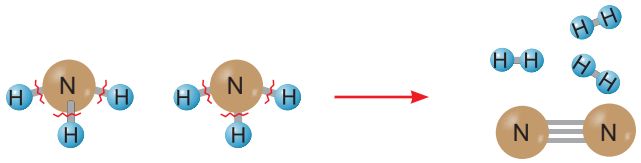
თერმოქიმიური ტოლობაა: $H_2(ა) + Cl_2(ა) \rightarrow 2HCl\ (ა) + 184$ კჯ.

განხილული მაგალითის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ:

ქიმიური რეაქციის დროს თუ **ბმების გაწყვეტაზე ნაკლები ენერგია იხარჯება**, ვიდრე გამოიყოფა ახალი ბმების წარმოქმნისას, რეაქცია **ეგზოთერმულია**.

თუ ამიაკს ძლიერ გავახურებთ, დაიშლება წყალბადად და აზოტად.





სურ. 5. ბმების გაწყვეტა ამიაკის მოლეკულებში

სურ. 6. წყალბადისა და აზოტის მოლეკულების წარმოქმნა

I ეტაპი

ამიაკის მოლეკულაში უნდა დაირღვეს ქიმიური ბმები აზოტისა და წყალბადის ატომებს შორის (სურ. 5). ამისთვის სითბოს ვაწვდით გარედან გამახურებლის დახმარებით.

N–H ბმის ენერგიაა 391 კჯ/მოლი (ცხრ. 1).

რეაქციის ტოლობიდან გამომდინარე უნდა დაირღვეს ექვსი N–H ბმა.

ამ პროცესზე დაიხარჯება:

$$-391\ \text{კჯ} \times 6 = -2346\ \text{კჯ}\ \text{ენერგია.}$$

II ეტაპი

შემდგომ ეტაპზე წყალბადის ატომები, ისევე, როგორც აზოტის ატომები, უკავშირდება ერთმანეთს (სურ. 6). ამ დროს ენერგია გამოიყოფა. წარმოიქმნება H_2 და N_2.

სამი H–H ბმის წარმოქმნისას გამოიყოფა $3 \times 436\ \text{კჯ} = 1308\ \text{კჯ}$ ენერგია.

N≡N ბმის წარმოქმნისას კი გამოიყოფა $946\ \text{კჯ}$ ენერგია.

ჯამური გამოყოფილი ენერგიაა:

$$1308\ \text{კჯ} + 946\ \text{კჯ} = +2254\ \text{კჯ}.$$

სითბური ეფექტი $= -2346\ \text{კჯ} + 2254\ \text{კჯ} = -92\ \text{კჯ}.$

თერმოქიმიური ტოლობაა: $2NH_3(ა) \rightarrow 3H_2(ა) + N_2(ა) - 92\ \text{კჯ}.$

თუ ქიმიური რეაქციის დროს **ბმების გაწყვეტაზე მეტი ენერგია იხარჯება**, ვიდრე გამოიყოფა ახალი ბმების წარმოქმნისას, რეაქცია **ენდოთერმულია**.

ენდოთერმული რეაქციები **ენერგიის წყაროს გამოყენებას** საჭიროებს, ეგზოთერმული რეაქციები კი თვითონ წარმოადგენს **ენერგიის წყაროს** და ამ ენერგიის სასარგებლო მიზნებისათვის გამოყენების საშუალებას იძლევა. ამიტომ ქიმიურ რეაქციებს

იყენებენ არა მხოლოდ ახალი ნივთიერებების, არამედ ენერგიის მისაღებადაც (სურ. 7).



სურ. 7. წყალბადისა და ჟანგბადისაგან წყლის წარმოქმნის რეაქციის სითბური ეფექტი ის ენერგიაა, რომელმაც უნდა გაიყვანოს კოსმოსური ხომალდი ორბიტაზე. რაკეტის წვის კამერებში ეს სითბო გარდაიქმნება გავარვარებული აირის მოლეკულების კინეტიკურ ენერგიად და ქმნის რეაქტიულ ბიძგს.
ფოტო: NASA – Artemis-II-ის გაშვება, 2026 წ. აპრილი.

► ენერგიის მუდმივობისა და გარდაქმნის კანონის თანახმად, ენერგია არც არაფრისგან წარმოიქმნება და არც უკვალოდ ქრება. იგი ერთი ფორმიდან გადადის სხვა ფორმაში, ან ერთი სხეულიდან გადაეცემა სხვა სხეულს.

ქიმიური ენერგიის გარდაქმნა სხვა სახის (სითბურ, სინათლის, მექანიკურ, ელექტრულ) ენერგიად ყოველთვის ხორციელდება **ენერგიის მუდმივობისა და გარდაქმნის კანონის** შესაბამისად. მაგალითად, სათბობის წვისას ქიმიური ენერგია სითბურ ენერგიად გარდაიქმნება, პარაფინის სანთლის წვისას ან ასანთის ღეროს ანთებისას – ქიმიური ენერგია სითბურ და სინათლის ენერგიად, დინამიტის აფეთქებისას – ნაწილობრივ მექანიკურ ენერგიად, აკუმულატორებში კი ელექტრულ ენერგიად გარდაიქმნება და ა.შ.

ეგზოთერმული რეაქციების მაგალითებია:

სათბობის წვა. სათბობის წვის სითბოს ვიყენებთ საცხოვრებელი ბინის გასათბობად, საკვების მოსამზადებლად, სამრეწველო და სამეურნეო საქმიანობისას და სხვ.

სუნთქვა. სუნთქვის პროცესში ორგანიზმი ჰაერიდან იღებს ჟანგბადს, რომელიც მონაწილეობს მასში მიმდინარე ნივთიერებათა ცვლის პროცესებში. სუნთქვის პროცესში წარმოქმნილი ენერგია ამარაგებს გულსა და ფილტვებს, ათბობს სხეულს, ანიჭებს საჭირო ენერგიას მოძრაობისათვის.

ენდოთერმული რეაქციების მაგალითებია:

მადნებიდან მეტალების მიღება; კვების მრეწველობაში საკვები პროდუქტების წარმოება და სხვ.

ფოტოსინთეზი. პროცესი მცენარის მწვანე ფოთლებში მზის სხივების მოქმედებით მიმდინარეობს. მასში მონაწილეობს წყალი და ჰაერში დაგროვილი ნახშირორჟანგი:

$$6CO_2(ა) + 6H_2O(თხ) \rightarrow C_6H_{12}O_6(მყ) + 6O_2(ა) - 2803 \text{ კჯ}$$

პროცესი მნიშვნელოვანი და ძლიერ ენდოთერმულია, დიდი რაოდენობით მზის ენერგიას საჭიროებს. ფოტოსინთეზი უზრუნველყოფს ნახშირბად(IV)-ის ოქსიდის წარმოქმნაზე დახარჯული ჟანგბადის სრულ აღდგენასა და ჰაერში ჟანგბადის შემცველობის მუდმივობას.

რა ისწავლეთ

- ქიმიური ბმის ენერგიების მნიშვნელობების მიხედვით ქიმიური რეაქციის სითბური ეფექტის დადგენა და თერმოქიმიური ტოლობის შედგენა.

„ჯიბის კოცონი“ – ხელის გამათბობელი

ზამთრის ექსტრემალური სპორტის მიმდევრები (ალპინისტები, მოთხილამურეები) იყენებენ პატარა ერთჯერად სათბურას, რომელიც ხელთათმანებში იდება. იგი ორშრიანია: გარედან ჰერმეტული პოლიეთილენია, შიგნით კი – ფოროვანი ქაღალდი, რომელშიც მოთავსებულია რკინის ფხვნილი, მარილი, წყალი, გააქტივებული ნახშირი. პოლიეთილენის გახსნისთანავე, ქაღალდის ფორებიდან ჟანგბადი აღწევს ფხვნილამდე და იწყება რკინის სწრაფი ჟანგვა. მარილი და წყალი კატალიზატორებია და ამ პროცესს აჩქარებს. ტემპერატურა ადის 50°C-დან 65°C-მდე. ეს ეგზოთერმული რეაქცია (რკინის სრულად დაჟანგვამდე) 6-10 საათის განმავლობაში სასიამოვნო სითბოს წყაროა.



სურ. 8. ხელის გამათბობელი

„ქიმიური ყინული“ – პირველადი დახმარება

სპორტული ტრავმების დროს სასწრაფო დახმარების ექიმები იყენებენ სწრაფი გაცივების პაკეტს. ეს არის მტკიცე პოლიეთილენის შეფუთვა, რომელშიც ამონიუმის ნიტრატის (NH_4NO_3) ან შარდოვანას მშრალი კრისტალები და წყლით სავსე პატარა, შიდა პარკია მოთავსებული.

როგორ მუშაობს? პაკეტზე ხელის დაჭერით შიდა პარკი სკდება და კრისტალები წყალს ერევა. მარილის გახსნისთვის საჭირო ენერგია იმდენად დიდია, რომ სისტემა სითბოს გარემოდან შთანთქავს და პაკეტის ტემპერატურა წამებში ეცემა დაახლოებით –4°C-მდე. სიცივე ავიწროებს სისხლძარღვებს და ამცირებს შეშუპებასა და ტკივილს.



სურ. 9. ქიმიური ყინული

საშინაო აქტივობა

1. წყალბადის ზეჟანგის 3%-იანი წყალხსნარი მედიცინაში გამოიყენება ანტისეპტიკურ საშუალებად. იგი ნელა იშლება წყლისა და ჟანგბადის წარმოქმნით. მისი დაშლის პროცესის ამსახველი ტოლობაა:

$$2H_2O_2(\text{ხს}) \rightarrow 2H_2O(\text{თხ}) + O_2(\text{ა})$$

$$2H–O–O–H \rightarrow 2H–O–H + O=O$$

გამოთვალეთ რეაქციის სითბური ეფექტი და დაწერეთ მისი თერმოქიმიური ტოლობა. გამოიყენეთ ბმის ენერგიის მონაცემები (ცხრ. 1, გვ. 15).

2. მეთანის წვა ეგზოთერმული პროცესია.

$$CH_4(\text{ა}) + 2O_2(\text{ა}) \rightarrow CO_2(\text{ა}) + 2H_2O(\text{ა}) + Q$$

ა) ბმების გაწყვეტისა და წარმოქმნის ენერგიების გათვალისწინებით ახსენით, რატომაა ეს რეაქცია ეგზოთერმული?

ბ) გამოთვალეთ 1 გ მეთანის წვისას გამოყოფილი ენერგია.

3. გამოიყენეთ ბმის ენერგიის მონაცემები (გვ. 15, ცხრ. 1) და გამოთვალეთ მარტივი ნივთიერებებიდან HF-ის წარმოქმნის სითბური ეფექტი. დაწერეთ თერმოქიმიური ტოლობა.

შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები

1. ჩამოთვლილთაგან რომელი მიეკუთვნება ეგზოთერმულ და რომელი – ენდოთერმულ პროცესებს? პასუხი დაასაბუთეთ.

ა) ავტომობილის ძრავაში წვის რეაქცია
ბ) კირქვის გამოწვა
გ) კონდენსაცია
დ) წყლის აორთქლება

2. 18 გ ალუმინის ურთიერთქმედებისას ჟანგბადთან გამოიყო 547 კჯ სითბო. როგორ ჩაიწერება ამ რეაქციის თერმოქიმიური ტოლობა?

3. კალციუმის კარბონატის დაშლის თერმოქიმიური ტოლობაა:

$CaCO_3$(მყ) → CaO(მყ) + CO_2(ა) – 178 კჯ

გამოთვალეთ რეაქციაში შესული კალციუმის კარბონატისა და წარმოქმნილი კალციუმის ოქსიდის მასები, თუ დაშლის შედეგად შთანთქმული სითბოს რაოდენობაა 712 კჯ.

4. რეაქციის თერმოქიმიური ტოლობაა:

$2Cu$(მყ) + O_2(ა) → $2CuO$(მყ) + 310 კჯ.

გამოთვალეთ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა:

ა) 0,5 კგ სპილენძის ჟანგვისას

ბ) 0,5 კგ სპილენძ(II)-ის ოქსიდის წარმოქმნისას

5. გოგირდ(IV)-ის ოქსიდის ჟანგვის რეაქციის ტოლობაა:

$2SO_2$(ა) + O_2(ა) → $2SO_3$(ა) + Q.

გამოთვალეთ რეაქციის სითბური ეფექტი, თუ რეაქციაში შევიდა გოგირდ(IV)-ის ოქსიდი მოცულობით 33,6 ლ (ნ.პ.) და ამ დროს გამოიყო 147 კჯ სითბო.

6. აზოტიანი სასუქების წარმოებაში ამიაკის ჟანგვა ერთ-ერთი საფეხურია. ამ რეაქციის თერმოქიმიური ტოლობაა:

$4NH_3$(ა) + $5O_2$(ა) → $4NO$(ა) + $6H_2O$ (ა) + 902 კჯ.

გამოთვალეთ წარმოქმნილი აზოტ(II)-ის ოქსიდის მოცულობა, თუ რეაქციის დროს გამოიყოფა 1 127 კჯ სითბო.

7. მეთანისა და ქლორისაგან სამრეწველო მეთოდით ქლოროფორმის ($CHCl_3$) მიღების რეაქციაა:

CH_4(ა) + $3Cl_2$(ა) → $CHCl_3$(ა) + $3HCl$(ა)

გამოიყენეთ ბმის ენერგიის მონაცემები (გვ. 15, ცხრ. 1). ახსენით, რეაქცია ეგზოთერმულია თუ ენდოთერმული. შეადგინეთ თერმოქიმიური ტოლობა.

8. გამოიყენეთ ბმის ენერგიის მონაცემები (გვ. 15, ცხრ. 1). დაადგინეთ მარტივი ნივთიერებებიდან HBr-ის წარმოქმნის სითბური ეფექტი. დაწერეთ თერმოქიმიური ტოლობა. დაასაბუთეთ, რატომ არის ბრომწყალბადის წარმოქმნისა და მისი დაშლის რეაქციების სითბური ეფექტის მნიშვნელობები ტოლი და ნიშნით საწინააღმდეგო.

თავი 2 | ქიმიური კინეტიკა



ამ თავში გაეცნობით:

- ქიმიური კინეტიკის ძირითად ამოცანას
- ქიმიური რეაქციების მართვას რეაქციის სიჩქარისა და მასზე მოქმედი ფაქტორების გათვალისწინებით
- ქიმიურ წონასწორობასა და წონასწორობის გადახრის პრინციპს
- ქიმიური რეაქციის მართვის პრინციპების გამოყენებას ქიმიურ მრეწველობაში

2.1. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე

რას ისწავლით

- გაეცნობით, როგორ გამოითვლება ქიმიური რეაქციის სიჩქარე;
- შეძლებთ, გამოიყენოთ ქიმიური რეაქციის საშუალო სიჩქარის მნიშვნელობა რაოდენობით გამოთვლებში;
- შეაფასებთ, რა განსხვავებაა ჰომოგენური და ჰეტეროგენური რეაქციების სიჩქარეებს შორის.

ქიმიის სწავლების პროცესში მრავალი ქიმიური რეაქცია განვიხილეთ, ზოგიერთი – პრაქტიკულადაც ჩავატარეთ. სხვადასხვა რეაქციაზე დაკვირვებისას ვამჩნევთ, რომ მათი დასრულებისათვის სხვადასხვა დროა საჭირო.



სურ. 1. კირქვიანი ქანებიდან სტალაგმიტებისა და სტალაქტიტების წარმოქმნას, მათ ფორმირებას ათასობით წელი სჭირდება.



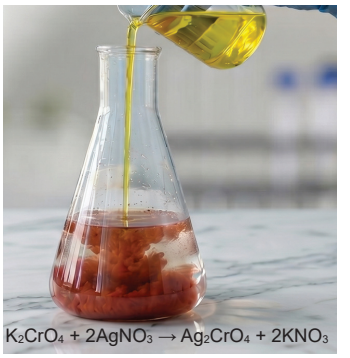
სურ. 2. გემის სრულად დაჟანგვას წლები დასჭირდა



სურ. 4. ყურძნის წვენის დაღვინებას რამდენიმე დღე სჭირდება



სურ. 5. ფეიერვერკის გაშვება უსწრაფესი რეაქციაა, რომელიც რამდენიმე წამში იწყება და მთავრდება



სურ. 6. მარილთა ხსნარებს შორის რეაქცია შერევისთანავე მიმდინარეობს

ექსპერიმენტი

ექსპერიმენტის მიზანი:

დაკვირვება ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე

რეაქტივები:	**ხელსაწყოები:**
ნატრიუმის თიოსულფატის ხსნარი ($Na_2S_2O_3$); ბარიუმის ქლორიდის ხსნარი ($BaCl_2$); მარილმჟავა (HCl)	სინჯარები; სინჯარების სადგამი; პიპეტი

ცდა

მოათავსეთ ორი სინჯარა სინჯარების სადგამში. ორივე მათგანში პიპეტით ჩაასხით 2 მლ ნატრიუმის თიოსულფატის ხსნარი. პირველ სინჯარას დაამატეთ რამდენიმე წვეთი ბარიუმის ქლორიდის ხსნარი, მეორეს – რამდენიმე წვეთი მარილმჟავა.

რას შეამჩნევთ? რა განსხვავებაა სინჯარებში მიმდინარე პროცესებს შორის?

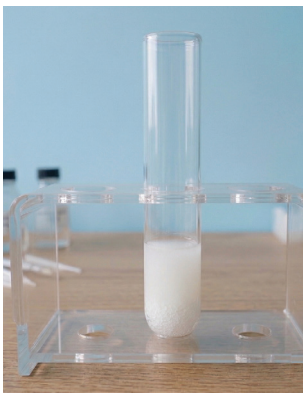
შედეგების გაანალიზება:

პირველ სინჯარაში მყისიერად გამოიყო ნალექი (სურ. 7), ე.ი. რეაქცია წარიმართა სწრაფად.

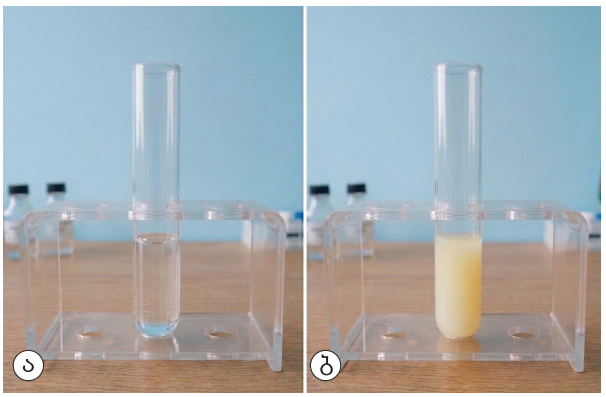
$$Na_2S_2O_3 + BaCl_2 \rightarrow BaS_2O_3\downarrow + 2NaCl$$

მეორე სინჯარაში რეაგენტის დამატებისას არავითარი ცვლილება არ შეინიშნება (სურ. 8ა). მხოლოდ 2-3 წუთის შემდეგ თანდათან შეიმღვრევა სინჯარის შიგთავსი, ნალექის წარმოქმნის გამო (სურ. 8ბ). გამოყოფილი აირია SO_2.

$$Na_2S_2O_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + SO_2\uparrow + S\downarrow + H_2O$$



სურ. 7. ნატრიუმის თიოსულფატისა და ბარიუმის ქლორიდის ურთიერთქმედება



სურ. 8. ნატრიუმის თიოსულფატისა და მარილმჟავას ურთიერთქმედება

ექსპერიმენტის ანალიზი:

ნალექის გამოყოფის სხვადასხვა დრო მიუთითებს, რომ სინჯარებში ქიმიური რეაქციები განსხვავებული სიჩქარით წარიმართა.

თუ თერმოქიმია სწავლობს ენერგეტიკულ ცვლილებებს ქიმიური რეაქციების დროს, **ქიმიური კინეტიკა** სვამს პრაქტიკულ კითხვას – რამდენად სწრაფად ხდება ეს პროცესი და რა გზით? ე.ი. ქიმიური კინეტიკა ქიმიური რეაქციების მართვის საშუალებაა.

ქიმიური კინეტიკა

ვმართოთ ქიმიური რეაქცია, ნიშნავს – ჩვენთვის საინტერესო ქიმიური პროცესებისათვის შევარჩიოთ ისეთი პირობები, რომ გარკვეულ დროში რაც შეიძლება მეტი რაოდენობით მიზნობრივი პროდუქტი დავაგროვოთ.

ქიმიური რეაქციების სიჩქარის განხილვისას აუცილებელია გავითვალისწინოთ, როგორ გარემოში მიმდინარეობს რეაქცია.

ჰომოგენური რეაქციები

თუ ქიმიური რეაქცია მიმდინარეობს ერთგვაროვან გარემოში, მაგალითად, აირებს ან ერთმანეთში შერევად თხევად ნივთიერებებს შორის, მორეაგირე ნივთიერებები ურთიერთქმედებენ სარეაქციო არის მთელ მოცულობაში. ასეთ რეაქციებს უწოდებენ **ჰომოგენურ რეაქციებს**. ექსპერიმენტში განხილული ორივე რეაქცია (სურ. 7, 8) ჰომოგენური რეაქციის მაგალითია.

განვიხილოთ სიჩქარე რეაქციისა, რომელიც მიმდინარეობს ტოლობით:

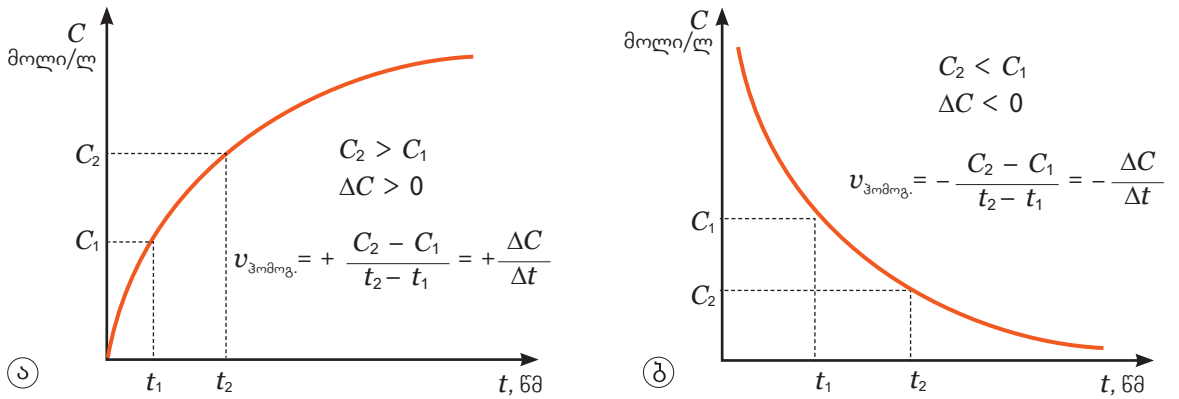
$$A + B \rightarrow AB$$

დავუშვათ, რომ რეაქციის პროდუქტის კონცენტრაცია t_1 დროის მომენტში არის C_1, ხოლო t_2 დროის მომენტში – C_2. რეაქციის პროდუქტების წარმოქმნასა და დაგროვებასთან ერთად, მათი მოლური კონცენტრაციები იზრდება. ამიტომ $C_2 - C_1$ დადებით მნიშვნელობას იღებს (სურ. 9 ა): $C_2 - C_1 = +\Delta C$.

► რეაქციის პროცესში წარმოქმნილი პროდუქტების რაოდენობა იზრდება, მოცულობის ერთეულში ცვლილება იქნება დადებითი;

► რეაქციის პროცესში რეაგენტების რაოდენობა მცირდება, ამიტომ მოცულობის ერთეულში ცვლილება იქნება უარყოფითი.

რეაქციის მიმდინარეობისას რეაგენტები იხარჯება და მცირდება მათი რაოდენობები, ე.ი. მოლური კონცენტრაციები $C_2 - C_1$ ღებულობს უარყოფით მნიშვნელობას (სურ. 9 ბ): $C_2 - C_1 = -\Delta C$.



სურ. 9. მოლური კონცენტრაციების ცვლილება ქიმიურ რეაქციაში: (ა) რეაქციის პროდუქტის მიხედვით; საწყისი ნივთიერების მიხედვით (ბ).

ჰომოგენური რეაქციის სიჩქარე განისაზღვრება ერთ-ერთი მორეაგირე ნივთიერების (რეაგენტის) ან რეაქციის პროდუქტის კონცენტრაციის ცვლილებით დროის ერთეულში.

რეაქციის სიჩქარე არ არის მუდმივი სიდიდე. რეაქციის მიმდინარეობისას რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებათა კონცენტრაციები განუწყვეტლივ იცვლება, შესაბამისად, იცვლება რეაქციის სიჩქარეც; ამიტომ ქიმიაში ვიყენებთ დროის განსაზღვრულ ინტერვალში რეაქციის საშუალო სიჩქარის ცნებას.

მოცემული დიაგრამების (სურ. 7 ა და ბ) შესაბამისად, ზოგადი სახით რეაქციის სიჩქარე გამოისახება:

$$\upsilon_{\text{საშ. ჰომოგ.}} = \pm\frac{\Delta C}{\Delta t} \text{ მოლი/ლ ·წთ (მოლი/ლ·წმ)}$$

გაითვალისწინეთ, რომ რეაქციის სიჩქარე ყოველთვის დადებითია. მინუს ნიშანი მიუთითებს, რომ რეაქციის სიჩქარე განსაზღვრულია რეაგენტის კონცენტრაციის ცვლილების მიხედვით.

მაგალითი – საშუალო სიჩქარის გამოთვლა რეაგენტის ხარჯვის მიხედვით

ფოსგენი ($COCl_2$) ქიმიურ მრეწველობაში მიიღება შემდეგი რეაქციით:

$$CO + Cl_2 \rightarrow COCl_2.$$

რეაქციის დაწყებიდან 2 წუთის შემდეგ ქლორის მოლური კონცენტრაცია იყო 0,019 მოლი/ლ, 14 წუთის შემდეგ გახდა 0,018 მოლი/ლ-ის ტოლი. გამოვთვალოთ რეაქციის საშუალო სიჩქარე.

რადგან რეაგენტის (ქლორის) მოლური კონცენტრაცია შემცირდა, შესაბამისად, ცვლილება იქნება უარყოფითი:

$$\Delta C = 0{,}018 \text{ მოლი/ლ} - 0{,}019 \text{ მოლი/ლ} = -0{,}001 \text{ მოლი/ლ}.$$

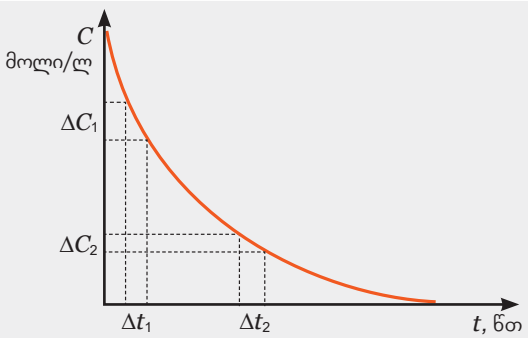
რეაქციის საშუალო სიჩქარე იქნება:

$$\upsilon_{\text{საშ.}} = -\frac{\Delta C}{\Delta t} = -\frac{-0{,}001 \text{ მოლი/ლ}}{14 \text{ წთ} - 2 \text{ წთ}} = 8{,}3 \cdot 10^{-5} \text{ მოლი/ლ·წთ}.$$

▶ ფოსგენი $Cl{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}Cl$ მომწამლავი აირია. პირველად იგი, როგორც ქიმიური იარაღი, გამოიყენეს პირველი მსოფლიო ომის დროს. დღეს ფოსგენი მნიშვნელოვანი ნივთიერებაა პოლიმერული მასალების წარმოებაში.

? გაიაზრეთ

- დააკვირდით დიაგრამაზე (სურ.10) რეაგენტის კონცენტრაციის ცვლილებას აღნიშნულ Δt_1 და Δt_2 ინტერვალებში და გამოიტანეთ ზოგადი დასკვნა ქიმიური რეაქციის სიჩქარის ცვლილების შესახებ.



სურ. 10. საწყისი ნივთიერების კონცენტრაციის ცვლილება რეაქციის მიმდინარეობის პროცესში

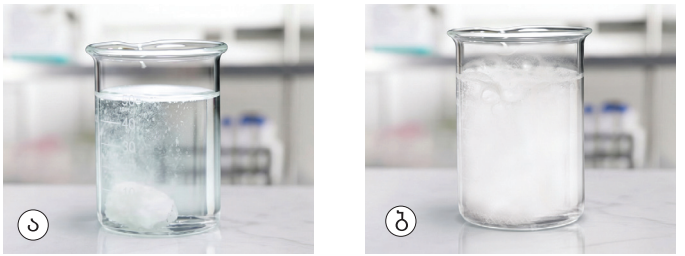
ჰეტეროგენული რეაქციები

თუ რეაქცია მიმდინარეობს ისეთ ნივთიერებებს შორის, რომლებიც სხვადასხვა აგრეგატულ მდგომარეობაშია, ან ვერ წარმოქმნის ერთგვაროვან, ჰომოგენურ გარემოს, ურთიერთქმედება ხდება მხოლოდ ამ ნივთიერებათა შეხების ზედაპირზე. ასეთ რეაქციებს **ჰეტეროგენური რეაქციები** ეწოდება.

ჰეტეროგენური რეაქციებია ურთიერთქმედება მყარსა და აირად, მყარსა და თხევად, აირადსა და თხევად, ორ მყარ ნივთიერებას ან ერთმანეთში შეურევად სითხეებს შორის.

ჰეტეროგენური რეაქციის სიჩქარის განსაზღვრისას მნიშვნელოვან როლს ასრულებს მორეაგირე ნივთიერებათა შეხების ზედაპირის ფართობი. რეაქციაში შესული ან რეაქციის შედეგად მიღებული ერთ-ერთი ნივთიერების რაოდენობის ცვლილება გამოითვლება მორეაგირე ნივთიერებათა შეხების ზედაპირის ფართობის ერთეულზე.

თუ რეაქციაში მონაწილეობს მყარი ნივთიერება, შეხების ზედაპირის გაზრდის მიზნით მიმართავენ მყარი ნივთიერების დაწილადების (დაქუცმაცების) მეთოდს. მაგალითად, თუ თუთიისა და გოგირდის მტვერს შევურევთ და ნარევს გავარვარებულ მინის წკირს შევახებთ, რეაქცია წარიმართება მყისიერად. დიდი ზომის თუთიის გრანულებსა და გოგირდის ფხვნილს შორის რეაქცია იმავე პირობებში არ მიმდინარეობს. მარმარილოს წვრილი ნატეხები გაცილებით უფრო დიდი სიჩქარით რეაგირებს მარილმჟავასთან, ვიდრე იმავე მასის მსხვილი ნატეხები (სურ. 11). იმავე მიზეზით ქიმიურ რეაგენტებს, როგორც წესი, იყენებენ ფხვნილების და არა ნატეხების სახით.



სურ. 11. მარილმჟავაში (ა) მარმარილოს ნატეხის, (ბ) მარმარილოს ფხვნილის გახსნა.

ახალი ტერმინები

- ქიმიური კინეტიკა
- ქიმიური რეაქციის სიჩქარე
- ჰომოგენური რეაქცია
- ჰეტეროგენური რეაქცია

რა ისწავლეთ

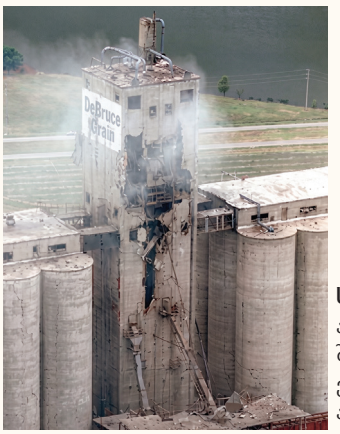
- განასხვავებენ ჰომოგენურ და ჰეტეროგენურ რეაქციებს. ჰომოგენურ რეაქციებში ურთიერთქმედება ხდება სარეაქციო არის მთელ მოცულობაში, ჰეტეროგენური რეაქციების დროს – მხოლოდ ნივთიერებათა შეხების ზედაპირზე;
- ჰომოგენური რეაქციის საშუალო სიჩქარე გამოითვლება კონცენტრაციის ცვლილებით დროის ერთეულში.

ქიმია ყოფა-ცხოვრებაში

რამდენად სახიფათოა მარცვლეულის მტვერი

წისქვილკომბინატებში სამანქანო დანადგარიდან წარმოქმნილმა ნაპერწკალმაც კი შეიძლება გამოიწვიოს აფეთქება. რატომ?

ფქვილს, ნაწილაკების მცირე ზომის გამო, შეხების დიდი ზედაპირი აქვს. ჰაერში დიდი რაოდენობითაა ფქვილის მტვერი, რომელიც შეიძლება ადვილად აალდეს სითბოსა და ჟანგბადის ზემოქმედებით. იმავე მიზეზით არსებობს აფეთქების საშიშროება შენობა-ნაგებობებში, სადაც ინახება ხორბალი ან სხვა მარცვლეული; ხის გადამამუშავებელ ქარხნებში, სადაც დიდი რაოდენობით ნახერხია და ა.შ.



სურ. 12. 1998 წელს აშშ-ის კანზასის შტატში მარცვლეულის მტვერი აფეთქდა.

ტიპური ამოცანების ამოხსნა

ამოცანა 1

რეაქცია მიმდინარეობს ტოლობით A + B → C. A-ს საწყისი მოლური კონცენტრაცია იყო 2,8 მოლი/ლ, B-ს – 2,5 მოლი/ლ. 1/2 საათის შემდეგ A-ს კონცენტრაცია გახდა 2,5 მოლი/ლ. როგორი იქნება B-ს კონცენტრაცია ამ დროს? გამოთვალეთ რეაქციის საშუალო სიჩქარე მოცემული დროის შუალედში.

ამოხსნა:

მოც.:

C_A = 2,8 მოლი/ლ

C_B = 2,5 მოლი/ლ

C'_A = 2,5 მოლი/ლ

Δt = 1/2 სთ (0,5 სთ)

C'_B = ? $\upsilon_{საშ.}$ = ?

$$\upsilon_{საშ.} = \frac{\Delta C}{\Delta t} \text{ მოლი/ლ·სთ (ან მოლი/ლ·წთ)}$$

რეაქცია მიმდინარეობს ტოლობით:

A + B ⟶ C

რადგან ქიმიურ ტოლობაში მოლური თანაფარდობაა 1:1, ამიტომ A და B ნივთიერების მოლური კონცენტრაციების ცვლილება ერთნაირი იქნება.

რეაქციის დაწყებიდან 1/2 საათის შემდეგ A-ს კონცენტრაცია გახდა 2,5 მოლი/ლ, ე.ი. შემცირდა 0,3 მოლი/ლ-ით:

$$\Delta C_A = 2,5 - 2,8 = -0,3 \text{ მოლი/ლ.}$$

ამავე დროის განმავლობაში, ტოლობის თანახმად, B-ს კონცენტრაციაც შემცირდება 0,3 მოლი/ლ-ით და გახდება:

$$C'_B = 2,5 - 0,3 = 2,2 \text{ მოლი/ლ.}$$

$$\upsilon_{საშ.} = -\frac{-0,3 \text{ მოლი/ლ}}{0,5 \text{ სთ}} = 0,6 \text{ მოლი/ლ·სთ}$$

პასუხი: C'_B = 2,2 მოლი/ლ, $\upsilon_{საშ.}$ = 0,6 მოლი/ლ·სთ.

ამოცანა 2

წყალბადის ჰალოგენთან ურთიერთქმედების შედეგად დროის ერთეულში ერთეულ მოცულობაში წარმოიქმნა: I რეაქციაში – 3,65 გ ქლორწყალბადი, II რეაქციაში – 3,2 გ იოდწყალბადი, III რეაქციაში – 4,05 გ ბრომწყალბადი. რომელი რეაქცია წარიმართა უფრო დიდი სიჩქარით?

ამოხსნა:

მოც.:

n(HCl) = 3,65 გ

n(HI) = 3,2 გ

n(HBr) = 4,05 გ

რეაქცია მიმდინარეობს ერთნაირი სქემით:

$$H_2(ა) + X_2(ა) \rightarrow 2HX(ა)$$

$$n = \frac{m}{M}$$

M(HCl) = 36,5 გ/მოლი

M(HI) = 128 გ/მოლი

M(HBr) = 81 გ/მოლი

I. $n(HCl) = \frac{3,65 \text{ გ}}{36,5 \text{ გ/მოლი}} = 0,1$ მოლი

II. $n(HI) = \frac{3,2 \text{ გ}}{128 \text{ გ/მოლი}} = 0,025$ მოლი

III. $n(HBr) = \frac{4,05 \text{ გ}}{81 \text{ გ/მოლი}} = 0,05$ მოლი

პასუხი: უფრო დიდი სიჩქარით წარიმართა I რეაქცია, რადგან დროის ერთეულში ერთეულ მოცულობაში წარმოიქმნა მეტი რაოდენობით ნივთიერება (0,1 მოლი).

საშინაო აქტივობა

1. რეაქცია მიმდინარეობს აირად ფაზაში ტოლობით: A + 3B → 2C + D. რეაგენტების საწყისი კონცენტრაციებია: C(A) = 5 მოლი/ლ, C(B) = 8 მოლი/ლ. გამოთვალეთ რეაქციაში მონაწილე ყველა ნივთიერების კონცენტრაცია იმ მომენტისათვის, როდესაც A ნივთიერების კონცენტრაცია გახდა 3 მოლი/ლ-ის ტოლი.

2. მოცემულია ქიმიური რეაქცია: A + 2B → C
შეიცვლება თუ არა ქიმიური რეაქციის საშუალო სიჩქარის რიცხვითი მნიშვნელობა, თუ მას გამოვითვლით:
ა) A ნივთიერების კონცენტრაციის ცვლილების მიხედვით
ბ) B ნივთიერების კონცენტრაციის ცვლილების მიხედვით?
პასუხი დაასაბუთეთ.

3. რეაქცია მიმდინარეობს ტოლობით: A + 2B → 3C.

A ნივთიერების კონცენტრაცია 7,5 მოლი/ლ-დან 20 წთ-ის შემდეგ გახდა 3,5 მოლი/ლ. გამოთვალეთ რეაქციის საშუალო სიჩქარე:

ა) A ნივთიერების კონცენტრაციის ცვლილების მიხედვით

ბ) B ნივთიერების კონცენტრაციის ცვლილების მიხედვით
პასუხი დაასაბუთეთ.

4. რეაქციაში: A + B → C განსაზღვრეს A ნივთიერების კონცენტრაცია ყოველ 2 წმ-ში. გადახაზეთ ცხრილი სამუშაო რვეულში, გამოთვალეთ რეაქციის საშუალო სიჩქარე ყოველ 2 წმ-ში და შეავსეთ ცხრილი. ცხრილში მოცემული მონაცემების მიხედვით ააგეთ A ნივთიერების:
ა) კონცენტრაციის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი
ბ) რეაქციის საშუალო სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი

დრო წმ-ში	A ნივთიერების კონცენტრაცია მოლი/ლ	საშ. სიჩქარე მოლი/ლ.წმ
2	8	
4	4	
6	2,5	
8	2	

2.2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე მოქმედი ფაქტორები

ქიმიური კინეტიკის ძირითადი ამოცანაა მიზნობრივი, სასურველი რეაქციის სიჩქარის გაზრდა და არასასურველი რეაქციის შენელება ან თავიდან აცილება. ამ საკითხების გადასაწყვეტად აუცილებელია სიჩქარეზე მოქმედი ფაქტორების სიღრმისეული შესწავლა.

2.2.1. მორეაგირე ნივთიერებათა ბუნების გავლენა

ქიმიური რეაქციის სიჩქარე დამოკიდებულია მორეაგირე ნივთიერებების ბუნებაზე. მაგალითად:

ა. კალიუმი წყალთან ინტენსიურად ურთიერთქმედებს, ხოლო კალციუმის რეაქცია წყალთან შედარებით ნელა მიმდინარეობს (სურ.1).

ბ. თუ ტოლი მოცულობისა და ერთნაირი კონცენტრაციის მარილმჟავას ხსნარში ჩავუშვებთ ერთნაირი ზომის რკინისა და მაგნიუმის ფირფიტებს, მაგნიუმიან სინჯარაში რეაქცია უფრო ინტენსიურად წარიმართება, ვიდრე იმ სინჯარაში, სადაც რკინაა მოთავსებული.

გაიხსენეთ

- მოცემულ გარდაქმნებში (ა), (ბ) მეტალთა აქტივობა ახსენით მათი მდებარეობით პერიოდულობის ცხრილში და ატომთა ელექტრონული აღნაგობის გათვალისწინებით.

გ. წყალბადი ფთორთან რეაგირებს ოთახის ტემპერატურაზე როგორც სინათლეზე, ისე სიბნელეში. ქლორთან რეაქცია მიმდინარეობს მხოლოდ სინათლეზე, ხოლო იოდთან ურთიერთქმედება მაღალ ტემპერატურაზეც კი შედარებით ნელა ხორციელდება და პროცესი ენდოთერმულია.

გაიხსენეთ

- ჰალოგენწყალბადების წარმოქმნისას ფთორის განსაკუთრებით მაღალი აქტივობა ახსენით მოლეკულაში ქიმიური ბმის ენერგიის მნიშვნელობის გათვალისწინებით (იხ. გვ. 15, ცხრ. 1).

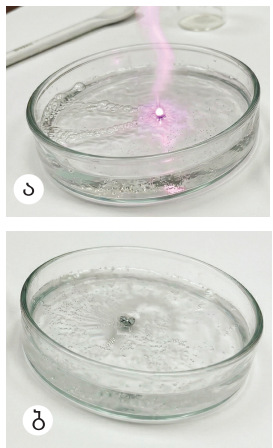
დ. ორ სინჯარაში მოთავსებულია თუთიის მარცვლები. თუ პირველ სინჯარას დავამატებთ მარილმჟავას, ხოლო მეორეს – ძმარმჟავას ხსნარს და დავაკვირდებით, დავინახავთ, რომ პირველ სინჯარაში რეაქცია უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს, ვიდრე – მეორეში (სურ. 2).

გაიხსენეთ

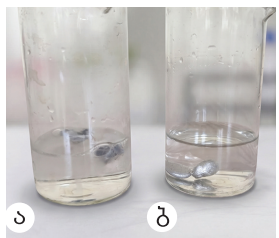
- ახსენით (დ) მჟავათა განსხვავებული მოქმედება მათი ბუნების გათვალისწინებით;
- დაწერეთ მოცემული (ა; ბ; გ; დ) ქიმიური გარდაქმნის შესაბამისი რეაქციათა ტოლობები და დაასახელეთ მიღებული პროდუქტები.

რას ისწავლით

- გაეცნობით, რა გავლენას ახდენს მორეაგირე ნივთიერებათა ბუნება ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე.



სურ. 1. (ა) კალიუმისა და (ბ) კალციუმის ურთიერთქმედება წყალთან



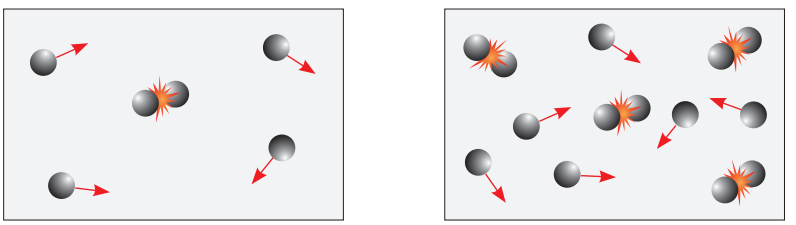
სურ. 2. თუთიის რეაქცია (ა) მარილმჟავასთან და (ბ) ძმარმჟავასთან

2.2.2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე მორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაციების გავლენა

რას ისწავლით

- გაეცნობით, რა გავლენას ახდენს მორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაციისა და სარეაქციო არის წნევის ცვლილება ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე;
- შეძლებთ მოქმედ მასათა კანონის – კინეტიკური განტოლების საფუძველზე რაოდენობითი გამოთვლების წარმოებას;
- შეაფასებთ, რატომ ახდენს გავლენას მორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაციისა და სარეაქციო არის წნევის ცვლილება ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე.

მორეაგირე ნივთიერებათა შორის ურთიერთქმედებისათვის აუცილებელია მათი მოლეკულების (ნაწილაკების) შეჯახება. რაც უფრო მეტია დროის ერთეულში შეჯახებათა რიცხვი, მით მეტია რეაქციის სიჩქარე. მორეაგირე ნივთიერებათა მოლეკულების შეჯახებათა ალბათობა კი მით მეტი იქნება, რაც უფრო მაღალია ამ ნივთიერებათა კონცენტრაცია (სურ. 1).



სურ. 1. შეჯახებათა რიცხვის დამოკიდებულება ნაწილაკთა რიცხვზე

აირებს შორის ან ხსნარებში ნივთიერებებს შორის ქიმიურ რეაქციათა სიჩქარე დამოკიდებულია მორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაციაზე.

ექსპერიმენტი

ექსპერიმენტის მიზანი:

დაკვირვება – ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე კონცენტრაციის გავლენა

რეაქტივები:	**ხელსაწყოები:**
მაგნიუმის ლენტი (Mg); მარილმჟავას 0,1 მოლი/ლ კონცენტრაციის ხსნარი (HCl); მარილმჟავას 0,01 მოლი/ლ კონცენტრაციის ხსნარი (HCl)	250 მლ ქიმიური ჭიქა – 2 ცალი

ცდა

აიღეთ ორი ქიმიური ჭიქა. ერთში ჩაასხით მარილმჟავას 0,1 მოლი/ლ კონცენტრაციის ხსნარი, ხოლო მეორეში – 0,01 მოლი/ლ კონცენტრაციის ხსნარი. თითოეულში მოათავსეთ ერთნაირი მასის მაგნიუმის ლენტი.

რას შეამჩნევთ? რა განსხვავებაა ჭიქებში მიმდინარე პროცესებს შორის?



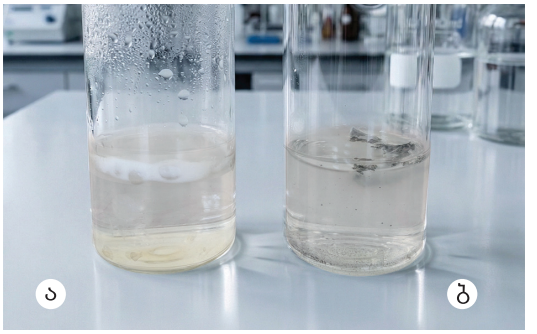
სურ. 2. მარილმჟავას ხსნარები და მაგნიუმის ლენტები

ექსპერიმენტის ანალიზი:

აირის გამოყოფის სხვადასხვა ინტენსივობა მიუთითებს:

პირველ შემთხვევაში (სურ. 3 ა) რეაქცია მეტი სიჩქარით მიმდინარეობს; მაგნიუმის ლენტი სწრაფად იხსნება, რაც დუღილის შთაბეჭდილებას ქმნის და ხსნარი მღვრიე და ქაფიანი ხდება.

მარჯვენა ჭიქაში კი (სურ. 3 ბ) რეაქციაში შეუსვლელი მაგნიუმის ლენტი დიდხანს რჩება ხსნარში.



სურ. 3. მაგნიუმის რეაქცია (ა) 0,1 მოლი/ლ კონცენტრაციის მარილმჟავასთან, (ბ) 0,01 მოლი/ლ კონცენტრაციის მარილმჟავასთან

1867 წელს ნორვეგიელმა მეცნიერებმა – კატო მაქსიმილიან გულდბერგმა და პეტერ ვააგემ – დაადგინეს რაოდენობითი თანაფარდობა ქიმიური რეაქციის სიჩქარესა და მორეაგირე ნივთიერებათა მოლურ კონცენტრაციებს შორის. ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე მათ ჩამოაყალიბეს ქიმიური კინეტიკის ძირითადი კანონი – **მოქმედ მასათა კანონი**, რომლის თანახმად:

უცვლელი ტემპერატურის პირობებში ქიმიური რეაქციის სიჩქარე მორეაგირე ნივთიერებათა მოლური კონცენტრაციების ნამრავლის პროპორციულია.

ზოგადი სახით მოცემული რეაქციისათვის: A + B → C მოქმედ მასათა კანონი შემდეგი **კინეტიკური განტოლებით** გამოისახება:

$$\upsilon = k C_A \cdot C_B.$$

რეაქციისათვის: aA + bB → cC კინეტიკურ განტოლებას აქვს სახე:

$$\upsilon = k C_A^{\,a} \cdot C_B^{\,b}$$

სადაც C_A, C_B არის A და B ნივთიერებების მოლური კონცენტრაციები; a, b, c – კოეფიციენტები; k – პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელსაც რეაქციის სიჩქარის მუდმივას უწოდებენ.

მაგალითი – **კინეტიკური განტოლების შედგენა**

რეაქციისთვის $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$

რეაქციის სიჩქარის კინეტიკური განტოლება ასე ჩაიწერება:

$$\upsilon = k C_{CO}^2 \cdot C_{O_2}.$$

ამგვარად, ქიმიურ ტოლობაში მორეაგირე ნივთიერებების კოეფიციენტები კინეტიკურ განტოლებაში ამ ნივთიერებების მოლური კონცენტრაციების ხარისხის მაჩვენებელი ხდება.

კინეტიკური განტოლებიდან ადვილია რეაქციის სიჩქარის მუდმივას ფიზიკური არსის გაგება. იგი რიცხობრივად ტოლია რეაქციის სიჩქარისა, როდესაც თითოეული რეაგენტის კონცენტრაცია შეადგენს 1 მოლი/ლ-ს, ან როცა მათი ნამრავლი 1-ის ტოლია.

რეაქციისათვის:

$$A + B \rightarrow C$$

კინეტიკური განტოლებაა:

$$\upsilon = k C_A \cdot C_B$$

თუ $C_A = C_B = 1$ მოლი/ლ, ან $C_A \cdot C_B = 1$,

მაშინ $\upsilon = k.$

რაც მეტია k, მით უფრო სწრაფად მიმდინარეობს რეაქცია.

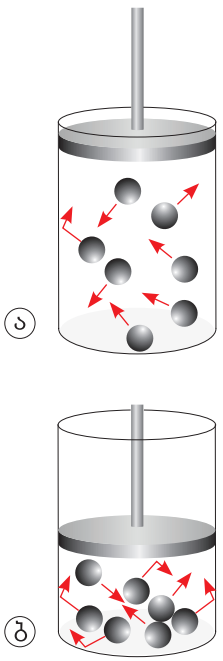
მოქმედ მასათა კანონი არ ითვალისწინებს მყარ მდგომარეობაში მყოფ მორეაგირე ნივთიერებას, რადგან ის რეაგირებს მხოლოდ ზედაპირით, რომელიც რეაქციის მიმდინარეობისას დროის გარკვეულ მონაკვეთში უცვლელი რჩება. მაგალითად, რეაქციისათვის:

$$C(მყ) + O_2(ა) \rightarrow CO_2(ა)$$

კინეტიკურ განტოლებას აქვს სახე:

$$\upsilon = k C_{O_2}$$

მოცემული რეაქციის სიჩქარე მხოლოდ ჟანგბადის მოლური კონცენტრაციის პროპორციულია.



სურ. 4. წნევის გავლენა სიჩქარეზე

წნევის ცვლილება გავლენას ახდენს მხოლოდ იმ ქიმიური რეაქციების სიჩქარეზე, რომლებშიც მონაწილეობს თუნდაც ერთი აირადი ნივთიერება.

წნევის ცვლილება აირების მოცულობის ცვლილებას იწვევს, რაც განაპირობებს აირების მოლური კონცენტრაციების შესაბამის ცვლილებას. კერძოდ, წნევის გაზრდა ამცირებს ჭურჭლის (აირების) მოცულობას და იწვევს აირების მოლური კონცენტრაციების იმდენჯერ ზრდას, რამდენჯერაც გაიზარდა წნევა. შესაბამისად, წნევის ცვლილება პირდაპირპროპორციულად იწვევს მოლური კონცენტრაციის ცვლილებას (სურ. 4).

გაიაზრეთ

- იმსჯელეთ, სარეაქციო ჭურჭლის მოცულობის შეცვლა, სხვა პირობების (წნევისა და ტემპერატურის) შეცვლის გარეშე, გამოიწვევს თუ არა რეაქციის სიჩქარის შეცვლას. პასუხი დაასაბუთეთ.

ახალი ტერმინები

- მოქმედ მასათა კანონი
- კინეტიკური განტოლება
- რეაქციის სიჩქარის მუდმივა

რა ისწავლეთ

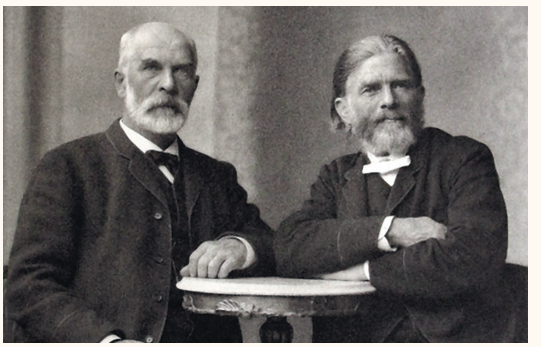
- მოქმედ მასათა კანონის მიხედვით უცვლელი ტემპერატურის პირობებში ქიმიური რეაქციის სიჩქარე მორეაგირე ნივთიერებათა მოლური კონცენტრაციების ნამრავლის პროპორციულია.

მეცნიერებათა გადაკვეთა...

ნორვეგიელი მაქსიმილიან გულდბერგი და პეტერ ვააგე არა მხოლოდ ახლო მეგობრები და კოლეგები იყვნენ, არამედ მჭიდრო ოჯახური კავშირიც ჰქონდათ. ოჯახურმა მეგობრობამ მათ მეცნიერულ თანამშრომლობაზეც იმოქმედა.

ზოგიერთი ფიქრობს, რომ ქიმიის კანონი ქიმიკოსმა უნდა აღმოაჩინოს. მაგრამ ეს ყოველთვის ასე არ ხდება. ვააგე პროფესიით ქიმიკოსი იყო, გულდბერგი კი – მათემატიკოსი და ფიზიკოსი. ვააგე ლაბორატორულ ექსპერიმენტებს ატარებდა, გულდბერგი კი მონაცემებს მათემატიკის ენით გამოსახავდა და ფორმულის სახეს აძლევდა.

გულდბერგმა და ვააგემ თავიანთი აღმოჩენა 1864 წელს გამოაქვეყნეს ნორვეგიულ ენაზე. მაგრამ ევროპული საზოგადოება ძირითადად გერმანულ, ფრანგულ და ინგლისურ ენაზე კითხულობდა, ამიტომ მათი ნაშრომი შეუმჩნეველი დარჩა. მხოლოდ 1879 წელს, როდესაც ნაშრომი გერმანულად ითარგმნა და სხვა მეცნიერებმაც დაიწყეს ანალოგიურ დასკვნებამდე მისვლა, ნორვეგიელმა მეცნიერებმა დამსახურებული აღიარება მოიპოვეს.



სურ. 5. ნორვეგიელი მეცნიერები კატო მაქსიმილიან გულდბერგი (1836-1902) და პეტერ ვააგე (1833-1900)

ტიპური ამოცანების ამოხსნა

ამოცანა 1

მოცემულია რეაქცია: $2NO(ა) + O_2(ა) \rightarrow 2NO_2(ა)$

როგორ შეიცვლება რეაქციის სიჩქარე, თუ აზოტ(IV)-ის ოქსიდისა და ჟანგბადის კონცენტრაციებს გავზრდით 5-ჯერ?

ამოხსნა:

$$2NO(ა) + O_2(ა) \rightarrow 2NO_2(ა)$$

$$\upsilon = kC_{NO}^2 \cdot C_{O_2}$$

$$\upsilon' = k(5C_{NO})^2 \cdot 5C_{O_2} = 125kC_{NO}^2 \cdot C_{O_2}$$

სიჩქარე გაიზრდება

$$\frac{\upsilon'}{\upsilon} = \frac{125kC_{NO}^2 \cdot C_{O_2}}{kC_{NO}^2 \cdot C_{O_2}} = 125$$

პასუხი: რეაქციის სიჩქარე გაიზრდება 125-ჯერ.

ამოცანა 2

მოცემულია რეაქცია: $2Fe(მყ) + 3Cl_2(ა) \rightarrow 2FeCl_3(მყ)$

როგორ შეიცვლება რეაქციის სიჩქარე, თუ სისტემაში წნევას გავზრდით 4-ჯერ?

ამოხსნა:

$$2Fe(მყ) + 3Cl_2(ა) \rightarrow 2FeCl_3(მყ)$$

$$\upsilon = kC_{Cl_2}^3$$

თუ სისტემაში წნევას გავზრდით 4-ჯერ, ქლორის კონცენტრაციაც გაიზრდება 4-ჯერ და რეაქციის სიჩქარე გახდება:

$$\upsilon' = k(4C_{Cl_2})^3 = 64kC_{Cl_2}^3$$

აქედან $$\frac{\upsilon'}{\upsilon} = 64$$

პასუხი: წნევის 4-ჯერ გაზრდით რეაქციის სიჩქარე გაიზრდება 64-ჯერ.

ამოცანა 3

მოცემულია რეაქცია: $2H_2(ა) + O_2(ა) \rightarrow 2H_2O(ა)$.

რამდენჯერ უნდა გაიზარდოს ჟანგბადის კონცენტრაცია მოცემულ რეაქციაში, რომ წყალბადის კონცენტრაციის 4-ჯერ შემცირებისას რეაქციის სიჩქარე არ შეიცვალოს?

ამოხსნა:

$$2H_2(ა) + O_2(ა) \longrightarrow 2H_2O(ა)$$

მოცემული რეაქციის სიჩქარე ტოლია: $\upsilon = kC_{H_2}^2 \cdot C_{O_2}$

თუ წყალბადის კონცენტრაციას 4-ჯერ შევამცირებთ, რეაქციის სიჩქარის გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$\upsilon' = k\left(\frac{C_{H_2}}{4}\right)^2 \cdot C_{O_2} = k\frac{C_{H_2}^2}{16} \cdot C_{O_2}$$

დავუშვათ, x-ჯერ უნდა გავზარდოთ მოცემულ რეაქციაში ჟანგბადის კონცენტრაცია, რომ წყალბადის კონცენტრაციის 4-ჯერ შემცირებისას რეაქციის სიჩქარე არ შეიცვალოს, ე.ი. დაცული იყოს ტოლობა:

$$\upsilon = \upsilon'$$

მაშინ $$kC_{H_2}^2 \cdot C_{O_2} = k\frac{C_{H_2}^2}{16} \cdot xC_{O_2}$$

$$x = 16$$

იმავე შედეგის მიღება შეიძლება მარტივი მსჯელობითაც: წყალბადის კონცენტრაციის 4-ჯერ შემცირება რეაქციის სიჩქარეს 16-ჯერ ამცირებს. სიჩქარე რომ არ შეიცვალოს, ჟანგბადის კონცენტრაცია უნდა გაიზარდოს 16-ჯერ.

პასუხი: 16-ჯერ უნდა გაიზარდოს ჟანგბადის კონცენტრაცია.

საშინაო აქტივობა

1. რეაქცია მიმდინარეობს აირად ნივთიერებებს შორის ტოლობით: $A + B \rightarrow C$.
შეიცვლება თუ არა რეაქციის სიჩქარე და როგორ, თუ:

ა) A ნივთიერების კონცენტრაციას გავზრდით 2-ჯერ, B-ს კონცენტრაციას კი დავტოვებთ უცვლელად
ბ) A-ს კონცენტრაციას გავზრდით 2-ჯერ, B-ს კონცენტრაციას კი 2-ჯერ შევამცირებთ
გ) ორივე ნივთიერების კონცენტრაციას გავზრდით 2-ჯერ?

2. რეაქცია მიმდინარეობს ხსნარში ტოლობით: $A + B \rightarrow C$.
ცხრილში მოცემულია ცდის მონაცემები:

ნივთიერებები	კონცენტრაცია (მოლი/ლ)	
	საწყისი	20 წთ-ის შემდეგ
A	3	?
B	2,8	2
C	0	?

გამოთვალეთ:

ა) A და C ნივთიერებების კონცენტრაციები 20 წთ-ის შემდეგ
ბ) რეაქციის საშუალო სიჩქარე დროის მოცემულ შუალედში
ცხრილი გადახაზეთ სამუშაო რვეულში და შეავსეთ.

3. გააანალიზეთ, როგორ შეიცვლება $C(მყ) + O_2(ა) \rightarrow CO_2(ა)$ რეაქციის სიჩქარე, თუ ჟანგბადის ნაცვლად ავიღებთ იმავე მოცულობის ჰაერს.

4. როგორ შეიცვლება $2CO(ა) + O_2(ა) \rightarrow 2CO_2(ა)$ რეაქციის სიჩქარე დახშულ ჭურჭელში, თუ წნევას გავზრდით 2-ჯერ? პასუხი დაასაბუთეთ.

5. გამოთვალეთ, როგორ შეიცვლება $2SO_2(ა) + O_2(ა) \rightarrow 2SO_3(ა)$ რეაქციის სიჩქარე, თუ სისტემის მოცულობას შევამცირებთ 3-ჯერ.

6. $2NO(ა) + O_2(ა) \rightarrow 2NO_2(ა)$ მოცემული რეაქციის სიჩქარე იმ მომენტისათვის, როდესაც $C(NO) = 0,3$ მოლი/ლ და $C(O_2) = 0,15$ მოლი/ლ-ის ტოლია, არის $1,2 \cdot 10^{-3}$ მოლი/ლ·წმ. დაადგინეთ რეაქციის სიჩქარის მუდმივა.

2.2.3. ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე ტემპერატურის გავლენა

რას ისწავლით

- გაეცნობით ვანტ-ჰოფის წესს, რომელიც ასახავს ქიმიური რეაქციის სიჩქარის დამოკიდებულებას ტემპერატურაზე;
- შეძლებთ ვანტ-ჰოფის წესის გამოყენებას რაოდენობით გამოთვლებში;
- შეაფასებთ, როგორ მართოთ ქიმიური რეაქციები ტემპერატურის ცვლილებით.



სურ. 1. იაკობ ჰენდრიკ ვანტ-ჰოფი (1852-1911), ნიდერლანდელი ქიმიკოსი. იგი ქიმიის დარგში ნობელის პრემიის პირველი ლაურეატია (1901 წ.).

ქიმიური რეაქციის სიჩქარე მნიშვნელოვნად იზრდება ტემპერატურის გაზრდისას. მაგალითად, ურთიერთქმედება წყალბადსა და ჟანგბადს შორის წყლის წარმოქმნით 25°C-ზე, პრაქტიკულად, არ წარიმართება. 400°C-ზე იგი ძალიან ნელა მიმდინარეობს, ხოლო 700°C ტემპერატურაზე პროცესი მყისიერია და რეაქცია აფეთქებით მთავრდება.

ქიმიური რეაქციის სიჩქარესა და ტემპერატურას შორის დამოკიდებულების მიახლოებითი შეფასება შესაძლებელია ნიდერლანდელი მეცნიერის ი. ვანტ-ჰოფის წესით (1884 წ.), რომლის თანახმად:

ტემპერატურის ყოველი ათი გრადუსით მომატებისას რეაქციის სიჩქარე 2-4-ჯერ იზრდება.

მათემატიკურად ეს წესი ასე გამოისახება:

$$\frac{\upsilon_{t_2}}{\upsilon_{t_1}} = \gamma^{\frac{t_2-t_1}{10}} \qquad \text{ან} \qquad \upsilon_{t_2} = \upsilon_{t_1} \cdot \gamma^{\frac{t_2-t_1}{10}}$$

სადაც υ_{t_1} და υ_{t_2} რეაქციის სიჩქარეებია საწყის (t_1) და საბოლოო (t_2) ტემპერატურაზე; γ – რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტი.

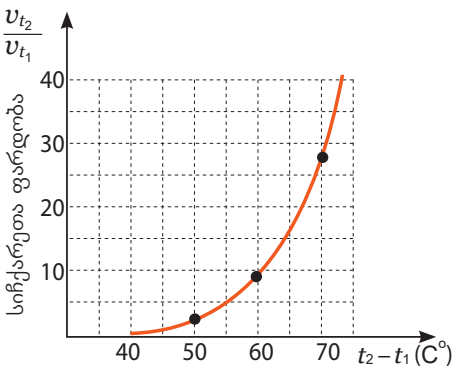
ტემპერატურული კოეფიციენტი **გვიჩვენებს, თუ რამდენჯერ იზრდება რეაქციის სიჩქარე ტემპერატურის 10°C-ით გაზრდისას.**

მაგალითი – რეაქციის სიჩქარის ცვლილების გამოთვლა ვანტ-ჰოფის წესით

რამდენჯერ გაიზრდება ქიმიური რეაქციის სიჩქარე ტემპერატურის 40°C-დან 70°C-მდე გაზრდისას, თუ რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტი 3-ის ტოლია?

$$\frac{\upsilon_{70^\circ}}{\upsilon_{40^\circ}} = 3^{\frac{70-40}{10}} = 3^3 = 27$$

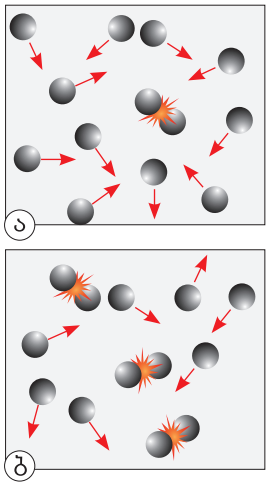
ტემპერატურის 30°C-ით მომატებისას ქიმიური რეაქციის სიჩქარე გაიზარდა 27-ჯერ.



სურ. 2. ქიმიური რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკი. $\gamma = 3$.

რატომ არის ტემპერატურა რეაქციის სიჩქარის შეცვლის ასეთი მნიშვნელოვანი ფაქტორი? მცირედ, 10^0-ით ტემპერატურის გაზრდა რატომ იწვევს რეაქციის სიჩქარის ასეთ ძლიერ ზრდას?

შეიძლებოდა დაგვეშვა, რომ ტემპერატურის აწევისას ქიმიური რეაქციის სიჩქარის გაზრდა გამოწვეულია მორეაგირე ნივთიერებების მოლეკულების შეჯახებათა რიცხვის გაზრდით (სურ. 3); თუმცა შეჯახებების რაოდენობის ზრდა არ არის სიჩქარის ასეთი მკვეთრი მომატების მთავარი მიზეზი. მაგალითად, აირებში შეჯახებების რიცხვი იმდენად დიდია, რომ რეაქციები მათი შერევისთანავე, მყისიერად უნდა დასრულებულიყო. მაგრამ ეს ასე არ ხდება; ყველა შეჯახება არ სრულდება გარდაქმნით. აღმოჩნდა, რომ მოლეკულების მხოლოდ ძალიან მცირე ნაწილი ფლობს ენერგიას, რომელიც საჭიროა მათი ეფექტური შეჯახებისათვის.



სურ. 3. ტემპერატურის გავლენა ნაწილაკების შეჯახებათა სიხშირეზე (ა) დაბალ ტემპერატურაზე, (ბ) ტემპერატურის გაზრდისას

მინიმალურ ენერგიას, რომელსაც უნდა ფლობდეს მოლეკულა (ატომი, იონი), რომ განხორციელდეს ეფექტური შეჯახება და დასრულდეს რეაქციით, ეწოდება აქტივაციის ენერგია.
იგი აღინიშნება $E_{\text{აქტ.}}$ განზომილებაა კჯ/მოლი.

რეაქციის სიჩქარე დამოკიდებულია აქტივაციის ენერგიის მნიშვნელობაზე: რაც უფრო მცირეა აქტივაციის ენერგია, მით მაღალია სიჩქარე და პირიქით.

არააქტიური მოლეკულები შეიძლება აქტიური გავხადოთ, თუ მივანიჭებთ საკმარის ენერგიას. აქტივაციის ერთ-ერთი საშუალებაა ტემპერატურის გაზრდა. ამ დროს მკვეთრად მატულობს აქტიურ მოლეკულათა რიცხვი (აქტივაციის ენერგია არ იცვლება). იზრდება ეფექტურ შეჯახებათა რიცხვი და, შესაბამისად, რეაქციის სიჩქარეც.

თეორიულად შესაძლებელი მრავალი ქიმიური რეაქცია პრაქტიკულად არ ხორციელდება მოცემულ ტემპერატურაზე, რადგან მაღალია ამ რეაქციების აქტივაციის ენერგიის მნიშვნელობები. ასეთი რეაქციებისათვის აქტივაციის ენერგია ბუნებრივი ენერგეტიკული ბარიერია. იგი არის მიზეზი იმ ფაქტისა, რომ გარემომცველ სამყაროში ყველა შესაძლო რეაქცია არ მიმდინარეობს.

ამ დასკვნას უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. წარმოიდგინეთ, რა მოხდებოდა, რომ არ არსებობდეს ენერგეტიკული ბარიერი და ყველა შესაძლო რეაქციის განხორციელება შეიძლებოდეს? მაგალითად, ჰაერის ჟანგბადი რეაქციაში რომ შედიოდეს ყველა ნივთიერებასთან, რომელსაც აქვს წვის ან ჟანგვის უნარი? ყველა ორგანული ნაერთი გარდაიქმნებოდა ნახშირორჟანგად და წყლად, დაზარალდებოდა ბუნება, მცენარეული და ცხოველური სამყარო.

რა ისწავლეთ

- ვანტ-ჰოფის წესი – ტემპერატურის ყოველი 10^0C-ით გაზრდისას რეაქციის სიჩქარე 2-4 –ჯერ იზრდება.

ახალი ტერმინები

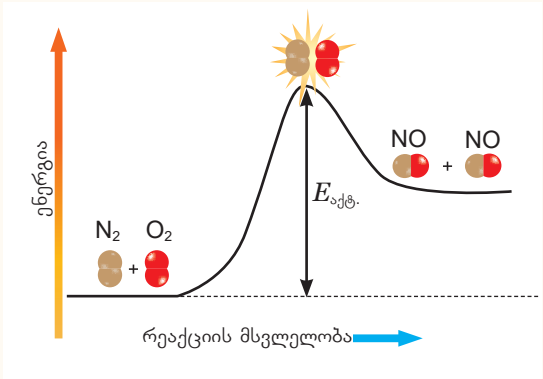
- ვანტ-ჰოფის წესი
- ტემპერატურული კოეფიციენტი
- აქტივაციის ენერგია

ბუნების კანონზომიერება

აქტივაციის ენერგია – ენერგეტიკული ბარიერი

ჰაერში მოცულობით 78% აზოტი და 21% ჟანგბადია. აზოტისა და ჟანგბადის მოლეკულები მუდმივად ეჯახება ერთმანეთს, მაგრამ ქიმიურად არ ურთიერთქმედებს. რა არის ამის მიზეზი?

აზოტის მოლეკულას სამმაგი ბმა განსაკუთრებით მაღალ სიმტკიცეს ანიჭებს. N≡N ბმის ენერგიაა 946 კჯ/მოლი. რადგან მოლეკულის დაშლა და ახალი ბმების წარმოქმნა ერთდროულად მიმდინარეობს, რეაქციის დაწყებას ანუ ენერგეტიკული ბარიერის გადალახვას ნაკლები ენერგია – 315 კჯ/მოლი სჭირდება. ეს ენერგია 3-ჯერ აღემატება ჩვეულებრივ პირობებში მიმდინარე ქიმიური რეაქციების აქტივაციის ენერგიას (50-100 კჯ/მოლი). სწორედ აქტივაციის ენერგიის მნიშვნელობა (315 კჯ/მოლი) განაპირობებს, რომ აზოტი ჩვეულებრივ პირობებში „ინერტულია“ და მისი გააქტიურება მოითხოვს დაახლოებით 3000°C, რაც ხორციელდება ელექტრული განმუხტვისას (მაგალითად, ელვაჭექის დროს, მანქანის ძრავაში...).



სურ. 4. აზოტისა და ჟანგბადის ურთიერთქმედების ენერგეტიკული დიაგრამა

ქიმია ყოფა-ცხოვრებაში

რა სიკეთე მოაქვს დაბალ ტემპერატურას

დღეისათვის საქართველოშიც ფართოდ გამოიყენება ბიოლოგიური მასალის ულტრადაბალ ტემპერატურაზე (ჩვეულებრივ –196°C, თხევად აზოტში) გაყინვისა და შენახვის მეთოდი, რომელიც უჯრედების სასიცოცხლო ფუნქციებს განუსაზღვრელი ვადით აჩერებს; შეჩერებულია უჯრედში მიმდინარე მეტაბოლური პროცესები – ქიმიური რეაქციები პრაქტიკულად შეწყვეტილია.

მაგალითად, კვერცხუჯრედის გაყინვა გამოიყენება მედიცინაში რეპროდუქციული ფუნქციის შესანარჩუნებლად. სამედიცინო თერაპიაში ჭიპლარის კრიოგენურად შენახული სისხლიდან აღებული ღეროვანი უჯრედებით ხორციელდება სისხლის ონკოლოგიური და გენეტიკური დაავადებების მკურნალობა.



სურ. 5. ბიოლოგიური მასალის შესანახი თხევადი აზოტის კრიოგენული ავზი

ტიპური ამოცანების ამოხსნა

ამოცანა 1

რამდენი გრადუსით უნდა გავზარდოთ ტემპერატურა, რომ რეაქციის სიჩქარე გაიზარდოს 8-ჯერ, თუ $\gamma = 2$.

ამოხსნა:

მოც.:

$\frac{\upsilon_{t_2}}{\upsilon_{t_1}} = 8$

$\gamma = 2$

$\Delta t = ?$

$8 = 2^{\frac{\Delta t}{10}}$

$8 = 2^x \qquad x = 3$

$\frac{\Delta t}{10} = 3 \qquad \Delta t = 30^0\text{C}$

პასუხი: 30^0C.

ამოცანა 2

ტემპერატურის 30^0C-ით გაზრდისას რეაქციის სიჩქარე გაიზარდა 27-ჯერ. რას უდრის რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტი?

ამოხსნა:

მოც.:

$\frac{\upsilon_{t_2}}{\upsilon_{t_1}} = 27$

$\Delta t = 30^0\text{C}$

$\gamma = ?$

$27 = \gamma^{\frac{30}{10}}$

$\gamma^3 = 3^3$

$\gamma = 3$

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

პასუხი: რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტი $\gamma = 3$.

ამოცანა 3

60^0C-ზე რეაქცია მიმდინარეობს 2 წუთისა და 40 წამის განმავლობაში. რამდენ ხანში დამთავრდება ეს რეაქცია 100^0C-ზე, თუ ტემპერატურის აღნიშნულ ინტერვალში რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტი 2-ის ტოლია.

ამოხსნა:

$$\frac{\upsilon_{100^0}}{\upsilon_{60^0}} = 2^{\frac{100 - 60}{10}} = 2^4 = 16$$

100^0C-ზე რეაქცია 16-ჯერ უფრო სწრაფად წარიმართება. თუ 60^0C-ზე რეაქცია მთავრდებოდა 2 წთ-სა და 40 წმ-ში, ე.ი. $2 \cdot 60 + 40 = 160$ წმ-ში, რადგან რეაქციის სიჩქარე დროის უკუპროპორციულია, 100^0C-ზე რეაქცია დამთავრდება $\frac{160 \text{ წმ}}{16} = 10$ წმ-ში.

პასუხი: 10 წმ-ში.

საშინაო აქტივობა

1. ტემპერატურის 30^0C-ით გაზრდისას რეაქციის სიჩქარე გაიზარდა 64-ჯერ. გამოთვალეთ, რამდენჯერ გაიზრდება ამ რეაქციის სიჩქარე ტემპერატურის 10^0C-ით გაზრდისას.
2. 50^0C-ზე რეაქცია მთავრდება 125 წამში ($\gamma = 3$), 70^0C-ზე რეაქცია რამდენ წამში დამთავრდება?
3. 30^0C ტემპერატურაზე რეაქციის სიჩქარეა 0,4 მოლი/ლ·წმ. გამოთვალეთ, როგორი იქნება ამ რეაქციის სიჩქარე 0^0C-ზე, თუ ტემპერატურის 10^0C-ით აწევისას იგი იზრდება 3-ჯერ.

2.2.4. ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე კატალიზატორის გავლენა

რას ისწავლით

- გაეცნობით კატალიზატორის გავლენას ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე;
- გააანალიზებთ, რა განასხვავებს ჰომოგენურ და ჰეტეროგენურ კატალიზს ერთმანეთისაგან;
- შეაფასებთ კატალიზატორის როლს ბუნებასა და ყოფაცხოვრებაში.

მორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაციებისა და ტემპერატურის გარდა ქიმიური რეაქციის სიჩქარის შეცვლის ეფექტური საშუალებაა კატალიზატორის გამოყენება. **კატალიზატორი** არის ნივთიერება, რომელიც მონაწილეობს ქიმიურ რეაქციაში, ცვლის მის სიჩქარეს, თვითონ კი უცვლელი რჩება როგორც თვისებითად, ისე რაოდენობითად.

მოვიყვანოთ მაგალითი – წყალბადის პეროქსიდის (H_2O_2) დაშლის რეაქცია:

$$2H_2O_2(\text{ხს}) \rightarrow 2H_2O(\text{თხ}) + O_2(\text{ა})$$

ვნახოთ, როგორ იმოქმედებს ამ რეაქციის სიჩქარეზე სხვადასხვა კატალიზატორი.

ექსპერიმენტი





ექსპერიმენტის მიზანი:

დაკვირვება წყალბადის პეროქსიდის დაშლის რეაქციაზე სხვადასხვა კატალიზატორის თანაობისას

რეაქტივები:	ხელსაწყოები:
წყალბადის პეროქსიდის10%-იანი ხსნარი (H_2O_2);	ქიმიური ჭიქა 4 ცალი;
მანგანუმ(IV)-ის ოქსიდი (MnO_2);	სპირტქურა;
რკინა(II)-ის ქლორიდის წყალხსნარი ($FeCl_2$);	მბჟუტავი კვარი;
მშრალი აქტიური საფუარი	შპატელი;
	საზომი ცილინდრი

ცდის მსვლელობა:

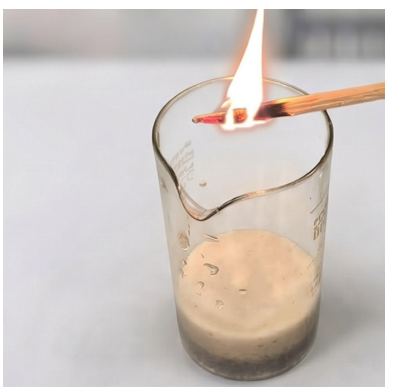
აიღეთ ოთხი ერთნაირი ზომის ქიმიური ჭიქა და თითოეულში ჩაასხით 10 მლ წყალბადის პეროქსიდის ხსნარი.

ცდა 1. (სურ.1) პირველ ჭიქაში შეიტანეთ მბჟუტავი კვარი. ჭიქაში წყალბადის პეროქსიდის დაშლა ნელა მიმდინარეობს, ამიტომ არ დაგროვდება იმდენი ჟანგბადი, რომ მბჟუტავი კვარის ანთება გამოიწვიოს.

ცდა 2. (სურ. 2) მეორე ჭიქაში ჩაასხით 2 მლ რკინა(II)-ის ქლორიდის ხსნარი. წყალბადის პეროქსიდის დაშლა სწრაფად წარიმართება და დაგროვილი ჟანგბადი გამოიწვევს მბჟუტავი კვარის ანთებას.



სურ. 1. წყალბადის პეროქსიდის დაშლა უკატალიზატოროდ



სურ. 2. წყალბადის პეროქსიდის დაშლა კატალიზატორის – რკინა(II)-ის ქლორიდის – თანაობისას

ცდა 3. (სურ. 3) მესამე ჭიქაში ჩაყარეთ მცირე რაოდენობით მანგანუმ(IV)-ის ოქსიდის ფხვნილი. წყალბადის პეროქსიდის დაშლა იმდენად სწრაფად მოხდება, რომ მბჟუტავი კვარი სწრაფად აალდება.

ცდა 4. (სურ. 4) მეოთხე ჭიქაში ჩაყარეთ მცირე რაოდენობით საფუარი.

წყალბადის პეროქსიდის ხსნარი აქაფდება ჟანგბადის ბუშტუკების სწრაფი გამოყოფის გამო.



სურ. 3. წყალბადის პეროქსიდის დაშლა კატალიზატორის – მანგანუმ(IV)-ის ოქსიდის – თანაობისას



სურ. 4. წყალბადის პეროქსიდის დაშლა ფერმენტ კატალაზას თანაობისას

ექსპერიმენტის ანალიზი:

მე-2 ჭიქაში – კატალიზურ აქტივობას ავლენს რკინა(II)-ის ქლორიდის ხსნარი;

მე-3 ჭიქაში – მანგანუმ(IV)-ის ოქსიდის ფხვნილი;

მე-4 ჭიქაში – საფუარის შემადგენლობაში შემავალი ფერმენტი – კატალაზა.
ფერმენტები ცოცხალ სისტემებში არსებული ცილოვანი ბუნების ბიოკატალიზატორებია.

ექსპერიმენტის შედეგები კარგად ასახავს ცხრილის მონაცემებს.

ცხრილი 1. H_2O_2-ის დაშლის რეაქციის ფარდობითი სიჩქარე სხვადასხვა კატალიზატორის თანაობისას

კატალიზატორი	**რეაქციის ფარდობითი სიჩქარე 25°C-ზე**
უკატალიზატოროდ	1
$FeCl_2$ (ჰომოგენური კატალიზი)	10^4
MnO_2 (ჰეტეროგენური კატალიზი)	10^5
ფერმენტი კატალაზა	10^{12}

მოყვანილი ცდები (2; 3; 4) კატალიზური რეაქციების მაგალითებია.

კატალიზატორის მონაწილეობით მიმდინარე რეაქციას **კატალიზური რეაქცია** ეწოდება, თვით პროცესს კი – **კატალიზი**.

არჩევენ **ჰომოგენურ** და **ჰეტეროგენურ** კატალიზს. **ჰომოგენური კატალიზის** შემთხვევაში, მორეაგირე ნივთიერებები (რეაგენტები) და კატალიზატორი ერთსა და იმავე აგრეგატულ მდგომარეობაშია.

ჰეტეროგენური კატალიზის შემთხვევაში, კატალიზატორი განსხვავებულ აგრეგატულ მდგომარეობაშია, უმეტეს შემთხვევაში, იგი მყარი ნივთიერებაა.

ჩვენ მიერ ჩატარებული ცდებიდან: წყალბადის პეროქსიდის დაშლის რეაქცია Fe^{2+}-იონის თანაობისას ჰომოგენური კატალიზის, ხოლო MnO_2-ის თანაობისას – ჰეტეროგენური კატალიზის მაგალითებია.

▶ კატალიზატორებად იყენებენ ქიმიური ბუნებით და შედგენილობით სრულიად განსხვავებულ ნივთიერებებს – მეტალებს, მეტალთა და არამეტალთა ოქსიდებს, ჰიდროქსიდებს, მჟავებს და ა.შ.

ჰომოგენური კატალიზის დროს ქიმიური რეაქციის სიჩქარე კატალიზატორის კონცენტრაციის პროპორციულია. ამაში ადვილად დარწმუნდებით, თუ ცდის პროცესში ხსნარში $FeCl_2$-ის კონცენტრაციას გაზრდით.

ჰეტეროგენური კატალიზის სიჩქარე იზრდება კატალიზატორის აქტივობის გაზრდით, რაც ხორციელდება ზედაპირის ფართობის გაზრდით, მაგალითად, კატალიზატორის დაქუცმაცებით (სურ.5).



სურ. 5. ჰეტეროგენური კატალიზატორები. შეხების ზედაპირის გაზრდის მიზნით მათ სხვადასხვა ფორმას აძლევენ.

ზოგიერთი ნივთიერება მკვეთრად ამცირებს რეაქციის სიჩქარეს. ამ პროცესს **ინჰიბირება** (ლათ. inhibere – შეკავება) ეწოდება, ხოლო თვით ნივთიერებას – **ინჰიბიტორი**. ინჰიბიტორები გამოიყენება არასასურველი პროცესების თავიდან ასაცილებლად. მაგალითად, კვების მრეწველობაში ინჰიბიტორებს „ანტიოქსიდანტებსა“ და „კონსერვანტებს“ უწოდებენ. ისინი გამოიყენება საკვები პროდუქტის ვარგისიანობის – შენახვის ვადის გასაზრდელად.

ზოგიერთი ნაერთი კატალიზატორის მოქმედებას აძლიერებს, თუმცა თვითონ მოცემული რეაქციის კატალიზატორს არ წარმოადგენს. ასეთ ნივთიერებებს **პრომოტორებს** უწოდებენ. მაგალითად, კალიუმის და ალუმინის ოქსიდების დამატება რკინის კატალიზურ აქტივობას აძლიერებს, თუმცა თვით კალიუმისა და ალუმინის ოქსიდებს კატალიზური აქტივობა არ ახასიათებს.

▶ კატალიზატორის მოწამვლის თავიდან აცილების მიზნით, საწარმოო პირობებში აუცილებელია მორეაგირე ნივთიერებების წინასწარ გასუფთავება კატალიზური შხამებისაგან.

ზოგიერთი ნივთიერება ამცირებს, ან სრულიად სპობს კატალიზატორის აქტივობას. ასეთ ნივთიერებებს **კატალიზურ შხამებს** უწოდებენ. მაგალითად, პლატინის კატალიზატორისათვის კატალიზური შხამებია დარიშხანის, ვერცხლისწყლის და ტყვიის ნაერთები. კატალიზატორის მოწამვლა შეიძლება აიხსნას მისი ურთიერთქმედებით კატალიზურ შხამებთან, რომლებიც კატალიზატორთან უფრო მდგრად ნაერთებს წარმოქმნის, ვიდრე მორეაგირე ნივთიერებები.

კატალიზატორის აღმოჩენამ და გამოყენებამ მთლიანად შეცვალა ქიმიური ინდუსტრია. დღეს კატალიზის პროცესი ქიმიური მრეწველობის საფუძველია; მისი პროდუქციის 90%-ზე მეტი კატალიზატორების დახმარებით მიიღება. კატალიზი მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ადამიანის ყოფა-ცხოვრებისათვის აუცილებელი პროდუქტების წარმოებაში; მილიარდობით ადამიანის საკვებით უზრუნველყოფაში; ჯანმრთელობისათვის აუცილებელი მედიკამენტების წარმოებაში. აღსანიშნავია, ასევე, მისი როლი გარემოს მავნე ნივთიერებებისაგან დაცვის პროცესში.

რა ისწავლეთ

- კატალიზატორი ნივთიერებაა, რომელიც ცვლის ქიმიური რეაქციის სიჩქარეს, თვითონ კი, რეაქციის შედეგად, როგორც თვისებითად, ისე რაოდენობითად უცვლელი რჩება;
- კატალიზატორის მონაწილეობით მიმდინარე რეაქციას **კატალიზური რეაქცია** ეწოდება, თვით პროცესს კი – კატალიზი;
- კატალიზატორი ამცირებს ენერგიის დანახარჯს, რაც წარმოებას მომგებიანს ხდის.

ახალი ტერმინები

- კატალიზატორი
- კატალიზური რეაქცია
- ჰომოგენური კატალიზი
- ჰეტეროგენური კატალიზი
- ინჰიბიტორი
- პრომოტორი
- კატალიზური შხამები

ქიმია ყოფა-ცხოვრებაში

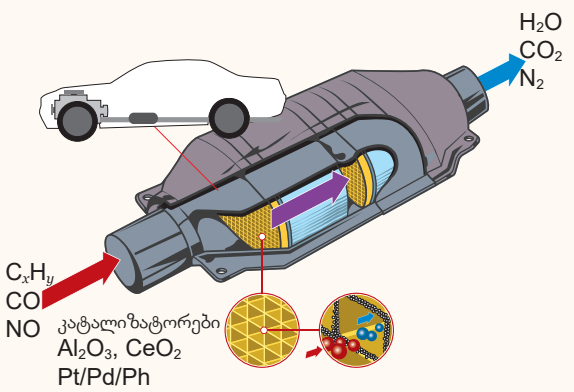
საავტომობილო კატალიზატორები

ადამიანის მიერ ენერგორესურსების – ბუნებრივი აირისა და ნავთობპროდუქტების – აქტიური მოხმარება იწვევს ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის მნიშვნელოვან გაზრდას. იმავდროულად იზრდება ტოქსიკური ნივთიერებების კონცენტრაციები – მხუთავი აირის CO, რომლის შემცველობა გამონაბოლქვ აირებში დაახლოებით 12%-ს შეადგენს, აზოტისა და გოგირდის ოქსიდები, რეაქციაში შეუსვლელი ნახშირწყალბადები და სხვ.

სრულყოფილად კონსტრუირებული ავტომობილის ძრავისა და საუკეთესო საწვავის შემთხვევაშიც კი ჰაერში გამოტყორცნილი აირები მაინც შეიცავს მომწამლავ ნივთიერებებს.

მომწამლავი აირებისაგან გარემოს დაცვის მიზნით ავტომანქანებში გამოიყენება სპეციალური მოწყობილობა, რომელსაც საავტომობილო კატალიზატორს უწოდებენ (სურ. 6).

საავტომობილო კატალიზატორებში იყენებენ ჰეტეროგენურ კატალიზატორებს – პლატინას (Pt), პალადიუმს (Pd), როდიუმს (Rh) და მეტალთა ოქსიდებს Al_2O_3, CeO_2. ისინი ავტომობილის ძრავიდან გამონაბოლქვ აირებს გარდაქმნიან უვნებელ ნივთიერებებად – ნახშირორჟანგად, წყლად, აზოტად და ჟანგბადად.

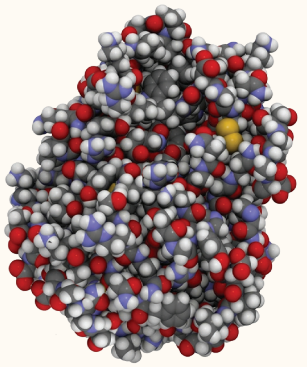


სურ. 6. მანქანის კატალიზატორის სქემა

მცენარეებსა და ცხოველებში ყველა ბიოქიმიური რეაქცია კატალიზური ბუნებისაა და მიმდინარეობს ცილოვანი ბუნების ბიოლოგიური კატალიზატორების – **ფერმენტების** – მონაწილეობით.

ფერმენტები ორგანიზმში ნივთიერებათა ცვლის პროცესებში მონაწილეობს. მათი თვისებები მთელი რიგი თავისებურებით ხასიათდება – მაღალი ეფექტურობა (აქტივობა), სპეციფიკურობა, აქტივობის რეგულირების უნარი... ფერმენტების აქტივობა მნიშვნელოვნად აღემატება არაცილოვანი კატალიზატორების აქტივობას. ფერმენტები 10^{10}-10^{13}-ჯერ აჩქარებს რეაქციებს მაშინ, როდესაც ჩვეულებრივი კატალიზატორი აჩქარებს მხოლოდ რამდენიმე ათასჯერ. სპეციფიკურობა დაკავშირებულია ფერმენტის აღნაგობასთან, რომელიც გარდასაქმნელი ნივთიერების მოლეკულის სტრუქტურის შესაბამისია.

ფერმენტი არა მხოლოდ აჩქარებს ნივთიერებათა გარდაქმნას, არამედ, რიგ შემთხვევაში, არეგულირებს სიჩქარეს თავისი კატალიზური აქტივობის შეცვლით.



სურ. 7. ფერმენტი თრომბინი. სურათი გვიჩვენებს, თუ რამდენად დიდი და რთულია ფერმენტის მოლეკულის აღნაგობა.

პროფერმენტები – ნივთიერებებია, რომლებიც წარმოიქმნება მცენარეულ და ცხოველურ ორგანიზმებში. მათ არ გააჩნია კატალიზური თვისებები, მაგრამ საჭიროების შემთხვევაში გარდაიქმნება ფერმენტებად. მაგალითად, ადამიანის სისხლი შეიცავს პროთრომბინს. იგი ორგანიზმის მოთხოვნილების შესაბამისად გარდაიქმნება თრომბინად (სურ. 7) – ფერმენტად, რომელიც აკატალიზებს სისხლში არსებული ხსნადი ცილის – ფიბრინოგენის – გარდაქმნას უხსნად ცილად – ფიბრინად, რის შედეგადაც სისხლის შედედება ხდება.

გაითვალისწინეთ! ფერმენტის კატალიზური აქტივობა მაქსიმალურია ადამიანის სხეულის ტემპერატურაზე (37^0). დაფიქრდით, რამდენად სახიფათოა ადამიანის ჯანმრთელობისთვის მაღალი ტემპერატურა, რომელიც 40^0C-ს აღემატება.

საშინაო აქტივობა

1. მარტივი ნივთიერებებიდან წყლის სინთეზის რეაქციის სიჩქარე შეიძლება გაიზარდოს კატალიზატორის თანაობისას. შეიცვლება თუ არა ამ დროს რეაქციის სითბური ეფექტი? თქვენი ვარაუდი დაასაბუთეთ.
2. დავუშვათ, ქიმიურ რეაქციაში კატალიზატორად გამოიყენეთ 3 გრამი მანგანუმ(IV)-ის ოქსიდი (MnO_2). რეაქციის დასრულების შემდეგ აწონეთ ეს ნივთიერება. რამდენი გრამი იქნება MnO_2 მასა რეაქციის შემდეგ და შეიცვლება თუ არა მისი ქიმიური თვისებები?
3. საშინაო ექსპერიმენტი:

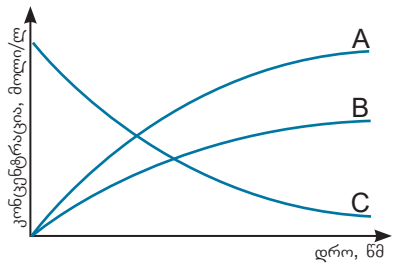
   როგორც იცით, ფერმენტები აჩქარებს სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვან რეაქციებს ცოცხალი ორგანიზმების უჯრედებში. ზოგიერთი მათგანის მოქმედებას შეგიძლიათ თქვენ თვითონ დააკვირდეთ მარტივი ცდით სახლის პირობებში.

   აიღეთ პლასტმასის ორი ჭიქა. ჩაასხით ორივეში მცირე რაოდენობით აფთიაქში შეძენილი წყალბადის ზეჟანგი. პირველში მოათავსეთ გახეხილი სტაფილო ან გახეხილი კარტოფილი. მეორე ჭიქაში წყალბადის ზეჟანგის ხსნარში მოათავსეთ მოხარშული სტაფილოს ან კარტოფილის ნაჭერი.

   რა განსხვავებას შეამჩნევთ ჭიქებში მიმდინარე ქიმიურ პროცესებს შორის. ახსენით ექსპერიმენტის შედეგი.

შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები

1. გრაფიკზე მოცემულია მრუდები, რომლებიც გვიჩვენებს ქიმიური რეაქციის დროს A, B, C ნივთიერებების კონცენტრაციის ცვლილებას დროში.



ქვემოთ მოცემული რეაქციებიდან რომელს შეესაბამება ეს გრაფიკი?

ა) $A + B \rightarrow C$
ბ) $B + C \rightarrow A$
გ) $A \rightarrow B + C$
დ) $C \rightarrow A + B$

2. რეაქცია მიმდინარეობს ტოლობით $A + 2B \rightarrow 3C$. ცდის მონაცემები მოცემულია ცხრილში:

კონცენტრაცია	A	B	C
საწყისი	0,5 მოლი/ლ	1 მოლი/ლ	?
20 წუთის შემდეგ	0,2 მოლი/ლ	?	?

გადახაზეთ ცხრილი სამუშაო რვეულში და შეავსეთ. გამოთვალეთ რეაქციის საშუალო სიჩქარე დროის მოცემულ შუალედში:
ა) B ნივთიერების კონცენტრაციის შემცირების მიხედვით
ბ) C ნივთიერების კონცენტრაციის ზრდის მიხედვით
გააანალიზეთ, შეიცვალა თუ არა რეაქციის სიჩქარე და რატომ?

3. შეადგინეთ მოცემული რეაქციის $2NO(ა) + O_2(ა) \rightarrow 2NO_2(ა)$ კინეტიკური განტოლება. როგორ შეიცვლება რეაქციის სიჩქარე, თუ სისტემის წნევას შევამცირებთ 4-ჯერ? პასუხი დაასაბუთეთ.

4. შეადგინეთ მოცემული რეაქციის $3Ca(მყ) + N_2(ა) \rightarrow Ca_3N_2(მყ)$ კინეტიკური განტოლება. როგორ შეიცვლება რეაქციის სიჩქარე, თუ სისტემის წნევას სამჯერ შევამცირებთ? პასუხი დაასაბუთეთ.

5. შეადგინეთ მოცემული რეაქციის $S(მყ) + O_2(ა) \rightarrow SO_2(ა)$ კინეტიკური განტოლება. როგორ შეიცვლება რეაქციის სიჩქარე, თუ სისტემის მოცულობას 5-ჯერ გავზრდით? პასუხი დაასაბუთეთ.

6. შეადგინეთ მოცემული რეაქციის $2H_2(ა) + O_2(ა) \rightarrow 2H_2O(ა)$ კინეტიკური განტოლება. რამდენჯერ უნდა გაიზარდოს ჟანგბადის კონცენტრაცია სისტემაში, რომ წყალბადის კონცენტრაციის 3-ჯერ შემცირებისას რეაქციის სიჩქარე არ შეიცვალოს? პასუხი დაასაბუთეთ.

7. შეადგინეთ მოცემული რეაქციის $2NO(ა) + O_2(ა) \rightarrow 2NO_2(ა)$ კინეტიკური განტოლება. რამდენჯერ უნდა გავზარდოთ წნევა, რომ რეაქციაში აზოტის დიოქსიდის წარმოქმნის სიჩქარე გაიზარდოს 125-ჯერ? პასუხი დაასაბუთეთ.

8. რამდენი გრადუსით უნდა გავზარდოთ აირად ფაზაში მიმდინარე რეაქციის ტემპერატურა, რომ სიჩქარე გაიზარდოს 729-ჯერ, თუ სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტი 3-ის ტოლია?

9. ტემპერატურის 50^0C-ით გაზრდისას რეაქციის სიჩქარე გაიზარდა 243-ჯერ. როგორია ამ რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტი?

10. 50^0C-ზე ქიმიური რეაქციის სიჩქარეა 0,5 მოლი/ლ·წმ. ააგეთ გრაფიკი, რომელიც გამოხატავს რეაქციის სიჩქარის დამოკიდებულებას ტემპერატურაზე, თუ ტემპერატურის 10^0C-ით გაზრდისას რეაქციის სიჩქარე ორმაგდება.

2.3. ქიმიური წონასწორობა

რას ისწავლით

- გაეცნობით, რა განსხვავებაა შექცევად და შეუქცევად რეაქციებს შორის;
- გააანალიზებთ ქიმიური წონასწორობის არსს;
- შეძლებთ წონასწორობის მუდმივას გამოყენებით რაოდენობითი გამოთვლების წარმოებას.

ქიმიური გარდაქმნების შესწავლისას განვიხილეთ მრავალი პროცესი, რომელიც საწყისი ნივთიერებების სრული გარდაქმნით მიმდინარეობს.

? **გაიაზრეთ**

- ხორციელდება თუ არა ყველა ქიმიური რეაქცია რეაგენტების სრული გარდაქმნით რეაქციის პროდუქტებად?

აღმოჩნდა, რომ თუ რეაქციის პროდუქტები იმავე პირობებში ერთმანეთთან ურთიერთქმედებს საწყისი რეაგენტების წარმოქმნით, რეალურად მიმდინარეობს ორი საპირისპირო რეაქცია: **პირდაპირი და შებრუნებული.** პროცესის შედეგად მიიღება რეაგენტებისა და პროდუქტების ნარევი და არა მხოლოდ პროდუქტების ნარევი.

რეაქციას, რომელიც მხოლოდ ერთი მიმართულებით მიმდინარეობს – როდესაც რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებები (რეაგენტები) სრულად გარდაიქმნება რეაქციის პროდუქტებად და რეაქციის პროდუქტები იმავე პირობებში ერთმანეთთან არ ურთიერთქმედებს – **შეუქცევადი რეაქცია** ეწოდება.

მაგალითად,

ბერთოლეს მარილი ($KClO_3$) გახურებისას იშლება კალიუმის ქლორიდად და ჟანგბადად:

$$2KClO_3\,(მყ) \xrightarrow{t} 2KCl(მყ) + 3O_2(ა)$$

რეაქცია მხოლოდ მაშინ შეწყდება, როცა ბერთოლეს მარილი მთლიანად დაიშლება. თუ შევეცდებით KCl-ში ჟანგბადის გატარებით ისევ ბერთოლეს მარილის მიღებას, ცდა უშედეგოდ დამთავრდება:

$$KCl + 3O_2 \not\longrightarrow$$

მოცემული რეაქცია შეუქცევადია.

რეაქცია ასევე შეუქცევადი იქნება:

თუ რეაქციის შედეგად ერთ-ერთი პროდუქტი გამოიყოფა ნალექის ან აირის სახით:

$$AgNO_3(ხს) + NaCl(ხს) \rightarrow NaNO_3(ხს) + AgCl(მყ)\downarrow$$

$$K_2CO_3(ხს) + H_2SO_4(ხს) \rightarrow K_2SO_4(ხს) + CO_2(ა) + H_2O(თხ)$$

ან, თუ ერთ-ერთი პროდუქტი იქნება მცირედ დისოცირებადი ნივთიერება, მაგალითად, წყალი:

$$NaOH(ხს) + HCl(ხს) \rightarrow NaCl(ხს) + H_2O(თხ)$$

რეაქციები შეუქცევადია, თუ საპირისპირო რეაქციას დიდი რაოდენობით სითბო სჭირდება, მაგალითად, წვის რეაქციები.

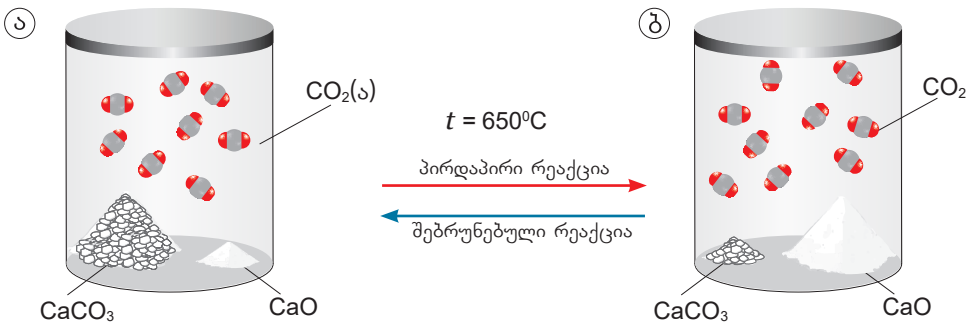
კალციუმის კარბონატის დაშლის რეაქცია გახურებისას ღია სისტემაში (ღია გარემოში) შეუქცევადია.

$$CaCO_3(მყ) \xrightarrow{t} CaO(მყ) + CO_2(ა)$$

იგივე რეაქცია დახურულ სივრცეში შექცევადია (სურ. 1). ასეთ რეაქციათა გამომსახველ ტოლობებში ერთმანეთის საპირისპიროდ მიმართულ ისრებს იყენებენ, რაც რეაქციის ორივე მიმართულებით მიმდინარეობას ნიშნავს:

$$CaCO_3(მყ) \rightleftarrows CaO(მყ) + CO_2(ა)$$

მარცხნიდან მარჯვნივ მიმდინარე რეაქციას ეწოდება პირდაპირი რეაქცია, ხოლო მარჯვნიდან მარცხნივ მიმდინარე რეაქციას – შებრუნებული.



სურ. 1. კალციუმის კარბონატის დაშლის სქემა დახურულ სისტემაში

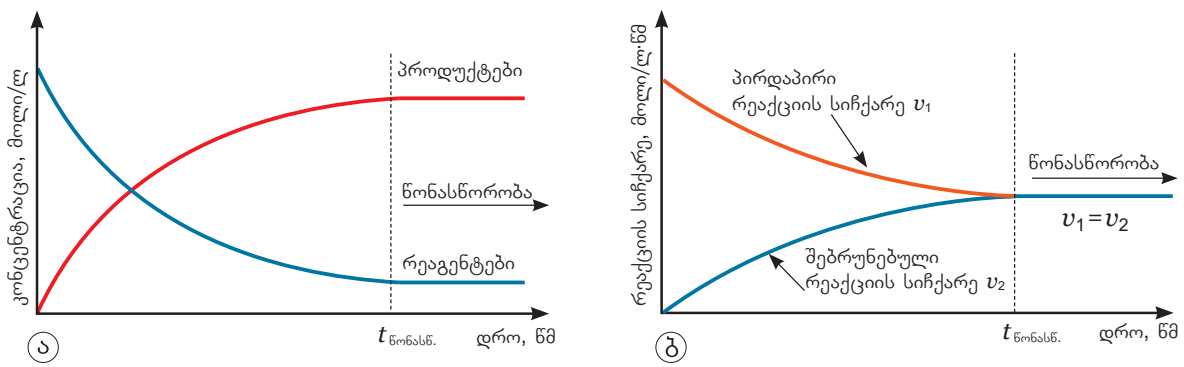
რეაქციას, რომელიც ერთსა და იმავე პირობებში ერთდროულად ორი ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებით მიმდინარეობს, შექცევადი რეაქცია ეწოდება.

შექცევადი რეაქცია ორი საპირისპირო პროცესის – პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციების – ერთობლიობაა.

განვიხილოთ ზოგადი სახით მოცემული შექცევადი რეაქციის მიმდინარეობის პროცესი:

$$aA + bB \rightleftarrows cC + dD$$

რეაქციის დასაწყისში თანდათანობით მცირდება რეაგენტების კონცენტრაციები (რაოდენობები) და იზრდება რეაქციის პროდუქტების კონცენტრაციები (სურ. 2 ა). შესაბამისად, თანდათან მცირდება პირდაპირი რეაქციის სიჩქარე და იზრდება შებრუნებული რეაქციის სიჩქარე. გარკვეულ მომენტში ორი ურთიერთსაპირისპირო რეაქციის სიჩქარე ერთმანეთს გაუტოლდება და დამყარდება ქიმიური წონასწორობა (სურ. 2 ბ).



სურ. 2. შექცევად რეაქციებში (ა) კონცენტრაციისა და (ბ) რეაქციის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების მრუდი

გაიაზრეთ

- იცვლება თუ არა პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციების სიჩქარეები წონასწორობის მიღწევამდე და როგორ? პასუხი დაასაბუთეთ.

სისტემის ისეთ მდგომარეობას, როდესაც დროის ერთეულში თითოეული ნივთიერების რა რაოდენობაც წარმოიქმნება, იმდენივე იხარჯება, ქიმიური წონასწორობა ეწოდება.

გაითვალისწინეთ, ქიმიური წონასწორობა დამახასიათებელია მხოლოდ შექცევადი რეაქციებისათვის.

შექცევად რეაქციებში სიჩქარის დამოკიდებულება კონცენტრაციაზე განვიხილოთ ზოგადი რეაქციის მაგალითზე:

$$aA + bB \rightleftarrows cC + dD$$

მოქმედ მასათა კანონის თანახმად:

$$\upsilon_1 = k_1 C_A^a \cdot C_B^b$$

$$\upsilon_2 = k_2 C_C^c \cdot C_D^d$$

სადაც: υ_1 პირდაპირი რეაქციის სიჩქარეა;
υ_2 – შებრუნებული რეაქციის სიჩქარე;
k_1 – პირდაპირი რეაქციის სიჩქარის მუდმივა;
k_2 – შებრუნებული რეაქციის სიჩქარის მუდმივა;
a, b, c, d – ნივთიერების კოეფიციენტები.

რადგან ქიმიური წონასწორობის დროს

$$\upsilon_1 = \upsilon_2$$

ამიტომ

$$k_1 [A]^a [B]^b = k_2 [C]^c [D]^d$$

საიდანაც:

$$\frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = \frac{k_1}{k_2} = K$$

▶ წონასწორულ მდგომარეობაში კონცენტრაციებს გამოსახავენ კვადრატული ფრჩხილებით [ ].

გამოსახულებებში [A], [B], [C] და [D] მორეაგირე ნივთიერებათა წონასწორული კონცენტრაციებია, ხოლო K – **წონასწორობის მუდმივა**.

წონასწორობის მუდმივა არის მიღებული და აღებული ნივთიერებების წონასწორული კონცენტრაციების ნამრავლთა ფარდობა.

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

← პროდუქტები
← რეაგენტები

ყოველი ქიმიური წონასწორობა ხასიათდება გარკვეული მნიშვნელობის წონასწორობის მუდმივათი.

თუ რეაქციის წონასწორობის მუდმივა მეტია ერთზე ($K > 1$), წონასწორულ სისტემაში ჭარბობს რეაქციის პროდუქტები. ამ შემთხვევაში პირდაპირი რეაქციის სიჩქარის მუდმივას მნიშვნელობა უფრო მაღალია, ვიდრე შებრუნებული რეაქციისა ($k_1 > k_2$). ე.ი. წონასწორობა დამყარდა მაშინ, როცა უპირატესად წარიმართა პირდაპირი რეაქცია.

თუ რეაქციის წონასწორობის მუდმივა ერთზე ნაკლებია ($K < 1$), წონასწორულ სისტემაში ჭარბობს საწყისი ნივთიერებები – რეაგენტები. ამ შემთხვევაში შებრუნებული რეაქციის სიჩქარის მუდმივას მნიშვნელობა უფრო მაღალია, ვიდრე პირდაპირი რეაქციისა ($k_1 < k_2$).

რეაქციის წონასწორობის მუდმივა განსაზღვრავს რეაქციის გამოსავლიანობას. როცა $K > 1$, რეაქციის გამოსავლიანობა მაღალია.

ქიმიური წონასწორობა დინამიკურია (მოძრავია) – თუ რაიმე ფაქტორი დაარღვევს წინასწორობას, კვლავ დამყარდება ახალი წონასწორობა ახალი პირობების შესაბამისად.

გაიაზრეთ

- მოცემულია ორი რეაქცია:

  $2NO_2(ა) \rightleftarrows N_2O_4(ა)$

  $Cl_2(ხს) + H_2O(თხ) \rightleftarrows HClO(ხს) + HCl\ (ხს)$

  შეადარეთ პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციის სიჩქარეები წონასწორობის მდგომარეობაში. პასუხი დაასაბუთეთ.

რა ისწავლეთ

- წონასწორობის მდგომარეობაში პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციები უწყვეტად მიმდინარეობს ტოლი სიჩქარით, რის გამოც ნარევში თითოეული ნივთიერების წონასწორული კონცენტრაცია უცვლელია;
- წონასწორობის მუდმივა არის მიღებული და აღებული ნივთიერებების წონასწორული კონცენტრაციების ნამრავლთა ფარდობა.

ახალი ტერმინები

- შეუქცევადი რეაქცია
- შექცევადი რეაქცია
- პირდაპირი რეაქცია
- შებრუნებული რეაქცია
- ქიმიური წონასწორობა
- წონასწორობის მუდმივა

ტიპური ამოცანების ამოხსნა

ამოცანა 1

მოცემულ რეაქციაში $A + 2B \rightleftarrows C + D$ წონასწორობის დამყარების შემდეგ ნივთიერებების კონცენტრაციებია: [A] = 0,4 მოლი/ლ; [B] = 0,5 მოლი/ლ; [C] = 0,25 მოლი/ლ; [D] = 0,8 მოლი/ლ. გამოთვალეთ წონასწორობის მუდმივა. რეაქციაში ყველა ნივთიერება აირადია.

ამოხსნა:

მოც.:
[A] = 0,4 მოლი/ლ
[B] = 0,5 მოლი/ლ
[C] = 0,25 მოლი/ლ
[D] = 0,8 მოლი/ლ

K = ?

რადგან პირობაში მოცემულია წონასწორული კონცენტრაციები, გამოვიყენებთ წონასწორობის მუდმივას განტოლებას და ჩავსვამთ შესაბამის მნიშვნელობებს:

$$A + 2B \rightleftarrows C + D$$

$$K = \frac{[C][D]}{[A][B]^2} \qquad K = \frac{0{,}25 \cdot 0{,}8}{0{,}4 \cdot 0{,}5^2} = 2$$

წონასწორობის მუდმივა 2-ის ტოლია.

პასუხი: $K = 2$.

ამოცანა 2

რეაქციაში $2A + B \rightleftarrows C$ წონასწორობის პირობებში რეაგენტების წონასწორული კონცენტრაციებია: [A] = 0,5 მოლი/ლ, [B] = 0,2 მოლი/ლ. გამოთვალეთ C ნივთიერების წონასწორული კონცენტრაცია, თუ წონასწორობის მუდმივა 1-ის ტოლია. რეაქციაში მონაწილე ყველა ნივთიერება აირადია.

ამოხსნა:

მოც.:
[A] = 0,5 მოლი/ლ
[B] = 0,2 მოლი/ლ
K = 1

[C] = ?

C ნივთიერების წონასწორული კონცენტრაცია აღვნიშნოთ x-ით და წონასწორობის მუდმივას განტოლებაში ჩავსვათ შესაბამისი მნიშვნელობები.

$$2A + B \rightleftarrows C$$

$$K = \frac{[C]}{[A]^2[B]} \qquad 1 = \frac{x}{0{,}5^2 \cdot 0{,}2} \qquad x = 0{,}05$$

პასუხი: [C] = 0,05 მოლი/ლ.

ამოცანა 3

რეაქციაში $SO_2(ა) + NO_2(ა) \rightleftarrows SO_3(ა) + NO(ა)$
SO_2-ის და NO_2-ის საწყისი კონცენტრაციებია: $C(SO_2)$ = 6 მოლი/ლ; $C(NO_2)$ = 7 მოლი/ლ.
გამოთვალეთ SO_2-ის წონასწორული კონცენტრაცია, თუ წონასწორობის მუდმივა 1-ის ტოლია.

ამოხსნა:

მოც.:
$C(SO_2)$ = 6 მოლი/ლ
$C(NO_2)$ = 7 მოლი/ლ
K = 1

$[SO_2]$ = ?

$$SO_2 + NO_2 \rightleftarrows SO_3 + NO$$

დავუშვათ, წონასწორულ ნარევში აღმოჩნდა x მოლი/ლ SO_3.
წონასწორულ ნარევში იქნება ასევე x მოლი/ლ NO,
$(6 - x)$მოლი/ლ SO_2 და $(7 - x)$მოლი/ლ NO_2,

მაშინ

$$K = \frac{[SO_3]\,[NO]}{[SO_2]\,[NO_2]} = 1 \qquad 1 = \frac{x^2}{(6 - x)\cdot(7 - x)} \;\Big|\; x = 3{,}23$$

$[SO_3] = 3{,}23$ მოლი/ლ

3,23 მოლი SO_3 მიღებაზე, ტოლობის თანახმად, იხარჯება 3,23 მოლი SO_2, ამიტომ წონასწორულ ნარევში დარჩება

$[SO_2] = 6 - 3{,}23 = 2{,}77$ მოლი/ლ.

პასუხი: 2,77 მოლი/ლ SO_2.

საშინაო აქტივობა

1. დავუშვათ, $2SO_2(ა) + O_2(ა) \rightleftarrows 2SO_3(ა)$ რეაქციის წონასწორობის დროს 1 წმ-ში წარმოიქმნა გოგირდ(VI)-ის ოქსიდის n მოლეკულა. ამავე დროის განმავლობაში გოგირდ(VI)-ის ოქსიდის რამდენი მოლეკულა დაიშალა და ჟანგბადის რამდენი მოლეკულა წარმოიქმნა?

2. გამოსახეთ წონასწორობის მუდმივა შემდეგი რეაქციებისათვის:

$$N_2(ა) + 3H_2(ა) \rightleftarrows 2NH_3(ა)$$

$$2NO(ა) + O_2(ა) \rightleftarrows 2NO_2(ა)$$

3. დავუშვათ, რომ რეაქციამ $2NO\,(ა) + O_2\,(ა) \rightleftarrows 2NO_2\,(ა)$ მიაღწია წონასწორობის მდგომარეობას და დროის ერთეულში წონასწორულ ნარევში წარმოიქმნა 0,01 მოლი NO_2. რა რაოდენობის NO და O_2 დაიხარჯება დროის ამავე მონაკვეთში? რა რაოდენობის NO_2 დაიშლება და დაშლის შედეგად რა რაოდენობის NO და O_2 წარმოიქმნება? გადაიტანეთ ცხრილი სამუშაო რვეულში და შეავსეთ.

ნივთიერებები	დაიხარჯება დროის ერთეულში	წარმოიქმნება დროის ერთეულში
NO		
O_2		
NO_2		0,01 მოლი

შეიცვლება თუ არა წონასწორული ნარევის შედგენილობა დროთა განმავლობაში? პასუხი დაასაბუთეთ.

4. $2SO_2(ა) + O_2(ა) \rightleftarrows 2SO_3(ა)$

გარკვეულ ტემპერატურაზე სისტემაში წონასწორული კონცენტრაციები ტოლია:

$[SO_2] = 0{,}04$ მოლ/ლ

$[O_2] = 0{,}06$ მოლ/ლ

$[SO_3] = 0{,}02$ მოლ/ლ

ა) გამოთვალეთ წონასწორობის მუდმივას მნიშვნელობა;

ბ) გამოთვალეთ გოგირდ(IV)-ის ოქსიდისა და ჟანგბადის საწყისი კონცენტრაციები.

5. რეაქციაში $A + B \rightleftarrows C$ წონასწორული კონცენტრაციებია $[A] = 0{,}5$ მოლი/ლ, $[B] = 2$ მოლი/ლ. გამოთვალეთ C ნივთიერების წონასწორული კონცენტრაცია ($K = 1$). რეაქციაში მონაწილე ყველა ნივთიერება ხსნარშია.

2.4. წონასწორობის გადახრის პირობები. ლე შატელიეს პრინციპი

რას ისწავლით

- გაეცნობით, რას გულისხმობს ლე შატელიეს პრინციპი და როგორ რეაგირებს სისტემა წონასწორობის დარღვევაზე;
- გააანალიზებთ, რა გავლენას ახდენს ქიმიურ წონასწორობაზე ტემპერატურის, წნევისა და კონცენტრაციის ცვლილება;
- გაიგებთ, როგორ გამოიყენება წონასწორობის მართვის პრინციპები ქიმიურ მრეწველობაში.

წონასწორულ სისტემაში მორეაგირე ნივთიერებებსა და რეაქციის პროდუქტებს აქვს განსაზღვრული კონცენტრაციები. თუ წონასწორობაზე არ მოვახდენთ გარედან ზემოქმედებას, დროთა განმავლობაში კონცენტრაციები არ შეიცვლება.

წარმოიდგინეთ რა მოხდება, თუ წონასწორულ სისტემაზე მოვახდენთ ზემოქმედებას: შევცვლით ერთ-ერთი მორეაგირე ნივთიერების კონცენტრაციას – დავამატებთ ნივთიერებას ან გამოვიტანთ სარეაქციო არიდან, შევცვლით ტემპერატურას გაცხელებით ან გაცივებით, აირების შემთხვევაში შევცვლით წნევას.

ასეთი ზემოქმედება გამოიწვევს წონასწორობის დარღვევას. გარკვეული დროის შემდეგ კვლავ დამყარდება ახალი წონასწორობა. თუ ახალ წონასწორულ მდგომარეობაში რეაქციის პროდუქტების რაოდენობა უფრო მეტი იქნება, ვიდრე დარღვევამდე იყო, ამბობენ, რომ წონასწორობა გადაიხარა რეაქციის პროდუქტების წარმოქმნის მხარეს – მარჯვნივ.

წონასწორობის გადახრას იწვევს მორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაციის, სისტემის ტემპერატურისა და წნევის ცვლილება.

გადახრის მიმართულება განისაზღვრება ფრანგი ქიმიკოსისა და ფიზიკოსის **ანრი ლუი ლე შატელიეს მოძრავი წონასწორობის პრინციპით**:

> **თუ რაიმე ფაქტორი არღვევს წონასწორობას, სისტემაში აღიძვრება ისეთი პროცესი, რომელიც ამ დამრღვევი ფაქტორის მოქმედების შემცირების მიმართულებით წარიმართება.**

ქიმიის ისტორიიდან

„ხელიდან გაშვებული გამოგონება“

1884 წელს ფრანგმა ქიმიკოსმა და ფიზიკოსმა ანრი ლუი ლე შატელიემ ჩამოაყალიბა მოძრავი წონასწორობის პრინციპი, რომელსაც მისი სახელი ეწოდა. ლე შატელიეს აქტიური მონაწილეობით ფიზიკური ქიმია და ქიმიური ტექნოლოგია ჩამოყალიბდა მეცნიერების დამოუკიდებელ, განვითარებად დარგებად.

1901 წელს მეცნიერი შეეცადა აზოტი და წყალბადი შეეყვანა რეაქციაში 200 ატმოსფერული წნევისა და 600°C ტემპერატურის პირობებში, მეტალური რკინის (კატალიზატორი) თანაობისას. მოხდა საშინელი აფეთქება, რომლის დროსაც კინაღამ დაიღუპა მისი ასისტენტი. ლე შატელიემ აღმოაჩინა, რომ აფეთქება გამოიწვია აპარატში ჰაერის არსებობამ. ამ ინციდენტის გამო მან კვლევა შეწყვიტა.

ლე შატელიეს ცდამ გზა გაუხსნა გერმანელ ქიმიკოსს, ფრიც ჰაბერს, რომელმაც გა-



სურ. 1. ანრი ლუი ლე შატელიე (1850-1936)

ნახორციელა ამიაკის სინთეზი კატალიზატორის გამოყენებით. ფ. ჰაბერმა აღიარა, რომ მისი მიღწევა ლე შატელიეს წარუმატებელმა მცდელობამ დააჩქარა.

სიკვდილის წინ ლე შატელიე წერდა „მე უფლება მივეცი ამიაკის სინთეზის აღმოჩენას, რომ ხელიდან გამსხლტომოდა. ეს იყო ყველაზე დიდი შეცდომა ჩემი სამეცნიერო კარიერის განმავლობაში“.

ქიმიურ წონასწორობაზე კონცენტრაციის გავლენა

თუ წონასწორულ სისტემაში შევცვლით ერთ-ერთი ნივთიერების კონცენტრაციას, წონასწორობა დაირღვევა და გარკვეული დროის შემდეგ ახალი წონასწორობა დამყარდება. წონასწორული კონცენტრაციების მნიშვნელობები სხვა იქნება, მაგრამ წონასწორობის მუდმივა არ შეიცვლება.

მაგალითი – წონასწორობის გადახრა რეაგენტის დამატებისას

$$CO_{(ა)} + 3H_{2(ა)} \rightleftarrows CH_{4(ა)} + H_2O_{(ა)}$$

რა გავლენას მოახდენს მოცემული რეაქციის ქიმიურ წონასწორობაზე, თუ სარეაქციო ჭურჭელში დამატებით შევიტანთ ნახშირბად(II)-ის ოქსიდს, ე.ი. თუ გავზრდით CO-ს კონცენტრაციას?

გაიზრდება CO და H_2-ის მოლეკულებს შორის ეფექტური დაჯახებები, შედეგად გაიზრდება პირდაპირი რეაქციის სიჩქარე, რასაც გამოსახავს მარჯვნივ მიმართული უფრო გრძელი წითელი ისარი:

$$CO_{(ა)} + 3H_{2(ა)} \rightleftharpoons CH_{4(ა)} + H_2O_{(ა)}$$

მაშასადამე, წონასწორობის დამრღვევ ფაქტორს რეაქცია უწევს წინააღმდეგობას და წონასწორობას გადახრის მისი მოქმედების შემცირების მიმართულებით.

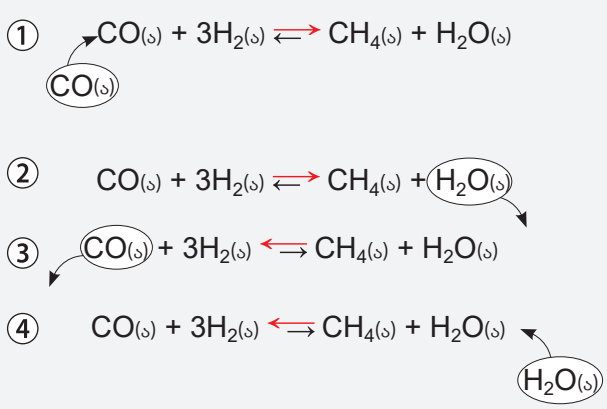
დროთა განმავლობაში პირდაპირი რეაქცია თანდათან შენელდება, რადგან მცირდება CO და H_2-ის კონცენტრაციები. იზრდება შებრუნებული რეაქციის სიჩქარე, რადგან მეტი და მეტი რაოდენობის რეაქციის პროდუქტი წარმოიქმნება. ახალი წონასწორული კონცენტრაციებით დამყარდება ახალი წონასწორული მდგომარეობა.

? გაიაზრეთ

დააკვირდით ქიმიურ ტოლობას.

1. ახსენით თითოეული რეაქციის გამოსახულებაში წონასწორობის დამრღვევი ფაქტორების მოქმედება. ყურადღება მიაქციეთ წითელი ისრის მიმართულებას. შეესაბამება თუ არა იგი დამრღვევი ფაქტორის მოქმედებებს?
2. დაირღვევა თუ არა წონასწორობა, თუ სარეაქციო ჭურჭელში:
   ა) შევიტანთ დამატებით H_2-ს?
   ბ) სარეაქციო არიდან გამოვიტანთ CH_4-ს?

   პასუხი დაასაბუთეთ.



ერთ-ერთი მორეაგირე ნივთიერების კონცენტრაციის გაზრდისას წონასწორობა გადაიხრება ამ ნივთიერების კონცენტრაციის შემცირების მიმართულებით, ხოლო კონცენტრაციის შემცირებისას – ამ ნივთიერების კონცენტრაციის ზრდის მიმართულებით.

? გაიაზრეთ

- წონასწორულ სისტემაში ერთ-ერთი ნივთიერების კონცენტრაციის ცვლილება არღვევს წონასწორობას. გარკვეული დროის შემდეგ მყარდება ახალი წონასწორობა, რომელშიც ნივთიერებათა წონასწორული კონცენტრაციები განსხვავებული იქნება, წონასწორობის მუდმივა კი – უცვლელი. ახსენით მიზეზი.

ქიმიურ წონასწორობაზე ტემპერატურის გავლენა

ქიმიურ წონასწორობაზე ტემპერატურის გავლენის გასარკვევად აუცილებელია რეაქციის სითბური ეფექტის ცოდნა.

▶ N_2O_4 სითხეა -11^oC-დან $+20,6^oC$-მდე.

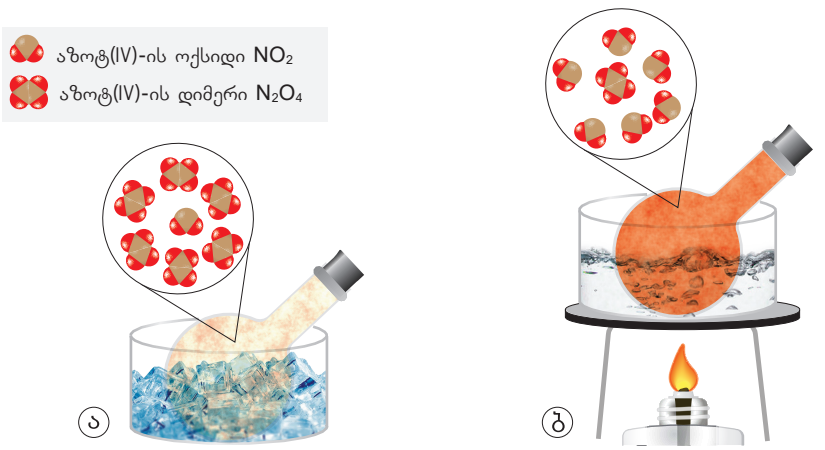
განვიხილოთ ტემპერატურის გავლენა ქიმიურ წონასწორობაზე აზოტ(IV)-ის ოქსიდის დიმერიზაციის რეაქციის მაგალითზე. აზოტ(IV)-ის ოქსიდი მურა-მოწითალო აირია. მისი დიმერიზაციით მიიღება აზოტ(IV)-ის უფერო დიმერი – N_2O_4.

$$2NO_2(ა) \rightleftarrows N_2O_4(ა) + Q$$

▶ NO_2 მურა-წითელი ფერის, დამახასიათებელი სუნის მქონე, მომწამლავი, ჰაერზე მძიმე აირია. ის ატმოსფეროს ერთ-ერთი მთავარი დამაბინძურებელია – აღიზიანებს სასუნთქ გზებს, მაღალი კონცენტაციისას იწვევს ფილტვების შეშუპებას.

რეაქცია შექცევადია. დიმერიზაცია პირდაპირი რეაქციაა, ხოლო დიმერის დაშლა – შებრუნებული. პირდაპირი რეაქცია ეგზოთერმულია, ხოლო შებრუნებული – ენდოთერმული.

წონასწორობა რომ გადაიხაროს დიმერის წარმოქმნის მხარეს (მარჯვნივ), საჭიროა წონასწორული ნარევი გავაცივოთ, მაგალითად, კოლბა მოვათავსოთ ყინულიან წყალში (სურ. 2 ა); და, პირიქით, წონასწორობა რომ გადაიხაროს დიმერის დაშლის მხარეს (მარცხნივ), საჭიროა დიმერის შემცველი წონასწორული ნარევის გაცხელება (სურ. 2 ბ).



სურ. 2. (ა) წონასწორული ნარევის გაციებისას წონასწორობა გადაიხრება N_2O_4-ის წარმოქმნის მხარეს; (ბ) წონასწორული ნარევის გაცხელება წონასწორობას გადახრის NO_2-ის წარმოქმნის მხარეს.

აქედან გამომდინარეობს, რომ თვით რეაქცია უწევს წინააღმდეგობას გარე ფაქტორის მოქმედებას და ცდილობს შეამციროს მისი ქმედება.

თუ პირდაპირი რეაქცია ეგზოთერმულია, ტემპერატურის გაზრდა გამოიწვევს წონასწორობის გადახრას რეაგენტების წარმოქმნის მხარეს. ამ დროს K **მცირდება.**

თუ პირდაპირი რეაქცია ენდოთერმულია, ტემპერატურის გაზრდა გამოიწვევს წონასწორობის გადახრას რეაქციის პროდუქტის წარმოქმნის მხარეს. ამ დროს K **იზრდება.**

აღსანიშნავია, რომ **ტემპერატურის ცვლილება იწვევს არა მხოლოდ წონასწორობის გადახრას, არამედ წონასწორობის მუდმივას (K) ცვლილებასაც.**

ქიმიურ წონასწორობაზე წნევის გავლენა

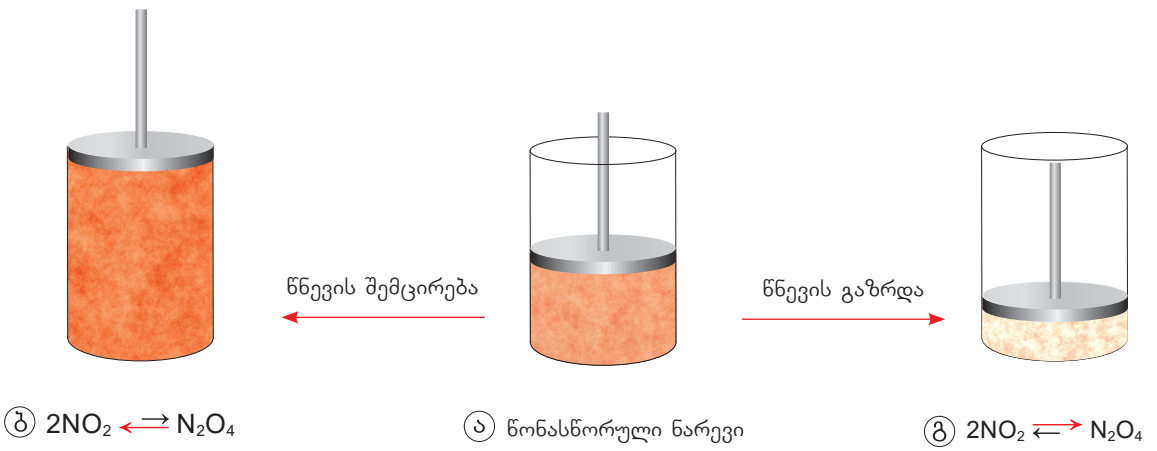
წნევა გავლენას ახდენს მხოლოდ ისეთი რეაქციების წონასწორობაზე, რომელიც მიმდინარეობს აირებს შორის ნივთიერებათა რაოდენობების ცვლილებით.

პროცესი განვიხილოთ ისევ აზოტის(IV)-ის ოქსიდის დიმერიზაციის მაგალითზე.

$$2NO_2\,(ა) \rightleftarrows N_2O_4\,(ა) + Q$$

პირდაპირი რეაქცია – **დიმერიზაცია** – მიმდინარეობს ნივთიერების რაოდენობის შემცირებით, ე. ი. წნევის შემცირებითაც (დახშულ ჭურჭელში 2 მოლი NO_2 უფრო მეტ წნევას ქმნის, ვიდრე 1 მოლი დიმერი), ამიტომ წნევის გაზრდისას წონასწორობა (სურ. 3 ა) გადაიხრება დიმერიზაციის მხარეს, მარჯვნივ (სურ. 3 გ). ამას ადასტურებს ფერის ცვლილებაც.

შებრუნებული რეაქცია – **დიმერის დაშლა** – მიმდინარეობს ნივთიერების რაოდენობის გაზრდით, ე.ი. წნევის გაზრდით, ამიტომ წნევის შემცირებისას წონასწორობა (სურ. 3 ა) გადაიხრება დიმერის დაშლის მხარეს, მარცხნივ (სურ. 3 ბ).



სურ. 3. (ა) წონასწორულ ნარევზე წნევის გაზრდა წონასწორობას გადახრის N_2O_4-ის წარმოქმნის მხარეს – მარჯვნივ **(გ)**; წნევის შემცირებისას წონასწორობა გადაიხრება მარცხნივ, NO_2-ის მხარეს **(ბ)**.

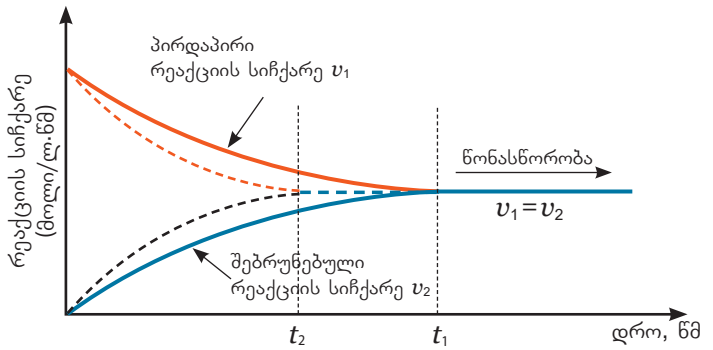
თუ რეაქცია მიმდინარეობს აირად ნივთიერებათა რაოდენობის შემცირებით (ე. ი. წნევის შემცირებით), წნევის გაზრდა გამოიწვევს წონასწორობის გადახრას რეაქციის პროდუქტის წარმოქმნის მხარეს. ამ დროს K **იზრდება.**

თუ რეაქცია მიმდინარეობს აირად ნივთიერებათა რაოდენობის გაზრდით (ე.ი. წნევის გაზრდით), პირიქით, წნევის გაზრდა გამოიწვევს წონასწორობის გადახრას საწყისი ნივთიერებების წარმოქმნის მხარეს. ამ დროს K **მცირდება.**

თუ რეაქცია მიმდინარეობს აირად ნივთიერებათა რაოდენობების შეუცვლელად, წნევა ასეთ წონასწორულ სისტემაზე გავლენას არ ახდენს, რადგან თვით რეაქცია მიდის წნევის ცვლილების გარეშე და არ შეუძლია გაუწიოს წინააღმდეგობა გარე ფაქტორის მოქმედებას.

ქიმიურ წონასწორობაზე კატალიზატორის გავლენა

უკვე განხილული ფაქტორების ანალოგიურად, იწვევს თუ არა კატალიზატორი წონასწორობის დარღვევას? დააკვირდით დიაგრამას (სურ. 4).



სურ. 4. კატალიზატორის გავლენა წონასწორობაზე (აღნიშნულია წყვეტილი ხაზებით)

კატალიზატორი არ იწვევს წონასწორობის გადახრას. იგი ერთნაირად ზრდის როგორც პირდაპირი, ისე შებრუნებული რეაქციის სიჩქარეს და სისტემა უფრო მოკლე დროში მიჰყავს წონასწორულ მდგომარეობამდე.

გაიაზრეთ

- მოცემულია რეაქცია: $H_2(ა) + Cl_2(ა) \rightleftarrows 2HCl(ა) + Q$.
  იმსჯელეთ, დაირღვევა თუ არა სისტემის წონასწორობა ტემპერატურის გაზრდით? წნევის გაზრდით?
- იმსჯელეთ, რა ფაქტორები განაპირობებს ქიმიური წონასწორობის დარღვევას და როგორ.

რა ისწავლეთ

ახალი ტერმინები

- ლე შატელიეს პრინციპი
- წონასწორობის გადახრა

- წონასწორულ სისტემაში ერთ-ერთი მორეაგირე ნივთიერების **კონცენტრაციის გაზრდისას** წონასწორობა გადაიხრება ამ ნივთიერების კონცენტრაციის შემცირების მიმართულებით, ხოლო კონცენტრაციის შემცირებისას – ამ ნივთიერების კონცენტრაციის გაზრდის მიმართულებით;
- **ტემპერატურის გაზრდისას** წონასწორობა გადაიხრება ენდოთერმული რეაქციის მიმართულებით, ხოლო ტემპერატურის შემცირებისას – ეგზოთერმული რეაქციის მიმართულებით;
- **წნევის გაზრდისას** რეაქციის წონასწორობა გადაიხრება წნევის შემცირების, ანუ აირად ნივთიერებათა რაოდენობის შემცირების მიმართულებით, წნევის შემცირებისას – წნევის გაზრდის, ანუ აირად ნივთიერებათა რაოდენობის გაზრდის მიმართულებით;
- **კატალიზატორი** არ იწვევს წონასწორობის დარღვევას. კატალიზატორი აჩქარებს წონასწორული მდგომარეობის დამყარებას.

ქიმიური რეაქციების მართვის პრინციპების გამოყენება – ამიაკის წარმოება

ქიმიური ტექნოლოგიის თვალსაზრისით ამიაკის წარმოება მრეწველობის წამყვან დარგად ითვლება. მსოფლიოში წელიწადში 200 მლნ ტონაზე მეტ ამიაკს აწარმოებენ. მისგან იღებენ აზოტმჟავას, რომელიც გამოიყენება სასუქების, სამკურნალო პრეპარატების, საღებავების, ხელოვნური ბოჭკოების, ასაფეთქებელი ნივთიერებებისა და სხვ. წარმოებაში.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ამიაკის როლი აზოტიანი სასუქების წარმოებაში, რომლის გარეშეც წარმოუდგენელია სოფლის მეურნეობის განვითარება და მოსახლეობის საკვები პროდუქტებით უზრუნველყოფა.

საქართველოში ამ სფეროს სტრატეგიული მნიშვნელობის საწარმოა „რუსთავის აზოტი“ (სურ. 5, 6). იგი დაარსდა ქალაქ რუსთავში 1956 წელს და დღემდე არა მხოლოდ ქვეყნის, არამედ მთელი ამიერკავკასიის მასშტაბით ერთ-ერთი უმსხვილესია. „რუსთავის აზოტი“ სასუქის – ამონიუმის გვარჯილის – ძირითადი მწარმოებელია. ქარხანა ასევე აწარმოებს ამიაკს, ამიაკიან წყალს, აზოტმჟავას, თხევად აზოტს, თხევად ჟანგბადს და სხვ.



სურ. 5. გამაგრილებელი კოშკები. ამიაკის სინთეზის პროცესში, დანადგარების გადახურების ასაცილებლად, მათ გარშემო მუდმივად ცირკულირებს დიდი რაოდენობით წყალი, რომელიც დანადგარებს ზედმეტ სითბოს ართმევს. ცხელი წყალი გამაგრილებელ კოშკებში იგზავნება და წარმოების ციკლში ხელახლა ბრუნდება. წყლის მუდმივი ცირკულაციით ქარხანა ზოგავს მდინარის წყალს და იცავს ბუნებრივ რესურსებს.



სურ. 6. კოშკში ხდება აზოტმჟავას მიღება. რაც უფრო მაღალი და ტექნოლოგიურად გამართულია კოშკი, მით ეფექტურია პროცესი – მცირდება ჰაერის დაბინძურება NO_2-ით და პროდუქტის გამოსავლიანობა იზრდება. აზოტმჟავისა და ამიაკის ურთიერთქმედებით მიიღება ერთ-ერთი მოთხოვნადი სასუქი – ამონიუმის გვარჯილა.

აზოტშემცველი ნაერთების წარმოების პირველი საფეხურია ამიაკის მიღება.

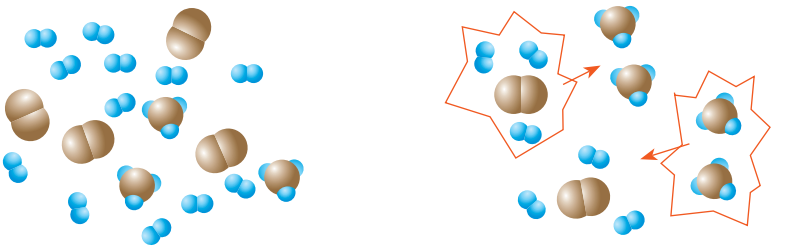
ამიაკის სინთეზი შექცევადი პროცესია და შექცევადი რეაქცია ყოველთვის გამოწვევაა ქიმიური მრეწველობისათვის. იგი არ მიდის ბოლომდე – საწყისი ნივთიერებების სრული გარდაქმნით.

განვიხილოთ აზოტისა და წყალბადისგან ამიაკის სინთეზის პროცესი:

$$N_2(ა) + 3H_2(ა) \rightleftarrows 2NH_3(ა)$$

რეაქცია მიდის წონასწორობის დამყარებამდე. წონასწორულ მდგომარეობაში არ იცვლება ნივთიერებათა წონასწორული კონცენტრაციები (სურ. 7 ა). დროის ერთეულში რამდენი ამიაკის მოლეკულაც წარმოიქმნება აზოტისა და წყალბადისგან, იმავე რაოდენობის ამიაკის მოლეკულა იშლება აზოტად და წყალბადად (სურ. 7 ბ).

აზოტი N_2
წყალბადი H_2
ამიაკი NH_3



სურ. 7. ⓐ ნარევი წონასწორობისას

ⓑ რამდენი NH_3 წარმოიქმნება, იმავე რაოდენობის ამიაკის მოლეკულა იშლება აზოტად და წყალბადად.

წონასწორულ მდგომარეობაში ნარევში ამიაკის გამოსავლიანობა მცირეა. რა პირობები უნდა შევარჩიოთ, რომ გავზარდოთ ამიაკის გამოსავლიანობა?

ამაში დაგვეხმარება ლე შატელიეს მოძრავი წონასწორობის პრინციპი.

1 შევცვალოთ ტემპერატურა

დაგვეხმარება ტემპერატურა მეტი ამიაკის დაგროვებაში?

პირდაპირი რეაქცია ეგზოთერმულია – მიმდინარეობს სითბოს გამოყოფით.

$$N_2(ა) + 3H_2(ა) \rightarrow 2NH_3(ა) + Q$$

შებრუნებული რეაქცია ენდოთერმულია – საჭიროებს ენერგიის შთანთქმას.

$$2NH_3 \rightarrow N_2 + 3H_2 - Q$$

თუ გავზრდით ტემპერატურას, უფრო მეტი ამიაკი იწყებს დაშლას. რეაქცია უფრო ადრე აღწევს წონასწორობას, მაგრამ წონასწორულ ნარევში ამიაკი ნაკლები რაოდენობით აღმოჩნდება.

ტემპერატურის შემცირებით სისტემა იწყებს მოქმედებას ცვლილების საწინააღმდეგოდ (გადაიხრება ეგზოთერმული რეაქციის მხარეს) და იწყება ამიაკის დაგროვება.

ტემპერატურის შემცირებისას წონასწორობა გადაიხრება მარჯვნივ

$$N_2 + 3H_2 \underset{\text{ენდოთერმული}}{\overset{\text{ეგზოთერმული}}{\rightleftarrows}} 2NH_3$$

რადგან ტემპერატურა დაბალია, რეაქციას დიდი დრო სჭირდება წონასწორული მდგომარეობის მისაღწევად. ამიტომ უმჯობესია შევარჩიოთ ოპტიმალური ტემპერატურა.

2 შევცვალოთ წნევა

სარეაქციო ჭურჭელში (რეაქტორში) წნევა იქმნება იმის გამო, რომ აირის მოლეკულები ჭურჭლის კედელს ეჯახება. რაც მეტი მოლეკულა იქნება სარეაქციო არეში, მით მეტი იქნება წნევაც.

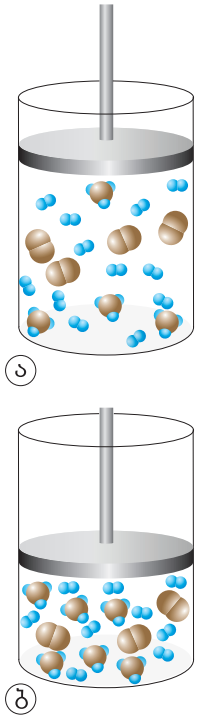
სარეაქციო ჭურჭელში ამიაკის წარმოქმნა მიმდინარეობს მოლეკულათა რიცხვის შემცირებით, ე.ი. წნევის შემცირებითაც; ამიტომ წნევის გაზრდისას წონასწორობა გადაიხრება წნევის შემცირების, ანუ ამიაკის დაგროვების მიმართულებით (სურ. 8). მივიღებთ სასურველ შედეგს – წნევის გაზრდამ გაზარდა ამიაკის გამოსავლიანობა.

წნევის მომატებისას წონასწორობა გადაიხრება მარჯვნივ

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$$

4 მოცულობა 2 მოცულობა

აქაც გასათვალისწინებელია ოპტიმალური წნევის შერჩევა. რეაქტორის კონსტრუქციას უჭირს მაღალი წნევის ქვეშ მუშაობა ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, ამავე დროს, დიდი ენერგია იხარჯება აირების შეკუმშვაზე.



სურ. 8. წნევის გავლენა ამიაკის მიღების შექცევად პროცესზე

3 მოვაცილოთ ამიაკი

წონასწორულ ნარევში აზოტი, წყალბადი და ამიაკი გარკვეული მოცულობითი თანაფარდობითაა აღებული. თუ ნარევს გავაცივებთ, პირველ რიგში, გათხევადდება ამიაკი და თხევად მდგომარეობაში ადვილად სცილდება წყალბადისა და აზოტის აირად ნარევს. შემდეგ რეაქციაში შეუსვლელ აზოტსა და წყალბადს აბრუნებენ რეაქტორში და გრძელდება პროცესი.

4 გამოვიყენოთ კატალიზატორი

ამ რეაქციის კატალიზატორია რკინა. მის აქტივობას ზრდის პრომოტორები – კალიუმისა და ალუმინის ოქსიდები. კატალიზატორი აჩქარებს როგორც პირდაპირ, ისე შებრუნებულ რეაქციას და სწრაფად მყარდება წონასწორობა.

ოპტიმალური პირობები

იმისათვის, რომ ამიაკი მივიღოთ საუკეთესო გამოსავლიანობით, საჭიროა გამოვიყენოთ მაღალი წნევა და ამიაკი გამოვყოთ სარეაქციო ნარევიდან, გამოვიყენოთ ზომიერი ოპტიმალური ტემპერატურა და კატალიზატორი.

რა ისწავლეთ

- წონასწორობის გადახრა, რომელიც დამყარებულია მოძრავი წონასწორობის პრინციპზე, მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ქიმიურ მრეწველობაში. მისი გამოყენებით შესაძლებელია მრავალი სამრეწველო პროცესის სასურველი მიმართულებით წარმართვა.

ქიმიის ისტორიიდან

„ჰაბერ-ბოშის პროცესი“

100 წელზე მეტია ამიაკის სინთეზის მეთოდი შეუცვლელია და მას დღემდე უწოდებენ „ჰაბერ-ბოშის პროცესს“.

ამიაკის სინთეზის ამ მეთოდს სახელი ეწოდა ორი გერმანელი მეცნიერის პატივსაცემად, რომლებმაც XX საუკუნის დასაწყისში რევოლუცია მოახდინეს ქიმიაში.

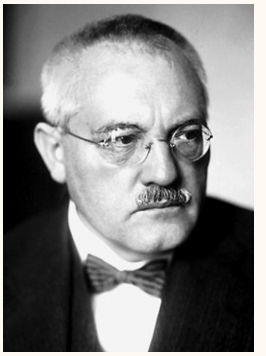
ფრიც ჰაბერმა ლაბორატორიულ პირობებში შეძლო ჰაერიდან აზოტის „დაჭერა“ და მისი წყალბადთან დაკავშირება. მანამდე ეს შეუძლებლად მიიჩნეოდა, რადგან აზოტი ინერტული აირია. კარლ ბოშმა ლაბორატორიული ცდა ინდუსტრიულ მასშტაბებზე გადაიტანა. მან შექმნა ისეთი გამძლე აპარატურა, რომელიც უძლებდა უზარმაზარ წნევასა და ტემპერატურას. 1913 წელს მისი ძალისხმევით გერმანიის ქალაქ ოპაუში გაიხსნა ამიაკის მწარმოებელი პირველი ქარხანა.

მიუხედავად იმისა, რომ ტექნოლოგიები განვითარდა, კომპიუტერული მართვა დაემატა და კატალიზატორები დაიხვეწა, თვითონ პროცესის პრინციპი უცვლელი დარჩა.

დღეს მსოფლიო მოსახლეობის თითქმის ნახევარი იკვებება იმ პროდუქტებით, რომლებიც ამ პროცესით მიღებული სასუქების დახმარებითაა მოყვანილი. სწორედ ამიტომ, ჰაბერ-ბოშის აღმოჩენას ხშირად უწოდებენ „პურს ჰაერიდან“.



ფრიც ჰაბერი (1868-1934) გერმანელი ქიმიკოსი. 1918 წელს მიენიჭა ნობელის პრემია.



კარლ ბოში (1874-1940) გერმანელი ინჟინერ-ქიმიკოსი. 1931 წელს მიენიჭა ნობელის პრემია.

საშინაო აქტივობა

1. რა ფაქტორები გადახრის წონასწორობას რეაქციაში: $N_2(ა) + O_2(ა) \rightleftarrows 2NO(ა) - Q$

ა) რეაგენტების მხარეს

ბ) რეაქციის პროდუქტის მხარეს?

2. $2CO(ა) + O_2(ა) \rightleftarrows 2CO_2(ა) + Q$

მოცემულ რეაქციაში რომელ მხარეს გადაიხრება წონასწორობა (მარჯვნივ თუ მარცხნივ), თუ:

1) დავამატებთ CO_2-ს

2) გავზრდით მოცულობას

3) გავზრდით წნევას

4) მოვაცილებთ CO_2-ს

5) გავზრდით ტემპერატურას?

პასუხი დაასაბუთეთ.

3. წყალბადსა და იოდს შორის ურთიერთქმედების რეაქცია შექცევადია:

$$H_2(ა) + I_2(ა) \rightleftarrows 2HI(ა) - Q$$

გააანალიზეთ:

ა) რომელ მხარეს გადაინაცვლებს წონასწორობა ტემპერატურის გაზრდისას?

ბ) ჩამოთვლილთაგან რომელი ფაქტორი გამოიწვევს HI-ის გამოსავლიანობის გაზრდას: წყალბადის რაოდენობის გაზრდა; იოდის რაოდენობის შემცირება; იოდწყალბადის მოცილება წარმოქმნისთანავე?

დაასაბუთეთ თქვენი მოსაზრება.

გ) რატომ არ მოქმედებს წნევის ცვლილება პროდუქტის რაოდენობაზე? დაასაბუთეთ თქვენი მოსაზრება.

4. $Br_2(ხს) + H_2O(თხ) \rightleftarrows HBr(ხს) + HBrO(ხს)$

მოცემული რეაქციის წონასწორობაზე როგორ გავლენას მოახდენს

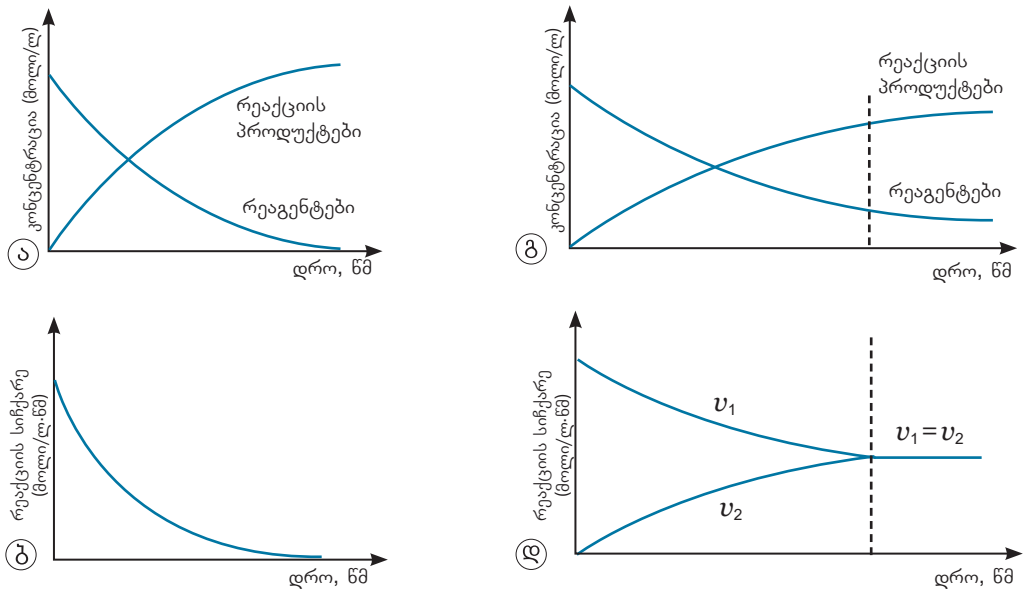
ა) HBr-ის დამატება

ბ) NaOH-ის დამატება?

5. მოიძიეთ ინფორმაცია და მოამზადეთ მოკლე პრეზენტაცია – ა) რა ეკოლოგიურ გამოწვევებთანაა დაკავშირებული ამიაკისა და ამონიუმის გვარჯილის მასშტაბური წარმოება; ბ) როგორ მოქმედებს წარმოებისას გამოყოფილი აირები გარემოზე.

შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები

1. დიაგრამებზე (სურ. 1) ასახულია შეუქცევადი და შექცევადი რეაქციების სიჩქარეებისა და ნივთიერებათა კონცენტრაციის ცვლილება დროში.



სურ. 1

ა) რომელი დიაგრამები ეკუთვნის შექცევად და შეუქცევად რეაქციებს? პასუხი დაასაბუთეთ.

ბ) შეუქცევადი თუ შექცევადი რეაქციების მიმართ გამოიყენებთ გამოთქმას: „რეაქცია დამთავრდა“ ან „წონასწორობა დამყარდა“? პასუხი დაასაბუთეთ.

გ) რა შინაარსის მატარებელია ცნებები – ქიმიური წონასწორობა, წონასწორული კონცენტრაციები?

დ) რატომ უწოდებენ ქიმიურ წონასწორობას დინამიკურს? ახსენით.

2. რომელ რეაქციაში (რეაქციებში) იწვევს წნევის გაზრდა წონასწორობის გადახრას რეაქციის პროდუქტის მხარეს?

ა) $CH_4(ა) \rightleftarrows C(მყ) + 2H_2(ა)$

ბ) $2CH_4(ა) \rightleftarrows C_2H_2(ა) + 3H_2(ა)$

გ) $CO(ა) + 2H_2(ა) \rightleftarrows CH_3OH(ა)$

პასუხი დაასაბუთეთ.

3. რომელ რეაქციებში იწვევს წნევის შემცირება პროდუქტის გამოსავლიანობის გაზრდას და რატომ?

ა) $2H_2O(ა) \rightleftarrows 2H_2(ა) + O_2(ა)$

ბ) $CaCO_3(მყ) \rightleftarrows CaO(მყ) + CO_2(ა)$

გ) $3H_2(ა) + N_2(ა) \rightleftarrows 2NH_3(ა)$

დ) $COCl_2(ა) \rightleftarrows CO(ა) + Cl_2(ა)$

4. რომელი რეაქციის (რეაქციების) წონასწორობაზე არ მოახდენს გავლენას წნევის გაზრდა?

ა) $2NO_2(ა) \rightleftarrows N_2O_4(ა)$

ბ) $H_2(ა) + Cl_2(ა) \rightleftarrows 2HCl(ა)$

გ) $2SO_2(ა) + O_2(ა) \rightleftarrows 2SO_3(ა)$

დ) $CO(ა) + H_2O(ა) \rightleftarrows CO_2(ა) + H_2(ა)$

პასუხი დაასაბუთეთ.

5. რომელი რეაქციის (რეაქციების) წონასწორობა გადაიხრება მარცხნივ ტემპერატურის გაზრდისას და რატომ?

ა) $2CO(ა) + O_2(ა) \rightleftarrows 2CO_2(ა) + Q$

ბ) $4HNO_3(ხს) \rightleftarrows 4NO_2(ა) + 2H_2O(თხ) + O_2(ა) - Q$

გ) $CaCO_3(მყ) \rightleftarrows CaO(მყ) + CO_2(ა) - Q$

6. ახსენით, რომელი ფაქტორები გამოიწვევს წონასწორობის გადახრას მარჯვნივ.

$S(მყ) + H_2(ა) \rightleftarrows H_2S(ა) + Q$

ა) წნევის გაზრდა
ბ) წნევის შემცირება
გ) გოგირდწყალბადის რაოდენობის შემცირება
დ) წყალბადის კონცენტრაციის გაზრდა

7. რკინის შენადნობების მიღებისას მნიშვნელოვანია მაგნიტური რკინაქვიდან (Fe_3O_4) ნახშირბად(II)-ის ოქსიდით (CO) რკინის აღდგენის რეაქცია. მოცემულ რეაქციაში რომელი ფაქტორის გავლენით გადაიხრება წონასწორობა მარჯვნივ?

$Fe_3O_4(მყ) + 4CO(ა) \rightleftarrows 3Fe(მყ) + 4CO_2(ა) + Q$

ა) ტემპერატურის შემცირებით
ბ) ტემპერატურის გაზრდით
გ) წნევის შემცირებით
დ) წნევის გაზრდით
ე) კატალიზატორის შეყვანით

8. $2SO_2(ა) + O_2(ა) \rightleftarrows 2SO_3(ა) + Q$

როგორ უნდა შეიცვალოს წნევა და ტემპერატურა, რომ რეაქციის წონასწორობა გადაიხაროს SO_3-ის წარმოქმნის მიმართულებით?

ა) წნევა გაიზარდოს, ტემპერატურა შემცირდეს
ბ) წნევა გაიზარდოს, ტემპერატურა გაიზარდოს
გ) წნევა შემცირდეს, ტემპერატურა გაიზარდოს
დ) წნევა შემცირდეს, ტემპერატურა შემცირდეს

პასუხი დაასაბუთეთ.

9. ახსენით, როგორ გავლენას მოახდენს მჟავას დამატება მოცემული რეაქციის წონასწორობაზე:

$Cl_2(ხს) + H_2O(თხ) \rightleftarrows HCl(ხს) + HClO(ხს)$

ა) წონასწორობას გადახრის მარჯვნივ
ბ) წონასწორობას გადახრის მარცხნივ
გ) წონასწორობა არ დაირღვევა

10. ახსენით, როგორ გავლენას მოახდენს ტუტის დამატება მოცემული რეაქციის წონასწორობაზე:

$Cl_2(ხს) + H_2O(თხ) \rightleftarrows HCl\ (ხს) + HClO(ხს)$

ა) წონასწორობას გადახრის მარჯვნივ
ბ) წონასწორობას გადახრის მარცხნივ
გ) წონასწორობა არ დაირღვევა

11. რეაქციაში: $2NO(ა) + Cl_2(ა) \rightleftarrows 2NOCl(ა)$ აზოტ(II)-ის ოქსიდისა და ქლორის საწყისი კონცენტრაციები, შესაბამისად, 0,5 მოლი/ლ და 0,2 მოლი/ლ-ის ტოლია. გამოთვალეთ წონასწორობის მუდმივას მნიშვნელობა, თუ წონასწორობის დამყარების მომენტისათვის რეაქციაში შევიდა 20% NO.

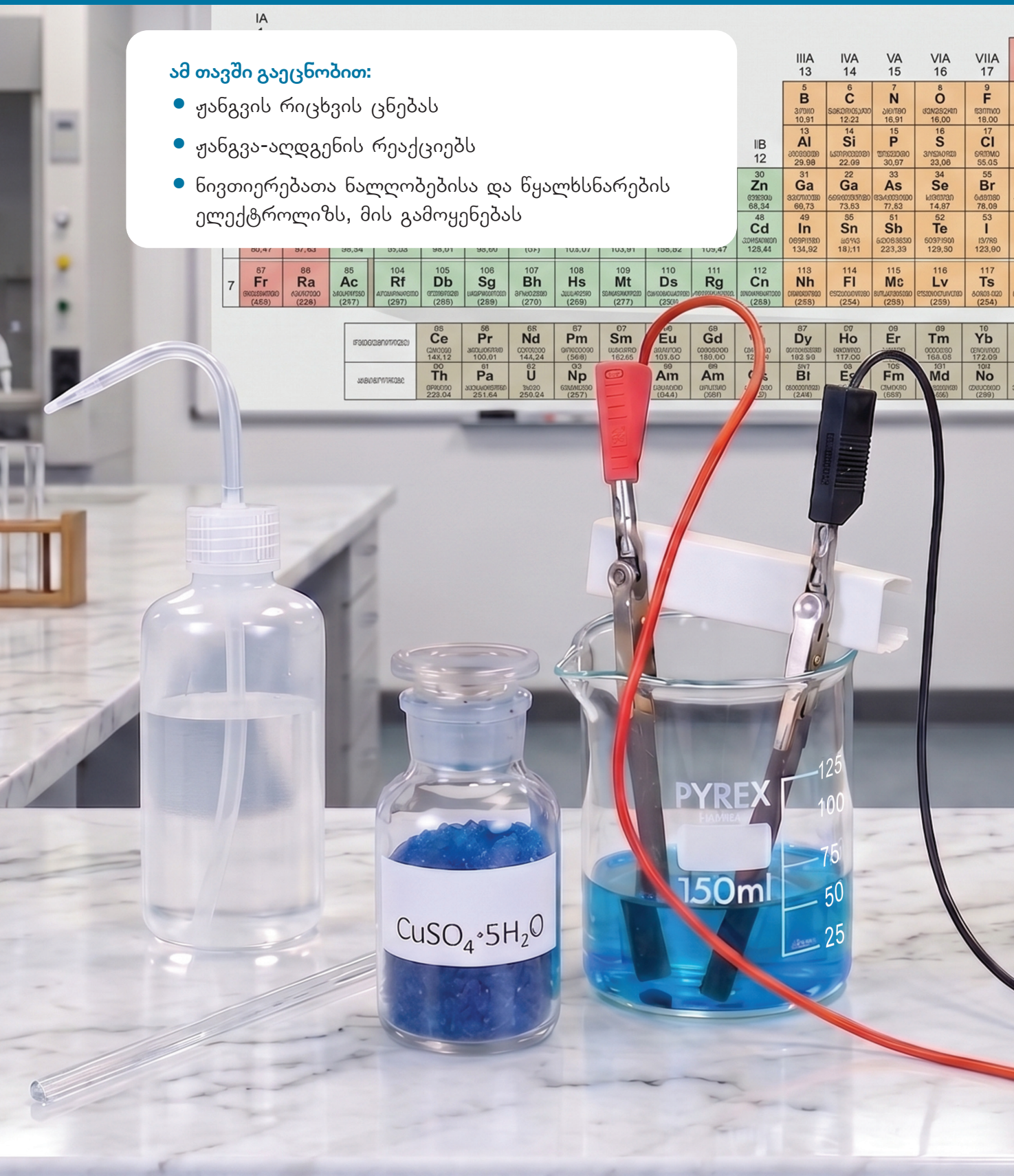
12. $A(ა) + B(ა) \rightleftarrows C(ა) + D(ა)$ რეაქციაში წონასწორობის დამყარების მომენტისათვის A, B, C და D ნივთიერებების წონასწორული კონცენტრაციები, შესაბამისად, იყო 6, 2, 4 და 3 მოლი/ლ. წონასწორულ სისტემაში შეიტანეს 4 მოლი/ლ B ნივთიერება. დაადგინეთ ნივთიერებათა ახალი წონასწორული კონცენტრაციები.

13. ნახშირის ურთიერთქმედება ნახშირბად(IV)-ის ოქსიდთან შექცევადი რეაქციაა:

$C(მყ) + CO_2(ა) \rightleftarrows 2CO(ა) - Q$

რა პირობებშია მხუთავი აირის (CO) წარმოქმნა მინიმალური? პასუხი დაასაბუთეთ.

თავი 3 | ჟანგვა-აღდგენის რეაქციები



ამ თავში გაეცნობით:

- ჟანგვის რიცხვის ცნებას
- ჟანგვა-აღდგენის რეაქციებს
- ნივთიერებათა ნალღობებისა და წყალხსნარების ელექტროლიზს, მის გამოყენებას

3.1. ჟანგვის რიცხვი

რას ისწავლით

- გაეცნობით ჟანგვის რიცხვის არსს;
- შეძლებთ ნაერთში ელემენტის ატომის ჟანგვის რიცხვის დადგენას;
- გააანალიზებთ, რა მსგავსება-განსხვავებაა ჟანგვის რიცხვსა და ვალენტობას შორის.

თქვენთვის ცნობილია ქიმიური ნაერთების ფორმულების შედგენა ვალენტობის მიხედვით, მაგრამ ვალენტობის ცნება არ გამოიყენება იონური ნაერთებისათვის.

გაიხსენეთ

- როგორია იონური ნაერთების ბუნება და ახსენით, რატომ არ გამოიყენება ვალენტობის ცნება იონური ნაერთებისათვის.

ვალენტობის ცნების გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ კოვალენტური ნაერთებისათვის იმ შემთხვევაში, თუ ზუსტად ვიცით ნაერთში ატომთა შორის წარმოქმნილი ქიმიური ბმების რიცხვი. ვალენტობის ნაცვლად, როგორც იონური, ისე კოვალენტური ნაერთებისათვის გამოიყენება საერთო ცნება – **ჟანგვის რიცხვი**, რომლის განსაზღვრა საჭიროებს მხოლოდ ნაერთის ქიმიური ფორმულის ცოდნას და არა ბმების რიცხვის დადგენას.

იონურ ნაერთებში იონთა (კატიონის ან ანიონის) ჟანგვის რიცხვი იონის მუხტის ტოლია. დადებით ჟანგვის რიცხვს ავლენს ატომი, რომელიც გასცემს ელექტრონებს და იგი გაცემული ელექტრონების რიცხვის ტოლია. **უარყოფით ჟანგვის რიცხვს** ავლენს ატომი, რომელიც იერთებს ელექტრონებს და იგი მიერთებული ელექტრონების რიცხვის ტოლია.

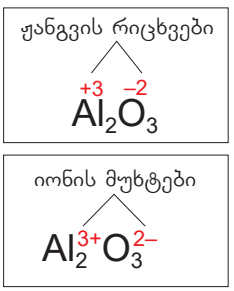
პოლარულ-კოვალენტური ბმის შემცველ ნაერთებში საზიარო ელექტრონული წყვილი გადაწეულია უფრო ელექტროუარყოფითი ელემენტის ატომისაკენ. ამის გამო, ატომი, რომლიდანაც გადაწეულია ელექტრონები, ღებულობს ნაწილობრივ დადებით მუხტს (δ^+); ხოლო ატომი, რომლისკენაც გადაწეულია ელექტრონები – ნაწილობრივ უარყოფით მუხტს (δ^-) (სურ.1 ა). ნაწილობრივი მუხტის მატარებელ ნაწილაკებს ვანიჭებთ პირობითად მთელ დადებით და უარყოფით მუხტს – დადებით და უარყოფით ჟანგვის რიცხვს.

მაგალითად, წყლის მოლეკულაში, მართალია, ბმები პოლარულ-კოვალენტურია, მაგრამ პირობითად დაშვებულია, რომ ნაერთი შედგება იონებისგან (სურ.1 ბ).

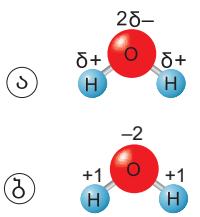
პოლარულ-კოვალენტურ ნაერთებში დადებით ჟანგვის რიცხვს ავლენს ატომი, რომლისგანაც გადაწეულია ელექტრონები, ხოლო **უარყოფით ჟანგვის რიცხვს** – ატომი, რომლისკენაც გადაწეულია ელექტრონები. ჟანგვის რიცხვის რიცხვითი მნიშვნელობა კი ემთხვევა ერთი ატომიდან მეორისაკენ გადაწეული ელექტრონების რაოდენობას.

სწორედ ჟანგვის რიცხვი მოიაზრება ნივთიერებათა სახელწოდებებში: აზოტ(V)-ის ოქსიდი, გოგირდ(VI)-ის ფთორიდი.

► ჟანგვის რიცხვის აღნიშვნისას ჯერ მუხტის ნიშანი იწერება, შემდეგ კი მისი რიცხვითი მნიშვნელობა. ჟანგვის რიცხვი იწერება სიმბოლოს თავზე, ხოლო მუხტის მნიშვნელობა – სიმბოლოს მარჯვნივ:



► ნაწილობრივი მუხტი გამოისახება δ (დელტა) ასოთი.



სურ. 1. წყლის მოლეკულაში წყალბადისა და ჟანგბადის (ა) ნაწილობრივი მუხტი და (ბ) ჟანგვის რიცხვი

ცხრილი 1.
ჟანგვის რიცხვი იონურ ნაერთებში

ნაერთი	ჟანგვის რიცხვი	
Na_2O	+1	–2
CaO	+2	–2
$ZnCl_2$	+2	–1
Ca_3N_2	+2	–3
$AlCl_3$	+3	–1
Al_2S_3	+3	–2

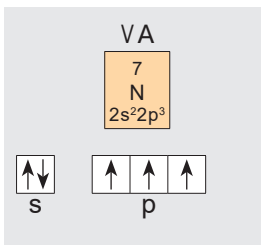
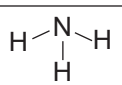
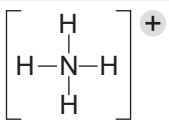
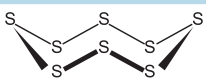
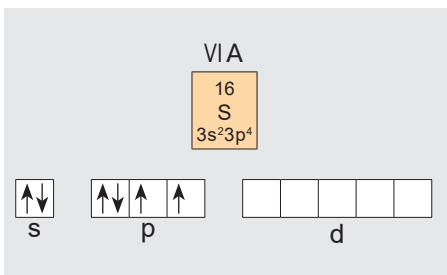
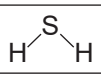
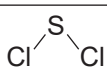
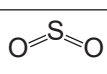
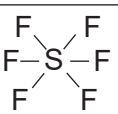
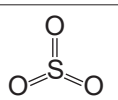
ცხრილი 2.
ჟანგვის რიცხვი პოლარულ-კოვალენტურ ნაერთებში

ნაერთი	ჟანგვის რიცხვი	
HCl	+1	–1
HF	+1	–1
HBr	+1	–1
H_2S	+1	–2
NH_3	–3	+1
CH_4	–4	+1

გაიაზრეთ

- დააკვირდით ცხრილებს (1 და 2) და იმსჯელეთ, რომელი ელემენტი ავლენს დადებით და რომელი უარყოფით ჟანგვის რიცხვს. ახსენით მიზეზი.

ცხრილი 3. აზოტისა და გოგირდის ატომთა ჟანგვის რიცხვისა და ვალენტობის მნიშვნელობები

ქიმიური ფორმულა	სტრუქტურული ფორმულა	ატომის ვალენტობა	ჟანგვის რიცხვი	ელექტრონულ-გრაფიკული ფორმულა
N_2	$N \equiv N$	III	0	
NH_3		III	–3	
NH_4^+		IV	–3	
S_8		II	0	
H_2S		II	–2	
SCl_2		II	+2	
SO_2		IV	+4	
SF_6		VI	+6	
SO_3		VI	+6	

გაიაზრეთ

- გოგირდისა და აზოტის ატომთა ელექტრონულ-გრაფიკული ფორმულების დახმარებით (ცხრ. 3) ახსენით მათ ნაერთებში ჟანგვის რიცხვისა და ვალენტობის მიღებული რიცხვითი მნიშვნელობები. გაიაზრეთ, ზოგ შემთხვევაში რატომ არ ემთხვევა ერთმანეთს ჟანგვის რიცხვისა და ვალენტობის მნიშვნელობები.

მეტალები ყველა ნაერთში ავლენს მხოლოდ დადებით ჟანგვის რიცხვს. არამეტალებმა კი, გარდა ფთორისა, რომლის ჟანგვის რიცხვი ყოველთვის –1-ია, შეიძლება გამოავლინოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი ჟანგვის რიცხვი. ეს დამოკიდებულია იმაზე, თუ რომელი ელემენტების ატომები წარმოქმნის ბმას, როგორია მათი ელექტროუარყოფითობები (ცხრ. 4).

ცხრილი 4. ზოგიერთი ელემენტის ატომთა ჟანგვის რიცხვები

ნივთიერება	**მაგალითები**
1. მარტივ ნივთიერებებში	
ატომებსა და მარტივ ნივთიერებებში ელემენტების ჟანგვის რიცხვი ყოველთვის **0**-ის ტოლია.	$\overset{0}{H_2}$, $\overset{0}{O_2}$, $\overset{0}{N_2}$, $\overset{0}{F_2}$, $\overset{0}{Cl_2}$, $\overset{0}{Fe}$, $\overset{0}{Ca}$.
2. რთულ ნივთიერებებში	
• თუ ნაერთში შემავალ ატომთა ელექტროუარყოფითობების მნიშვნელობები ერთნაირია, თითოეული ელემენტის ატომის ჟანგვის რიცხვი **0**-ის ტოლია;	$\overset{0}{C}\overset{0}{S_2}$, $\overset{0}{P}\overset{0}{H_3}$ ელექტროუარყოფითობა: P 2,1; H 2,1; C 2,5; S 2,5
• წყალბადის ჟანგვის რიცხვი არამეტალებთან ნაერთებში **+1**-ია, ხოლო მეტალთა ჰიდრიდებში წყალბადის ჟანგვის რიცხვი **–1**-ის ტოლია;	$\overset{+1}{H}\overset{-1}{Cl}$ $\overset{+1}{K}\overset{-1}{H}$, $\overset{+2}{Ca}\overset{-1}{H_2}$
• ჟანგბადის ჟანგვის რიცხვი **–2**-ის ტოლია. გამონაკლისია პეროქსიდები, ფთორთან ნაერთები;	$\overset{-2}{H_2}\overset{-2}{O}$, $\overset{+2}{Ca}\overset{-2}{O}$, $\overset{+4}{C}\overset{-2}{O_2}$ $\overset{+1}{H_2}\overset{-1}{O_2}$, $\overset{+2}{O}\overset{-1}{F_2}$
• ფთორის ჟანგვის რიცხვი ყოველთვის **–1**-ის ტოლია;	$\overset{-1}{F}$
• მეტალთა ჟანგვის რიცხვი ყოველთვის დადებითია და ემთხვევა იონის მუხტს. შეიძლება იყოს მუდმივი და ცვლადი;	მუდმივი: $\overset{+1}{Na}$, $\overset{+1}{K}$, $\overset{+2}{Ca}$, $\overset{+2}{Mg}$, $\overset{+2}{Zn}$, $\overset{+3}{Al}$ ცვლადი: $\overset{+2}{Fe}$, $\overset{+3}{Fe}$ $\quad$ $\overset{+1}{Cu}$, $\overset{+2}{Cu}$
• არამეტალების ჟანგვის რიცხვი შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი. რიცხვითი მნიშვნელობა უპირატესად ემთხვევა ვალენტობას.	$\overset{+4}{C}$, $\overset{+2}{C}$, $\overset{-4}{C}$ $\overset{+5}{N}$, $\overset{+4}{N}$, $\overset{+3}{N}$, $\overset{+2}{N}$, $\overset{+1}{N}$, $\overset{-3}{N}$ $\overset{+6}{S}$, $\overset{+4}{S}$, $\overset{-2}{S}$
3. ნაერთში ელემენტთა ატომის ჟანგვის რიცხვების ალგებრული ჯამი ყოველთვის **0**-ის ტოლია.	$\overset{+1}{H_2}\overset{+6}{S}\overset{-2}{O_4}$ $(+1)\cdot 2 + (+6)\cdot 1 + (-2)\cdot 4 = +8 - 8 = 0$

ნაერთში ერთ-ერთი ელემენტის ატომის ჟანგვის რიცხვის დადგენა შეიძლება, თუ ცნობილია დანარჩენი ელემენტების ჟანგვის რიცხვები.

ამისათვის ვიყენებთ შემდეგ წესს:

> ნაერთში შემავალი ყველა ელემენტის ატომთა ჟანგვის რიცხვების ალგებრული ჯამი 0-ის ტოლია, ხოლო რთულ იონში – იონის მუხტის ტოლი.

მაგალითი – **ჟანგვის რიცხვის განსაზღვრა**

გამოვთვალოთ მანგანუმის ჟანგვის რიცხვი კალიუმის პერმანგანატში:

$$\overset{+1}{K}\overset{x}{Mn}\overset{-2}{O_4}$$

$$+1 + x + 4\cdot(-2) = 0$$
$$x = +7$$

დავადგინოთ აზოტის ჟანგვის რიცხვი ამონიუმის იონში:

$$\overset{x}{N}\overset{+1}{H_4}^{+}$$

$$x + 4 = +1$$
$$x = -3$$

რა ისწავლეთ

- ვალენტობა და ჟანგვის რიცხვი სხვადასხვა ცნებაა. ელემენტის ატომის ჟანგვის რიცხვის განსაზღვრისათვის საკმარისია ნაერთის ქიმიური ფორმულის ცოდნა, მაშინ, როდესაც ვალენტობის დასადგენად აუცილებელია ქიმიური ბმების ხასიათისა და რიცხვის განსაზღვრა;
- ჟანგვის რიცხვი ნაერთებში განისაზღვრება ერთი ატომიდან მეორე ატომისკენ მთლიანად (იონური ბმის შემთხვევაში) ან ნაწილობრივ (პოლარულ-კოვალენტური ბმის შემთხვევაში) გადაწეული ელექტრონების რიცხვით.

ახალი ტერმინი

- ჟანგვის რიცხვი

საშინაო აქტივობა

1. ახსენით, რამ განაპირობა ჟანგვის რიცხვის ცნების შემოტანა ქიმიაში.

2. რატომ ავლენს არამეტალთა ატომების უმეტესობა მუდმივ უარყოფით ჟანგვის რიცხვს და ცვლად დადებით ჟანგვის რიცხვს? გამოთქვით თქვენი ვარაუდი.

3. განსაზღვრეთ ელემენტების ჟანგვის რიცხვი ნაერთებში:
F_2, HF, Br_2, $ZnBr_2$, Fe_2O_3, $FeCl_3$, NaH, CaH_2, FeS_2.

4. განსაზღვრეთ ნახშირბადის ვალენტობა და ჟანგვის რიცხვი შემდეგ ნაერთებში:
CCl_4, CH_4, CO, CO_2, CS_2, C_2H_6.

5. ნაწილაკთა რომელ წყვილშია აზოტის ჟანგვის რიცხვი ერთნაირი?

ა) NH_3 და N_2H_4 გ) NH_3 და $[NH_4]^+$

ბ) NH_3 და HNO_2 დ) $[NH_4]^+$ და HNO_3

6. გამოთვალეთ ელემენტთა ჟანგვის რიცხვი შემდეგ იონებში: Mn^{2+}, MnO_4^-, MnO_4^{2-}, $Cr_2O_7^{2-}$, AlO_2^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, NO_2^-.

3.2. ჟანგვა-აღდგენის რეაქციების ზოგადი დახასიათება

რას ისწავლით

- გაეცნობით, რას წარმოადგენს ჟანგვა-აღდგენის პროცესი ელექტრონული თეორიის თვალსაზრისით;
- დაადგენთ ჟანგვა-აღდგენის რეაქციაში მჟანგავსა და აღმდგენს;
- გააცნობიერებთ ჟანგვა-აღდგენის რეაქციების როლს ბუნებასა და ადამიანის ცხოვრებაში.

გაიხსენეთ

- დააკვირდით სურათებს (1; 2). რა აქვს საერთო და განმასხვავებელი რკინის წვასა და ჟანგვას?



სურ. 1. რკინის ჟანგვა ჰაერზე



სურ. 2. რკინის წვა ჟანგბადში

ქიმიის შესწავლის დაწყებიდანვე თქვენ გააცნობიერეთ, რომ მრავალი მარტივი და რთული ნივთიერება იწვის ჰაერსა და ჟანგბადში ოქსიდების წარმოქმნით.

ისტორიულად სიტყვა „ჟანგვა“ გულისხმობდა ჟანგბადის მიერთებას, ხოლო „აღდგენა“ – ჟანგბადის ჩამოცილებას.

მაგალითად:

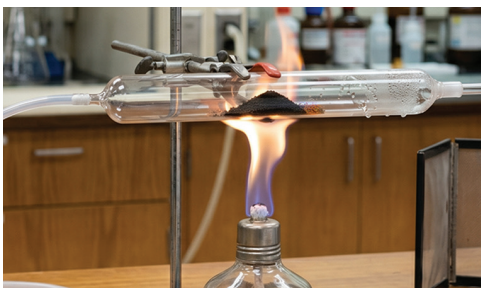
ა) $2Cu + O_2 \rightarrow 2CuO$ მეტალი დაიჟანგა

ბ) $CuO + H_2 \rightarrow Cu + H_2O$ მეტალი აღდგა

ჟანგვა-აღდგენის რეაქციები



სურ. 3. სპილენძ(II)-ის ოქსიდის წარმოქმნა სპილენძის ფირფიტაზე



სურ. 4. სპილენძის წარმოქმნა სპილენძ(II)-ის ოქსიდისაგან

XX საუკუნის დასაწყისში, ატომის აღნაგობის ელექტრონული თეორიის ჩამოყალიბების შემდეგ, შეიცვალა წარმოდგენა ჟანგვისა და აღდგენის პროცესებზე.

ა) $2\overset{0}{Cu} + \overset{0}{O_2} \rightarrow 2\overset{+2\ -2}{CuO}$

ბ) $\overset{+2\ -2}{CuO} + \overset{0}{H_2} \rightarrow \overset{0}{Cu} + \overset{+1\ -2}{H_2O}$

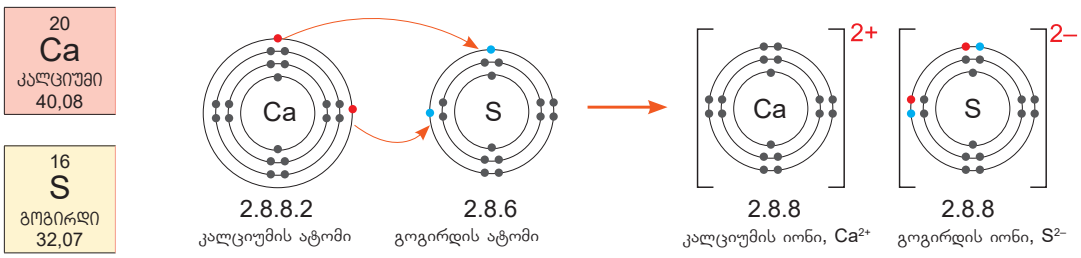
ელემენტის ატომებმა ჟანგვის რიცხვი შეიცვალა: (ა)-ში სპილენძის ჟანგვის რიცხვი გაიზარდა; (ბ)-ში – შემცირდა.

განვიხილოთ, ელექტრონული თვალსაზრისით, რა ცვლილებები ხდება ჟანგბადის მონაწილეობის გარეშე მიმდინარე რეაქციაში:

$$\overset{0}{Ca} + \overset{0}{S} \rightarrow \overset{+2\ -2}{CaS}$$

კალციუმისა და გოგირდის ატომებმა ჟანგვის რიცხვი შეიცვალა. კალციუმის ატომის ჟანგვის რიცხვი გაიზარდა, გოგირდის ატომის – შემცირდა.

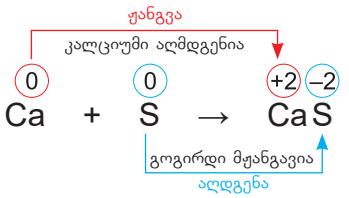
კალციუმის ატომმა გასცა ორი ელექტრონი და გარდაიქმნა Ca^{2+} იონად, გოგირდის ატომმა კი შეიძინა ორი ელექტრონი და გარდაიქმნა S^{2-} იონად. ე. ი. ელექტრონები კალციუმის ატომიდან გადავიდა გოგირდის ატომზე:



იგივე პროცესი გამოვსახოთ ელექტრონული კონფიგურაციების დახმარებით:

$\overset{0}{Ca}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$	$-2\bar{e} \rightarrow$	$\overset{+2}{Ca}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$	დაიჟანგა
$\overset{0}{S}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$	$+2\bar{e} \rightarrow$	$\overset{-2}{S}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$	აღდგა

ელექტრონების გაცემის პროცესს ჟანგვა ეწოდება, ელექტრონების მიერთების პროცესს კი – აღდგენა.

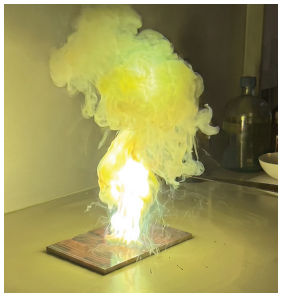


განხილულ რეაქციაში კალციუმი დაიჟანგა, გოგირდი – აღდგა. გოგირდმა დაჟანგა კალციუმი და მჟანგავის როლში გამოვიდა, კალციუმმა კი აღადგინა გოგირდი და აღმდგენის როლი შეასრულა. ჟანგვისა და აღდგენის პროცესების ელექტრონული სქემებია:

$\overset{0}{Ca} - 2\bar{e} \rightarrow \overset{+2}{Ca}$	დაიჟანგა, აღმდგენი
$\overset{0}{S} + 2\bar{e} \rightarrow \overset{-2}{S}$	აღდგა, მჟანგავი

ელემენტი, რომელიც გასცემს ელექტრონებს, იჟანგება და აღმდგენს წარმოადგენს.

ელემენტი, რომელიც იერთებს ელექტრონებს, აღდგება და მჟანგავს წარმოადგენს.



სურ. 5. გოგირდის აღდგენა რკინით



სურ. 6. გოგირდის წვა ჟანგბადის არეში

მეტალის ატომები ყოველთვის აღმდგენებია, არამეტალები კი (ფთორის გარდა, რომელიც ყოველთვის მჟანგავია) შეიძლება იყოს როგორც მჟანგავი, ისე აღმდგენი (სურ. 5; 6).

მაგალითად:

$\overset{0}{Fe} + \overset{0}{S} \rightarrow \overset{+2}{Fe}\overset{-2}{S}$ $\quad \overset{0}{S} + 2\bar{e} \rightarrow \overset{-2}{S}$ | გოგირდი აღდგა, ე.ი. მჟანგავია. (1)

$\overset{0}{S} + \overset{0}{O_2} \rightarrow \overset{+4}{S}\overset{-2}{O_2}$ $\quad \overset{0}{S} - 4\bar{e} \rightarrow \overset{+4}{S}$ | გოგირდი დაიჟანგა, ე.ი. აღმდგენია. (2)

როგორც ვხედავთ, (1) რეაქციაში გოგირდი მჟანგავია,
(2) რეაქციაში – აღმდგენი.

ყველაზე ძლიერი მჟანგავია ფთორი, ყველაზე ძლიერი აღმდგენი – ცეზიუმი და ფრანციუმი (რადიოაქტიურია).

? გაიაზრეთ

ახსენით, რატომ არის ყველაზე ძლიერი მჟანგავი ფთორი და ყველაზე ძლიერი აღმდგენი – ცეზიუმი.

რთული ნივთიერებების ჟანგვა-აღდგენითი თვისებები დამოკიდებულია მის შედგენილობაში შემავალ იმ ელემენტის ჟანგვის რიცხვის მნიშვნელობაზე, რომელიც იცვლება რეაქციის დროს.

მაგალითად:

$\overset{+5}{H}\overset{+5}{N}O_3$ – აზოტმჟავაში აზოტს აქვს უმაღლესი ჟანგვის რიცხვი (+5), რომლის გაზრდა ელექტრონების გაცემით შეუძლებელია. ამიტომ აზოტმჟავა შეიძლება იყოს მხოლოდ მჟანგავი.

$\overset{-3}{N}H_3$ – ამიაკში აზოტს აქვს უმცირესი ჟანგვის რიცხვი (–3). მას ელექტრონების მიერთება აღარ შეუძლია. ამიტომ ამიაკი შეიძლება იყოს მხოლოდ აღმდგენი.

აზოტოვანმჟავას მარილებში ($K\overset{+3}{N}O_2$) აზოტს აქვს შუალედური ჟანგვის რიცხვი (+3), ე.ი. ელექტრონების გაცემაც შეუძლია და მიერთებაც, ამიტომ ავლენს როგორც მჟანგავ, ისე აღმდგენ ბუნებას.

ჟანგვა-აღდგენის რეაქციები ემორჩილება მასისა და ენერგიის მუდმივობის კანონს. ელექტრონები ქიმიურ რეაქციებში არც წარმოიქმნება და არც ქრება. მათ შეუძლიათ მხოლოდ ერთი ატომიდან მეორეზე გადასვლა. ამიტომ ჟანგვა და აღდგენა ერთდროულად მიმდინარე პროცესებია.

ბუნებაში მუდმივად მიმდინარეობს ჟანგვა-აღდგენის პროცესები – ფოტოსინთეზი, სუნთქვა, ლპობა, საკვების ათვისება ორგანიზმის მიერ, მეტალების კოროზია და სხვ. ასევე, ჟანგვა-აღდგენით მიმდინარეობს სამრეწველო პროცესების უმეტესობა, როგორებიცაა: მეტალურგიული წარმოება, გოგირდმჟავას, აზოტმჟავას, ამიაკის წარმოება და სხვ.

რა ისწავლეთ

- რეაქციებს, რომლებიც მიმდინარეობს მორეაგირე ნივთიერებებში შემავალი ელემენტების ჟანგვის რიცხვების ცვლილებით, ჟანგვა-აღდგენის რეაქციები ეწოდება;
- ელექტრონების გაცემის პროცესს **ჟანგვა** ეწოდება, ელექტრონების მიერთების პროცესს – **აღდგენა**. ჟანგვისას ელემენტის ატომის ჟანგვის რიცხვი იზრდება, აღდგენისას კი – მცირდება;
- ელემენტი, რომელიც იჟანგება – აღმდგენია, რომელიც აღდგება – მჟანგავია;
- ჟანგვა და აღდგენა ერთდროულად მიმდინარე პროცესებია.
- ელემენტი, რომელიც ავლენს მაქსიმალურ ჟანგვის რიცხვს რეაქციებში, არის მხოლოდ მჟანგავი; ხოლო თუ ავლენს მინიმალურ ჟანგვის რიცხვს – მხოლოდ აღმდგენი.

ახალი ტერმინები

- ჟანგვა-აღდგენა
- აღმდგენი
- მჟანგავი

საშინაო აქტივობა

1. მოიძიეთ ინფორმაცია ჟანგვისა და აღდგენის პროცესებზე თავდაპირველი წარმოდგენების შესახებ და ახსენით, რა ცვლილებები განიცადა ამ წარმოდგენებმა ატომის აღნაგობის ელექტრონული თეორიის დამკვიდრების შემდეგ.

2. გაიხსენეთ შეერთებისა და დაშლის რეაქციების რამდენიმე მაგალითი და გააანალიზეთ, რომელი მათგანია ჟანგვა-აღდგენის რეაქცია?

3. როგორ იცვლება ელემენტთა მჟანგავი და აღმდგენი უნარი ქიმიური ელემენტების პერიოდულობის ცხრილის პერიოდებსა და ჯგუფებში?

4. დაასაბუთეთ, შეიძლება თუ არა რომელიმე რეაქციაში მჟანგავის როლში გამოვიდეს:
ა) ფთორის ატომი
ბ) ფთორის იონი
გ) რკინის ატომი
დ) რკინის იონი Fe^{3+}

5. დაასაბუთეთ, შეიძლება თუ არა რომელიმე რეაქციაში აღმდგენის როლში გამოვიდეს:
ა) სპილენძის ატომი
ბ) სპილენძის იონი Cu^{2+}
გ) ქლორის ატომი
დ) ქლორის იონი Cl^-

6. ჩამოთვლილი ნივთიერებებიდან – $KMnO_4$, H_2O_2, HCl, NO, HNO_3, F_2, H_2S, O_2, SO_2, $FeSO_4$, Na_2SO_3 – რომელია:
ა) მხოლოდ მჟანგავი
ბ) მხოლოდ აღმდგენი
გ) მჟანგავიც და აღმდგენიც
პასუხი დაასაბუთეთ.

7. როგორ იცვლება გოგირდის აღმდგენი უნარი რიგში – H_2S, S, SO_2, SO_3. მათ შორის რომელია ყველაზე ძლიერი მჟანგავი? ყველაზე ძლიერი აღმდგენი? დაასაბუთეთ თქვენი მოსაზრება.

8. გააანალიზეთ ყოველდღიურ ცხოვრებასა და ბუნებაში მიმდინარე ჟანგვა-აღდგენის პროცესები და გამოთქვით მოსაზრება მათ დადებით თუ უარყოფით შედეგებზე.

3.3. ჟანგვა-აღდგენის რეაქციების ტოლობების შედგენა

რას ისწავლით

- გაეცნობით ჟანგვა-აღდგენის რეაქციების ტოლობების შედგენის პრინციპს;
- შეძლებთ ჟანგვა-აღდგენის რეაქციების ტოლობების გათანაბრებას ელექტრონული ბალანსის მეთოდით.

ჟანგვა-აღდგენის რეაქციების ტოლობების შედგენა ხდება ელექტრონული ბალანსის მეთოდით, რომლის ძირითადი არსი მდგომარეობს შემდეგში:

აღმდგენის მიერ გაცემული ელექტრონების რიცხვი ტოლი უნდა იყოს მჟანგავის მიერ მიერთებული ელექტრონების რიცხვისა.

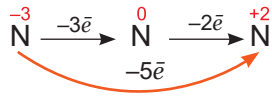
მეთოდი მოიცავს შემდეგ საფეხურებს:

I	რეაქციის სქემის შედგენა	$NH_3 + O_2 \rightarrow N_2 + H_2O$	
II	განსაზღვრა, თუ რომელი ელემენტის ატომები იცვლის ჟანგვის რიცხვს:	$\overset{-3}{N}H_3 + \overset{0}{O}_2 \rightarrow \overset{0}{N}_2 + H_2\overset{-2}{O}$	
III	ჟანგვისა და აღდგენის პროცესების ელექტრონული სქემების შედგენა:	$\overset{-3}{2N} - 6\bar{e} \rightarrow \overset{0}{N_2}$ | დაიჟანგა, აღმდგენი $\overset{0}{O_2} + 4\bar{e} \rightarrow \overset{-2}{2O}$ | აღდგა, მჟანგავი	
IV	კოეფიციენტების შერჩევა ისე, რომ აღმდგენის მიერ გაცემული ელექტრონების რიცხვი ტოლი იყოს მჟანგავის მიერ მიერთებული ელექტრონების რიცხვისა:	$\overset{-3}{2N} - 6\bar{e} \rightarrow \overset{0}{N_2}$ | 12 | 2 $\overset{0}{O_2} + 4\bar{e} \rightarrow \overset{-2}{2O}$ | 3 $\overset{-3}{4N} - 12\bar{e} + 3O_2 + 12\bar{e} \rightarrow 2N_2 + \overset{-2}{6O}$ $\overset{-3}{4N} + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + \overset{-2}{6O}$	გაცემული და შეძენილი ელექტრონების რიცხვის საერთო უმცირესი ჯერადია 12. 12-ის გაყოფით გაცემულ და შეძენილ ელექტრონების რიცხვზე ვღებულობთ კოეფიციენტებს.
V	მიღებული კოეფიციენტების გადატანა რეაქციის სქემაში:	$4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O$	ელექტრონული ბალანსის კოეფიციენტები რეაქციაში ძირითადად ეწერება რეაგენტებს (თუმცა ამ წესს უამრავი გამონაკლისი აქვს).

მაგალითი – ჟანგვა-აღდგენის რეაქციების ტოლობის შედგენა

1. $\overset{-3}{N}H_3 + \overset{0}{O}_2 \rightarrow \overset{+2}{N}\overset{-2}{O} + H_2\overset{-2}{O}$

$\overset{-3}{N} - 5\bar{e} \rightarrow \overset{+2}{N}$	4	დაიჟანგა, აღმდგენი
$\overset{0}{O}_2 + 4\bar{e} \rightarrow 2\overset{-2}{O}$	5	აღდგა, მჟანგავი



$4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O$

2. $\overset{0}{Cu} + H\overset{+5}{N}O_3 \rightarrow \overset{+2}{Cu}(\overset{+5}{N}O_3)_2 + \overset{+2}{N}O + H_2O$

$\overset{0}{Cu} - 2\bar{e} \rightarrow \overset{+2}{Cu}$	3	დაიჟანგა, აღმდგენი
$\overset{+5}{N} + 3\bar{e} \rightarrow \overset{+2}{N}$	2	აღდგა, მჟანგავი

$3Cu + 8HNO_3 \rightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$

ამ რეაქციაში აზოტმჟავას მხოლოდ ნაწილი იხარჯება ჟანგვით პროცესზე, დარჩენილი ნაწილი ასრულებს მჟავა არის როლს – მჟავას ანიონი იკავშირებს რეაქციის დროს წარმოქმნილ კატიონებს.

ექსპერიმენტი





ექსპერიმენტის მიზანი:

დაკვირვება ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებზე

რეაქტივები:

შაბიამნის ხსნარი ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$);
რკინის ლურსმანი;
ვერცხლის ნიტრატის ხსნარი ($AgNO_3$);
თუთიის გრანულები;
სპილენძის ფირფიტა;
ამონიუმის დიქრომატის ფხვნილი – $(NH_4)_2Cr_2O_7$

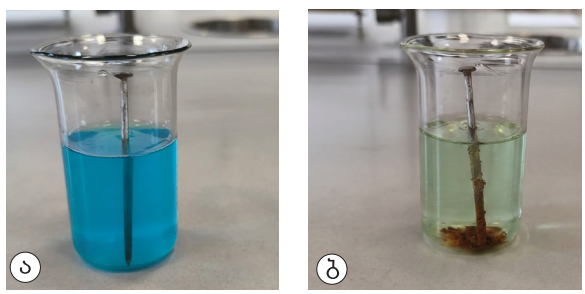
ხელსაწყოები:

ქიმიური ჭიქა 3 ცალი;
ფაიფურის ჯამი;
ასანთი

ცდა 1

აიღეთ ქიმიური ჭიქა და ჩაასხით შაბიამნის ხსნარი. მოათავსეთ მასში რკინის ლურსმანი (სურ 1 ა).

გარკვეული დროის შემდეგ ფერს შეიცვლის როგორც ხსნარი, ასევე ლურსმანი (სურ 1 ბ).

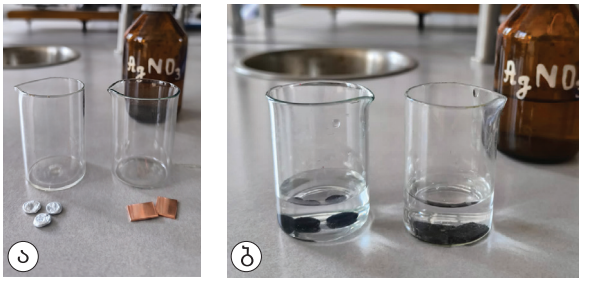


სურ. 1. რკინის რეაქცია შაბიამნის ხსნართან

ცდა 2

აიღეთ ორი ქიმიური ჭიქა. ერთში მოათავსეთ თუთიის გრანულები, მეორეში – სპილენძის ფირფიტა. ორივეს დაამატეთ ვერცხლის ნიტრატის ხსნარი (სურ. 2 ა).

რამდენიმე წუთში თუთიაც და სპილენძიც დაიფარება ვერცხლის შავი ფერის ნაფიფქით (სურ. 2 ბ).

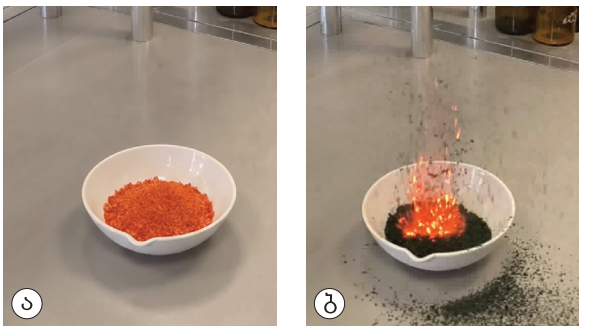


სურ. 2. თუთიისა და სპილენძის ურთიერთქმედება ვერცხლის ნიტრატის ხსნართან

ცდა 3

ამონიუმის დიქრომატის ფხვნილი მოათავსეთ ფაიფურის ჯამში (სურ. 3 ა). მიეცით კონუსის ფორმა და კონუსის წვეროსთან მიიტანეთ ანთებული ასანთი.

წარიმართება ვულკანური ამოფრქვევის მსგავსი პროცესი (სურ. 3 ბ). ფერის ცვლილებას და მოცულობის ზრდას იწვევს რეაქციის შედეგად წარმოქმნილი ქრომ(III)-ის ოქსიდი, აზოტი და წყლის ორთქლი.



სურ. 3. ამონიუმის დიქრომატის დაშლის რეაქცია

ექსპერიმენტის ანალიზი:

1. დაწერეთ შესაბამის რეაქციათა ტოლობები
2. ელექტრონული ბალანსის მეთოდით შეარჩიეთ კოეფიციენტები
3. დაადგინეთ მჟანგავი და აღმდგენი

ახალი ტერმინი

- ელექტრონული ბალანსის მეთოდი

რა ისწავლეთ

- ელექტრონული ბალანსის შედგენისას აღმდგენის მიერ გაცემული ელექტრონების რიცხვი ტოლი უნდა იყოს მჟანგავის მიერ მიერთებული ელექტრონების რიცხვისა.

ქიმიის ისტორიიდან

ასანთის ისტორიის შესახებ

ყოფა-ცხოვრებაში ყოველდღიურად ვიყენებთ ასანთს. ყოველთვის, როცა ასანთს ვანთებთ, ჩვენ ვახორციელებთ ჟანგვა-აღდგენით რეაქციას.

ასანთის თავი შეიცავს ბერთოლეს მარილს გოგირდთან ერთად, ხოლო ასანთის ყუთის გვერდების ზედაპირი – წითელ ფოსფორს. ბერთოლეს მარილთან სუსტი ხახუნითაც კი ფოსფორი ფეთქებით ინთება მნათი ალის წარმოქმნით.

$$6P + 5KClO_3 \rightarrow 5KCl + 3P_2O_5$$

კაცობრიობის ისტორიაში ადამიანის ერთერთ დიდ მიღწევად ითვლება ცეცხლის მოპოვება. უძველეს დროში ადამიანები ორი ქვის ერთმანეთზე დარტყმით ან ორი მშრალი ხის ნაჭრის ერთმანეთზე ხახუნით აჩენდნენ ნაპერწკლებს და უკიდებდნენ ცეცხლს ხმელ ფოთლებსა და ფიჩხს. მაგრამ ცეცხლის მოპოვების ეს გზები იყო მძიმე და შრომატევადი. ამიტომ ადამიანები საუკუნეების განმავლობაში ცდილობდნენ მოეძებნათ უფრო მარტივი და ხელმისაწვდომი საშუალებები, რათა ცეცხლი მიეღოთ ყოველთვის იმ დროს, როცა დასჭირდებოდათ.

ასანთის ისტორია დაიწყო ალქიმიკოს ჰენინგ ბრანდის მიერ ფოსფორის აღმოჩენიდან, 1669 წელს (სურ. 4). მან შემთხვევით მიიღო საოცარი ნივთიერება, რომელიც გათბობის გარეშე სიბნელეში ანათებდა. ამ ნივთიერებას უწოდეს ფოსფორი (ბერძ. „სინათლის მატარებელი“). მალე დაადგინეს, რომ იგი ადვილად აალებადია.



სურ. 4. ალქიმიკოსმა ბრანდმა ფილოსოფიური ქვის ძიებაში აღმოაჩინა ფოსფორი. XVIII საუკუნის ნახატი.

1680 წელს ირლანდიელმა ქიმიკოსმა რობერტ ბოილმა ფოსფორით დაფარა ქაღალდის ზედაპირი და გაჰკრა ხის ღერო, რომლის თავი შეიცავდა გოგირდს. გაჩნდა ცეცხლი. მაგრამ ბოილმა არ მიაქცია არავითარი ყურადღება ამ ფაქტს, რის გამოც ასანთის შექმნამ საუკუნეზე მეტი დროით დაიგვიანა.

ბოილიდან უხიფათო ასანთის შექმნამდე კი გრძელდებოდა ახალი გზების ძიება. ზოგიერთი მათგანი წარმატებული იყო (მაგალითად, წითელი ფოსფორის აღმოჩენა, რომელმაც შეცვალა ასანთის მისაღებად გამოყენებული, ძლიერ ტოქსიკური და ადვილად აალებადი თეთრი ფოსფორი); ზოგი კი – წარუმატებელი (ხანძრები, ადამიანების მოწამვლა...). ძიების ისტორია დამთავრდა 1845 წელს, როცა შვედმა ძმებმა იოჰან და კარლ ლუნდსტერებმა დააარსეს კომპანია, რომელმაც დაიწყო მასობრივი მოხმარებისთვის უხიფათო ასანთის წარმოება (სურ. 5).



სურ. 5. XIX საუკუნის შვედური ასანთი

საშინაო აქტივობა

1. დაწერეთ გოგირდ(IV)-ის ოქსიდის მონაწილეობით მიმდინარე რეაქციათა ტოლობები, რომლებშიც გოგირდის ჟანგვის რიცხვი:
ა) არ იცვლება
ბ) იზრდება
გ) მცირდება

2. შეურჩიეთ კოეფიციენტები ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებს:
ა) $H_2S + SO_2 \rightarrow S + H_2O$
ბ) $SO_2 + O_2 \rightarrow SO_3$
გ) $H_2S + O_2 \rightarrow SO_2 + H_2O$
დ) $SO_3 + HBr \rightarrow Br_2 + SO_2 + H_2O$

დააკვირდით გოგირდის ჟანგვის რიცხვის ცვლილებას და დაასკვენით, რომელი ნივთიერებაა მხოლოდ მჟანგავი, მხოლოდ აღმდგენი. რომელია მჟანგავიც და აღმდგენიც.

3. შეურჩიეთ კოეფიციენტები მოცემულ რეაქციებს:
ა) $Fe + HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2$
ბ) $Fe + Cl_2 \rightarrow FeCl_3$

ახსენით, $FeCl_2$-ის მისაღებად გავარვარებულ რკინაზე რატომ ატარებენ ქლორწყალბადს და არა ქლორს?

4. თითოეულ რეაქციაში ნივთიერებებს შეურჩიეთ კოეფიციენტები ელექტრონული ბალანსის მეთოდით. ახსენით, რა როლს ასრულებს რეაქციაში მარილმჟავა?
ა) $Cl_2 + H_2O \rightleftarrows HCl + HClO$
ბ) $HCl + HClO_3 \rightarrow Cl_2 + H_2O$
გ) $HCl + KMnO_4 \rightarrow Cl_2 + MnCl_2 + KCl + H_2O$

5. რეაქციაში ნივთიერებებს შეურჩიეთ კოეფიციენტები ელექტრონული ბალანსის მეთოდით. მიუთითეთ, თითოეულ რეაქციაში რომელი ნივთიერებაა მჟანგავი, რომელი – აღმდგენი, რომელი ქმნის სარეაქციო არეს.
ა) $NO_2 + H_2O \rightleftarrows HNO_3 + HNO_2$
ბ) $KMnO_4 \rightarrow K_2MnO_4 + MnO_2 + O_2$
გ) $Zn + HNO_3 \rightarrow Zn(NO_3)_2 + N_2 + H_2O$
დ) $NH_4NO_3 \rightarrow N_2O + H_2O$
ე) $Cu + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + SO_2 + H_2O$

3.4. ელექტროლიზი

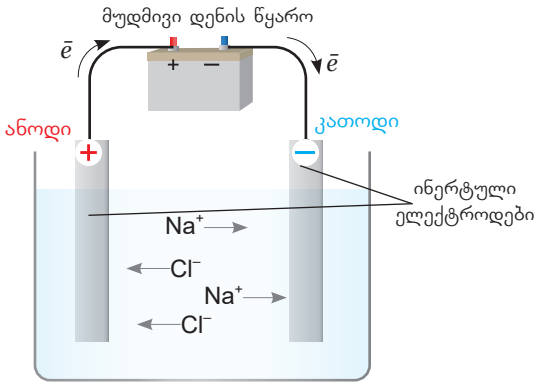
რას ისწავლით

- გაეცნობით ელექტროლიზის ძირითად არსს;
- გააანალიზებთ კათოდზე და ანოდზე მიმდინარე პროცესებს;
- შეაფასებთ ელექტროლიზის როლს ქიმიურ მრეწველობაში.

ჟანგვა-აღდგენის მნიშვნელოვან მაგალითს წარმოადგენს ნივთიერებათა ნალღობში ან ხსნარში მუდმივი დენის გატარებისას ელექტროდებზე მიმდინარე ქიმიური გარდაქმნები.

ელექტრული დენის გამოყენებით მიმდინარე ქიმიურ გარდაქმნებს ელექტროლიზი ეწოდება.

ელექტროლიზის უმარტივესი მაგალითია სუფრის მარილის (NaCl) ნალღობის ელექტროლიზი (სურ.1). ელექტროლიტის ნალღობში საწინააღმდეგოდ დამუხტული იონები ქაოსურად მოძრაობს. მუდმივი დენის გატარებისას იონები იწყებს მიმართულ მოძრაობას: დადებითად დამუხტული Na^+ იონები (კატიონები) ამოძრავდება კათოდისკენ, უარყოფითად დამუხტული Cl^- იონები (ანიონები) – ანოდისკენ. ელექტროდებზე ხდება ამ იონთა განმუხტვა. კერძოდ, კატიონები კათოდიდან იძენს ელექტრონებს და აღდგება, ხოლო ანიონები ანოდს გადასცემს ელექტრონებს და იჟანგება. ე.ი. ელექტროდებზე წარიმართება ჟანგვა-აღდგენის პროცესი: ანოდზე – ჟანგვის, კათოდზე – აღდგენის. კათოდზე გამოიყოფა მეტალური ნატრიუმი, ანოდზე კი – აირადი ქლორი. რადგან ელექტროლიზი ჟანგვა-აღდგენის პროცესია, ამიტომ გაცემული და მიერთებული ელექტრონების რიცხვი ტოლია. ნალღობის ელექტროლიზის სქემა ასეთია:



სურ. 1. ნატრიუმის ქლორიდის ნალღობის ელექტროლიზის სქემა

$$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$$

კათოდი K(–): $Na^+ + \bar{e} \rightarrow \overset{0}{Na}$ | 2

ანოდი A(+): $2Cl^- - 2\bar{e} \rightarrow \overset{0}{Cl_2}$ | 1

$$2Na^+ + 2Cl^- \rightarrow 2\overset{0}{Na} + \overset{0}{Cl_2}$$

$$2NaCl \rightarrow 2Na + Cl_2$$

▶ ხელსაწყოს, რომელშიც ელექტროლიზი ტარდება, **ელექტროლიზერი** ეწოდება.

ელექტროლიზის პროცესში ელექტრული დენის დახმარებით მიმდინარეობს ქიმიური რეაქცია. სწორედ ამაში მდგომარეობს **ელექტროლიზის ძირითადი არსი**.

ელექტროლიტების წყალხსნარების ელექტროლიზის დროს შედარებით რთული პროცესები მიმდინარეობს, რადგან ამ შემთხვევაში ჟანგვა-აღდგენის რეაქციებში ერთვება წყლის მოლეკულებიც, რომლებიც ცვლის პროცესს.

კათოდზე მიმდინარე პროცესები

კათოდზე მიმდინარე პროცესები დამოკიდებულია კატიონის ბუნებაზე. მჟავათა წყალხსნარების ელექტროლიზის დროს კათოდზე ხდება წყალბადიონების აღდგენა:

$$2H^+ + 2\bar{e} \rightarrow H_2$$

მარილთა წყალხსნარების ელექტროლიზის დროს კათოდზე მიმდინარე პროცესები დამოკიდებულია მარილის შედგენილობაში შემავალი მეტალის აქტივობაზე, ე. ი. მის მდებარეობაზე მეტალთა ელექტროქიმიური ძაბვის მწკრივში (ცხრ.1, 2).

ცხრილი 1. მეტალთა ელექტროქიმიური ძაბვის მწკრივი

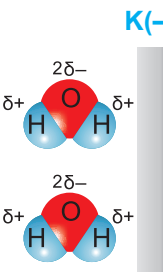
ძლიერ აქტიური მეტალები							**ნაკლებ აქტიური მეტალები**									**პასიური მეტალები**				
Li	K	Ba	Ca	Na	Mg	Al	Mn	Zn	Cr	Fe	Cd	Co	Ni	Pb	(H_2)	Cu	Hg	Ag	Pt	Au
კათოდზე აღდგება წყლის მოლეკულები $2H_2O + 2\bar{e} \rightarrow H_2 + 2OH^-$							კათოდზე აღდგება მეტალთა კატიონები და წყლის მოლეკულები $Mn^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow Mn$ $2H_2O + 2\bar{e} \rightarrow H_2 + 2OH^-$									კათოდზე აღდგება მეტალთა კატიონები $Cu^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow Cu$				

ცხრილი 2. მეტალთა კატიონების დაყოფა აქტივობის მიხედვით

მეტალთა კატიონები	**კათოდზე აღდგება**
Li^+, K^+, Ca^{2+}, Na^+, Mg^{2+}, Al^{3+}	წყლის მოლეკულები
Mn^{2+}, Zn^{2+}, Cr^{3+}, Fe^{2+}, Ni^{2+}, Pb^{2+}	მეტალთა კატიონები წყლის მოლეკულებთან ერთად
Cu^{2+}, Hg^{2+}, Ag^+, Pt^{2+}, Au^{3+}	მეტალთა კატიონები

თუ წყალხსნარი შეიცავს სხვადასხვა მეტალის კატიონებს, ელექტროლიზის დროს მათი აღდგენა ხდება თანმიმდევრობით, მეტალთა კატიონების აქტივობის შემცირების მიმართულებით. შესაბამისად, Ag^+, Zn^{2+}, Cu^{2+}-იონების შემცველ ხსნარში ელექტროლიზის ჩატარებისას ჯერ აღდგება Ag^+, შემდეგ – Cu^{2+}, ბოლოს – Zn^{2+} წყალთან ერთად.

განვიხილოთ სუფრის მარილის წყალხსნარის ელექტროლიზი:



წყლის მოლეკულებიდან მოწყვეტილი წყალბადიონები **კათოდიდან** იძენს ელექტრონებს და აღდგება. თავისუფალი წყალბადის გამოყოფის შემდეგ ხსნარში რჩება ჰიდროქსიდიონები:

$2H_2O + 2\bar{e} \rightarrow H_2 + 2OH^-$

$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$

K(–): $2H_2O + 2\bar{e} \rightarrow H_2 + 2OH^-$ | 1

A(+): $2Cl^- - 2\bar{e} \rightarrow Cl_2$ | 1

$2H_2O + 2Cl^- \rightarrow H_2 + 2OH^- + Cl_2$

$2H_2O + 2NaCl \rightarrow H_2 + 2NaOH + Cl_2$

რაც უფრო აქტიურია მეტალი, მით უფრო ადვილად იჟანგება, მაგრამ ძნელად აღდგება მისი იონი, ამიტომ აქტიურ მეტალთა მარილების წყალხსნარებში უფრო ადვილად აღდგება წყლიდან წყალბადის იონები.

ანოდზე მიმდინარე პროცესები

► უხსნადი ანოდის (ინერტული ელექტროდის) დასამზადებლად გამოიყენება: გრაფიტი, Pt, Au და სხვ. ელექტროლიზის დროს უხსნადი ანოდი არ იჟანგება, ინერტულია.

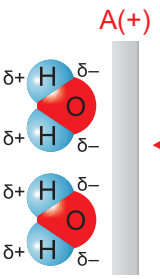
ანოდზე მიმდინარე პროცესები დამოკიდებულია ელექტროლიტის ბუნებასა და იმ ნივთიერების გვარობაზე, რომლისგანაც დამზადებულია ანოდი. განასხვავებენ ხსნად და უხსნად (ინერტულ) ანოდებს. **უხსნად ანოდზე** მიმდინარე პროცესი დამოკიდებულია ანიონის ბუნებაზე (ცხრ. 3).

ცხრილი 3. ანიონების ჟანგვა

მჟავას ნაშთის ანიონები					ჰიდროქსიდის და მჟავას ნაშთის ანიონები				
SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	PO_4^{3-}	NO_3^-	F^-	OH^-	Cl^-	Br^-	I^-	S^{2-}
წყალხსნარებში არ იჟანგება, იჟანგება მხოლოდ წყალი ჟანგბადის გამოყოფით: $2H_2O - 4\bar{e} \rightarrow O_2 + 4H^+$					ადვილად იჟანგება. მაგალითად, $4OH^- - 4e \rightarrow O_2 + 2H_2O$ $2Cl^- - 2\bar{e} \rightarrow Cl_2$				

განვიხილოთ სპილენძ(II)-ის სულფატის წყალხსნარის ელექტროლიზის პროცესი **ინერტულ ელექტროდებზე:**

წყლის მოლეკულის შემადგენელი ჟანგბადი ელექტრონებს გადასცემს **ანოდს** და გამოიყოფა თავისუფალი სახით. ხსნარში რჩება წყალბადის დადებითი იონები.
$2H_2O - 4\bar{e} \rightarrow O_2 + 4H^+$



$$CuSO_4 \rightarrow Cu^{2+} + SO_4^{2-}$$

K(–): $Cu^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \overset{0}{Cu}$ | 2

A(+): $2H_2O - 4\bar{e} \rightarrow \overset{0}{O_2} + 4H^+$ | 1

$$2Cu^{2+} + 2H_2O \rightarrow 2Cu + 4H^+ + O_2$$

$$2CuSO_4 + 2H_2O \rightarrow 2Cu + 2H_2SO_4 + O_2$$

როგორც ვხედავთ, ანოდზე ხორციელდება წყლის მოლეკულების ჟანგვა.

► ხსნადი ანოდის დასამზადებლად გამოიყენება მეტალები: Cu, Zn, Ag, Ni და სხვ. ელექტროლიზის დროს ხსნადი ანოდი იჟანგება და იონების სახით გადადის ხსნარში, ე.ი. იხსნება.

განვიხილოთ იმავე მარილის – $CuSO_4$-ის წყალხსნარის ელექტროლიზი სპილენძისაგან დამზადებული **ხსნადი ანოდის** გამოყენებით.

A(+):

ანოდი იჟანგება, წარმოქმნილი Cu^{2+} იონები გადადის ხსნარში.

$$Cu^0 - 2\bar{e} \rightarrow Cu^{2+}$$

K(–):

კათოდზე მიმდინარეობს ხსნარში გადასული სპილენძის იონების აღდგენა:

$$Cu^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow Cu^0$$

რა რაოდენობის სპილენძიც გადავა ანოდიდან ხსნარში, იმდენივე გამოიყოფა კათოდზე. ხსნარში მარილის რაოდენობა უცვლელი რჩება.

როგორც ვხედავთ, ხსნადი და უხსნადი ანოდის გამოყენებით მიმდინარე ელექტროლიზის პროცესი განსხვავებულია.

ელექტროლიზის გამოყენება

ელექტროლიზი მიეკუთვნება თანამედროვე მრეწველობის მრავალი დარგის ძირითად ტექნოლოგიურ პროცესს.

ტუტე მეტალები, კალციუმი და ალუმინი მრეწველობაში მიიღება მათი ნაერთების ნალღობის ელექტროლიზით. ელექტროლიზის მეთოდით მიიღება ჰალოგენებიც. ამასთან, ფთორის მარილების ნალღობის ელექტროლიზი ფთორის მიღების ერთადერთი ხერხია.

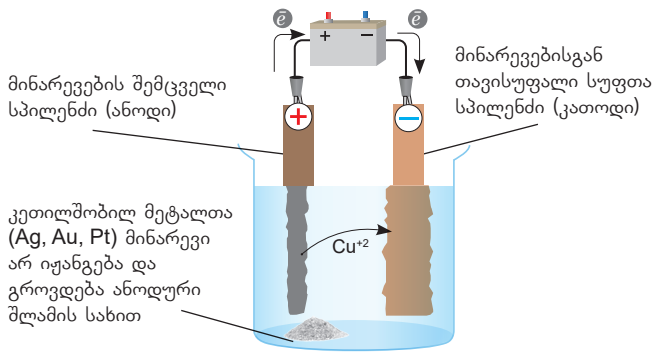
დიდი სამრეწველო მნიშვნელობა აქვს NaCl-ის წყალხსნარის ელექტროლიზს. იაფი ნედლეულის – სუფრის მარილისა და წყლისგან – ელექტროლიზის შედეგად ღებულობენ ქიმიური მრეწველობისთვის ძვირფას სამ პროდუქტს – წყალბადს, ქლორსა და ნატრიუმის ჰიდროქსიდს.

ნატრიუმის სულფატის ან ნატრიუმის ჰიდროქსიდის წყალხსნარიდან ელექტროლიზით ღებულობენ სუფთა ჟანგბადსა და წყალბადს ლაბორატორიასა და მრეწველობაში.

ელექტროლიზს იყენებენ მეტალების რაფინირებისათვის (გასასუფთავებლად). მაგალითად, ელექტროტექნიკაში გამოყენებული სპილენძი სუფთა უნდა იყოს. ამ მიზნით $CuSO_4$-ის ხსნარში ჩაუშვებენ მინარევების შემცველ სპილენძის ფირფიტას (ხსნადი ანოდი) და სუფთა სპილენძის თხელ ფირფიტას (კათოდი). ელექტრული დენის გავლისას ანოდი იხსნება და სუფთა სპილენძი ილექება კათოდზე (სურ. 2; 3). მინარევები გროვდება ელექტროლიზერის ფსკერზე ანოდური შლამის სახით, საიდანაც ხშირად ძვირფას მეტალებსაც (ოქრო, ვერცხლი) გამოყოფენ. ანალოგიურად ხორციელდება სხვა მეტალების რაფინირებაც.

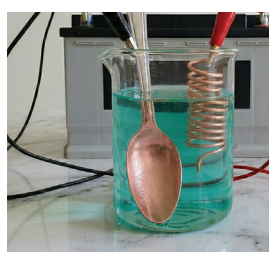


სურ. 2. სპილენძის რაფინირების პროცესი



სურ. 3. სპილენძის რაფინირების პროცესის სქემა

ელექტროლიზს, ასევე, იყენებენ მეტალის ზედაპირის დასაფარავად სხვა მეტალის (ქრომის, ნიკელის, ვერცხლის, ოქროს და სხვ.) თხელი ფენით. ამ შემთხვევაშიც ხსნად ანოდს ამზადებენ იმ მეტალისაგან, რომლითაც ფარავენ ნაკეთობას (სურ. 4). ასეთი დამუშავება ნაკეთობას ანიჭებს არა მარტო ლამაზ გარეგნულ იერს, არამედ იცავს კიდეც კოროზიისაგან. გამოყენებითი ქიმიის ამ დარგს **გალვანოსტეგია** ეწოდება.



სურ. 4. რკინის კოვზის სპილენძით დაფარვა



სურ. 5. გალვანოპლასტიკით დამზადებული სამკაულები

ფართოდ გამოიყენება ელექტროქიმიის მეორე დარგიც – **გალვანოპლასტიკა**. ამზადებენ ნაკეთობის ასლს ცვილისაგან, შემდეგ გრაფიტის თხელი ფენით ფარავენ და მიღებულ კათოდს ათავსებენ მეტალის მარილის ხსნარში. ანოდის როლს კი იმავე მეტალის ფირფიტა ასრულებს. ელექტრული დენის გატარებისას ანოდი იხსნება, ხოლო კათოდი იფარება მეტალის ფენით. ასე მიიღება ნაკეთობის ზუსტი ასლი (სურ. 5).

ახალი ტექნოლოგიების (3D სკანირება, 3D ბეჭდვა და სხვ.) მიღწევების მიუხედავად, გალვანოსტეგია და გალვანოპლასტიკა დღესაც არ კარგავს თავის აქტუალობას.

წყლის ელექტროლიზი წარმოადგენს ეკოლოგიურად სუფთა ჟანგბადისა და წყალბადის მიღების საუკეთესო საშუალებას (სურ. 6). წყლის ელექტროლიზს სასიცოცხლო მნიშვნელობა აქვს ეკიპაჟის ჟანგბადით უწყვეტი მომარაგებისათვის სრულიად იზოლირებულ გარემოში – კოსმოსურ სადგურებსა და ბირთვულ წყალქვეშა ნავებში.



სურ. 6. მწვანე წყალბადი მომავლის ენერგიაა. წყალბადი სხვადასხვა გზით მიიღება, მაგრამ მას „მწვანეს“ უწოდებენ იმიტომ, რომ მის საწარმოებლად ელექტროლიზის პროცესში საჭიროა მხოლოდ წყალი და განახლებადი ენერგიის წყაროებიდან – მზის პანელებიდან ან ქარის ტურბინებიდან – მიღებული ენერგია. როდესაც მწვანე წყალბადს იყენებენ საწვავად, მისი წვის ან გარდაქმნის შედეგად გამონაბოლქვის სახით მხოლოდ სუფთა წყლის ორთქლი გამოიყოფა.

ახალი ტერმინები

- ელექტროლიზი
- ელექტროლიზერი
- ხსნადი ანოდი
- უხსნადი ანოდი
- რაფინირება
- გალვანოსტეგია
- გალვანოპლასტიკა

რა ისწავლეთ

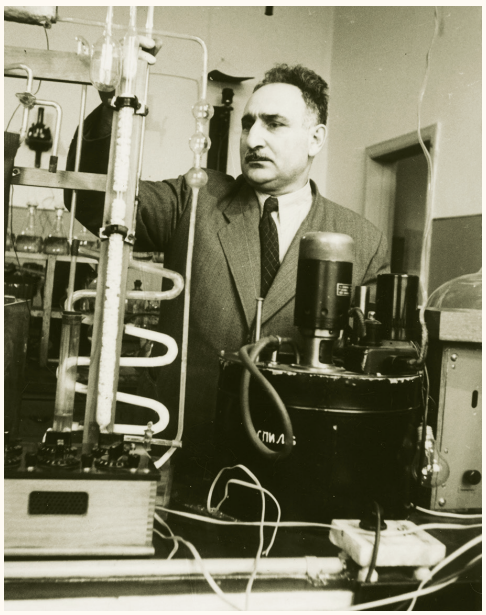
- ელექტროლიზი ჟანგვა-აღდგენის პროცესია, რომელიც მიმდინარეობს ელექტროდებზე ხსნარში ან ნალღობში ელექტრული დენის გატარებისას;
- ელექტროლიზის დროს კათოდზე მიმდინარეობს აღდგენის, ხოლო ანოდზე – ჟანგვის პროცესი;
- ელექტროლიზის გარეშე თანამედროვე მრეწველობა, ტექნიკა და მეცნიერული პროგრესი წარმოუდგენელია.

„მისტერ მანგანეზი“

„მისტერ მანგანეზი“ – ასე იცნობდნენ რაფიელ აგლაძეს მსოფლიოს ელექტროქიმიურ საზოგადოებაში. ეს სახელი მას 1978 წელს, ბუდაპეშტში გამართულ სამეცნიერო კონგრესზე უწოდა ცნობილმა ფრანგმა მეცნიერმა იზრაელ ეპელბოინმა. ელექტროქიმიის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი წარმომადგენლის მიერ რ. აგლაძის სახელის ქიმიური ელემენტის სინონიმად ქცევა, რაც მხოლოდ გამორჩეულ მეცნიერთა ხვედრია, ხაზს უსვამდა რ. აგლაძის შრომების მაღალ სამეცნიერო ღირებულებას და მას მანგანუმის კვლევის უდავო ლიდერად აღიარებდა.

რაფიელ აგლაძის ხელმძღვანელობით დაინერგა პირველად მეტალური მანგანუმის მიღების ელექტროლიზური მეთოდი. მისი ტექნოლოგიით ევროპაშიც პირველად განხორციელდა ელექტროლიზური მანგანუმის მიღება.

რაფიელ აგლაძის კვლევები დაკავშირებული იყო საქართველოს ბუნებრივ ნედლეულთან – ჭიათურის მანგანუმის საბადოსთან. მანგანუმის ნედლეულის ექსპორტი არამიზნობრივი იყო. ნედლეულის უბრალო ექსპორტის ნაცვლად, ახალმა ტექნოლოგიამ ქვეყანას საშუალება მისცა, ეწარმოებინა უმაღლესი სისუფთავის მანგანუმი და მისი ნაერთები (მათ შორის, მრეწველობასა და მედიცინაში ფართოდ გამოყენებადი კალიუმის პერმანგანატი).



სურ. 7. რაფიელ აგლაძე (1911-1989), ელექტროქიმიკოსი

რაფიელ აგლაძე სამართლიანად ითვლება ქართული ელექტროქიმიური სკოლის ფუძემდებლად. მან თბილისში დააარსა არაორგანული ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინსტიტუტი, რომელიც დღეს მისი სახელობისაა. მის სახელს უკავშირდება პირველი სამეცნიერო ჟურნალის – „მეცნიერება და ტექნიკა“ – გამოცემაც.

საშინაო აქტივობა

1. ელექტროლიტის წყალხსნარი შეიცავს Mg^{2+}, Ni^{2+}, Hg^{2+}-იონებს. ელექტროლიზის ჩატარებისას როგორი თანმიმდევრობით განიმუხტება ისინი კათოდზე?

2. ელექტროლიტის წყალხსნარი შეიცავს F^-, Cl^-, OH^-, I^--იონებს. ელექტროლიზის ჩატარებისას როგორი თანმიმდევრობით განიმუხტება ისინი ანოდზე? გაითვალისწინეთ წყლის მოლეკულების როლი ელექტროლიზის დროს.

3. იმსჯელეთ, რა პროცესები წარიმართება ინერტულ ელექტროდებზე შემდეგ ნივთიერებათა წყალხსნარების ელექტროლიზის დროს:

ა) $CuCl_2$ ბ) Na_2SO_4; გ) $Zn(NO_3)_2$

4. თუ გსურთ ფოლადის ნაკეთობის ზედაპირი დაფაროთ ნიკელით, როგორ მოიქცევით? ელექტროლიზერში რომელი ელექტროლიტის ხსნარს ჩაასხამთ? ელექტროდებად რას გამოიყენებთ?

5. სპილენძ(II)-ის სულფატის წყალხსნარის ელექტროლიზის დროს ინერტულ ელექტროდებზე რომელი ნივთიერებები გამოიყოფა? პასუხი დაასაბუთეთ.

ა) Cu, SO_2 გ) Cu, O_2

ბ) Cu, H_2 დ) H_2, O_2

6. რკინა (II)-ის სულფატის 300 მლ ხსნარიდან ელექტროლიზის შედეგად ანოდზე გამოიყო 1,344 ლ (ნ.პ.) ჟანგბადი. დაადგინეთ საწყისი ხსნარის მოლური კონცენტრაცია, თუ კათოდზე რკინა სრულად აღდგა.

შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები

1. გააანალიზეთ, რა აქვს საერთო და განმასხვავებელი ვალენტობასა და ჟანგვის რიცხვს.

2. დაასახელეთ ნივთიერებები, რომლებშიც აზოტის ატომებს აქვს განსხვავებული ჟანგვის რიცხვი.

ა) N_2O_4, NO_2 გ) $NaNO_3$, N_2O_5

ბ) NH_3, NH_4Cl დ) NO_2, KNO_2

3. იწვის თუ არა ჟანგბადში SF_6? პასუხი დაასაბუთეთ.

4. ჟანგვის რიცხვის ზრდის მიხედვით დაალაგეთ მანგანუმის ნაერთები: Mn_2O_3, Mn, Mn_2O_7, MnO_2, $MnSO_4$, K_2MnO_4. როგორია ჟანგვა-აღდგენის უნარი სხვადასხვა ჟანგვის რიცხვის შემთხვევაში?

5. დაადგინეთ, რომელი სქემა გამოსახავს აღდგენის პროცესს:

ა) $SO_2 \rightarrow S$

ბ) $HCl \rightarrow Cl$

გ) $KNO_2 \rightarrow KNO_3$

6. აღდგენას ასახავს სქემა:

ა) $\overset{+2}{Fe} \rightarrow \overset{+3}{Fe}$ გ) $\overset{+5}{N} \rightarrow \overset{+2}{N}$

ბ) $\overset{-2}{S} \rightarrow \overset{+4}{S}$ დ) $2\overset{-1}{Cl} \rightarrow \overset{0}{Cl_2}$

7. ჟანგვას ასახავს სქემა:

ა) $\overset{0}{P} \rightarrow \overset{-3}{P}$ გ) $\overset{0}{O_2} \rightarrow 2\overset{-2}{O}$

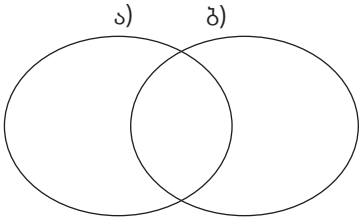
ბ) $\overset{-4}{C} \rightarrow \overset{+4}{C}$ დ) $2\overset{+1}{H} \rightarrow \overset{0}{H_2}$

8. მოცემულია ამიაკის ჟანგბადთან რეაქციები:

ა) $NH_3 + O_2 \xrightarrow{t} N_2 + H_2O$

ბ) $NH_3 + O_2 \xrightarrow{t,\ კატ.} NO + H_2O$

გადახაზეთ რვეულში ვენის დიაგრამა და ჩაწერეთ მსგავსება და განსხვავება.



9. მიუთითეთ ორი ელემენტის ელექტრონული ფორმულა, რომლებიც ყველაზე ძლიერი მჟანგავია მოცემულ ცხრილში.

ჯგუფები	15 (VA)	16 (VIA)	17 (VIIA)	18 (VIIIA)
ელექტრონული ფორმულები	$...2s^22p^3$	$...2s^22p^4$	$...2s^22p^5$	$...2s^22p^6$
	$...3s^23p^3$	$...3s^23p^4$	$...3s^23p^5$	$...3s^23p^6$

10. ელემენტების ელექტრონული კონფიგურაციის დაბოლოებაა:

ა) $...3s^23p^3$ გ) $...3s^23p^5$

ბ) $...3s^23p^4$ დ) $...3s^23p^6$

რომელი ელემენტი ავლენს ყველაზე ძლიერ მჟანგავ უნარს? პასუხი დაასაბუთეთ.

11. დაასაბუთეთ, რომელი ელემენტი არ შეიძლება იყოს აღმდგენი, თუ ელემენტის ელექტრონული კონფიგურაციის დაბოლოებაა:

ა) $...2s^22p^0$ გ) $...3s^23p^1$

ბ) $...2s^22p^4$ დ) $...2s^22p^5$

12. შეარჩიეთ კოეფიციენტები ელექტრონული ბალანსის მეთოდით. ახსენით, რა ბუნებას ავლენს SO_2 ამ რეაქციებში.

ა) $SO_2 + NO_2 \rightarrow SO_3 + NO$

ბ) $SO_2 + H_2S \rightarrow S + H_2O$

გ) $SO_2 + Cl_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + HCl$

13. რეაქციაში $P + HNO_3 + H_2O \rightarrow H_3PO_4 + NO$ მჟანგავისა და აღმდგენის კოეფიციენტებია:

ა) 2, 3 გ) 5, 3

ბ) 4, 3 დ) 4, 5

14. ელექტრონული ბალანსის მეთოდით შეარჩიეთ კოეფიციენტები:

ა) $HI + KIO_3 \rightarrow I_2 + KI + H_2O$

ბ) $H_2S + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow S + MnSO_4 + K_2SO_4 + H_2O$

გ) $AgNO_3 \rightarrow Ag + NO_2 + O_2$

დ) $CH_4 + CO_2 \rightarrow CO + 2H_2$

ე) $Cu(NO_3)_2 \rightarrow CuO + NO_2 + O_2$

ვ) $H_2O_2 + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow O_2 + MnSO_4 + K_2SO_4 + H_2O$

ზ) $FeCl_3 + KI \rightarrow FeCl_2 + I_2 + KCl$

15. ახსენით, რა განსხვავებაა HNO_2-ის მონაწილეობით მიმდინარე რეაქციებში:

ა) $2HNO_2 + 2HI \rightarrow 2NO + I_2 + 2H_2O$

ბ) $2HNO_2 + O_2 \rightarrow 2HNO_3$

გ) $3HNO_2 \rightarrow HNO_3 + 2NO + H_2O$

16. კალიუმის ჰიდროქსიდის წყალხსნარის ელექტროლიზის დროს არ იცვლება:

ა) ხსნარის მასა გ) ხსნარის კონცენტრაცია

ბ) ხსნარში წყლის მასა დ) ხსნარში კალიუმის ჰიდროქსიდის მასა

პასუხი დაასაბუთეთ.

17. ჩამოთვლილი ნაერთებიდან რომელი ნივთიერება (ნივთიერებები) წარმოიქმნება რკინა(II)-ის სულფატის წყალხსნარის ელექტროლიზის დროს?

ა) რკინა დ) გოგირდ((IV)-ის ოქსიდი

ბ) ჟანგბადი ე) გოგირდი

გ) წყალბადი ვ) რკინა(VI)-ის ოქსიდი

პასუხი დაასაბუთეთ.

18. დაადგინეთ შესაბამისობა მარილის ფორმულასა და მისი წყალხსნარის ელექტროლიზის დროს ელექტროდებზე წარმოქმნილ პროდუქტებს შორის.
გადახაზეთ ცხრილი სამუშაო რვეულში, მიუთითეთ შესაბამისობა. პასუხი დაასაბუთეთ.

მარილი	ელექტროდებზე წარმოქმნილი პროდუქტები
ა) $CuCl_2$	1. წყალბადი და ჟანგბადი
ბ) $Pb(NO_3)_2$	2. წყალი და ჟანგბადი
გ) $Al_2(SO_4)_3$	3. წყალბადი და ჰალოგენი
დ) KBr	4. მეტალი, წყალბადი, ჟანგბადი
	5. მეტალი, წყალბადი, ჰალოგენი
	6. მეტალი, ჰალოგენი

19. ჩაატარეს კალიუმის ჰიდროქსიდის წყალხსნარის ელექტროლიზი. დაწერეთ ელექტროლიზის ტოლობა. აღწერეთ კათოდზე და ანოდზე მიმდინარე პროცესები. რა მასის აირი გამოიყოფა ანოდზე, თუ კათოდზე გამოიყო 5,6 ლ (ნ.პ.) წყალბადი?

20. ტუტე მეტალის ქლორიდის ხსნარის ელექტროლიზის დროს წარმოიქმნა 1,02 გ ტუტე და 112 მლ (ნ.პ.) წყალბადი. დაადგინეთ ტუტე მეტალის მოლური მასა და დაასახელეთ იგი.

სახელმძღვანელოში მოცემული ამოცანების პასუხები

თავი 1

გვ. 14.

3. 1203,2 კჯ
4. 32 გ
5. ა) 1305 კჯ
   ბ) 261 კჯ
   გ) 652,5 კჯ
   დ) 5220 კჯ

გვ. 19

1. 203 კჯ
2. ა) 808 კჯ
   ბ) 50,5 კჯ
3. 535 კჯ

გვ. 20

2. 3282 კჯ
3. $m(CaCO_3)$ = 400 გ
   $m(CaO)$ = 224 გ
4. ა) 1209 კჯ
   ბ) 968,75 კჯ
5. 196 კჯ
6. 112 ლ
7. 318 კჯ
8. 103 კჯ

თავი 2

გვ. 28

1. C(B) = 2 მოლი/ლ
   C(C) = 4 მოლი/ლ
   C(D) = 2 მოლი/ლ
3. ა) 0,2 მოლი/ლ·წთ
   ბ) 0,4 მოლი/ლ·წთ

გვ. 35

6. $8{,}9 \cdot 10^{-2}$ ლ^2/მოლი^2·წმ

გვ. 39

1. 4-ჯერ
2. 13,89 წმ
3. 0,0148 მოლი/ლ·წმ

გვ. 51

4. ა) 4,17
   ბ) 0,06 მოლი/ლ
   0,07 მოლი/ლ;
5. 1 მოლი/ლ

გვ. 62

11. 0,417
    $[A]' = [B]'$ = 4,74 მოლი/ლ
    $[C]'$ = 5,26 მოლი/ლ
    $[D]'$ = 4,26 მოლი/ლ

თავი 3

გვ. 81

6. 0,4 მოლი/ლ

გვ. 83

19. 4 გ
20. 85 გ/მოლი

დანართი 1. მჟავების, მარილებისა და ფუძეების ხსნადობა წყალში

კატიონები / ანიონები	H^+	Li^+	NH_4^+	K^+	Na^+	Ag^+	Ba^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Mn^{2+}	Zn^{2+}	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Cu^{2+}	Hg^{2+}	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}	Cr^{3+}
OH^- (ჰიდროქსიდი)		ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	–	ხსნადი	მცირედ ხსნადი	მცირედ ხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი		უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი
NO_3^- (ნიტრატი)	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი
F^- (ფთორიდი)	ხსნადი	მცირედ ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	მცირედ ხსნადი	უხსნადი	მცირედ ხსნადი	ხსნადი	მცირედ ხსნადი	ხსნადი	მცირედ ხსნადი	ხსნადი		მცირედ ხსნადი	უხსნადი	მცირედ ხსნადი	მცირედ ხსნადი
Cl^- (ქლორიდი)	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	უხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	მცირედ ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი
Br^- (ბრომიდი)	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	უხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	მცირედ ხსნადი	ხსნადი	მცირედ ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი
I^- (იოდიდი)	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	უხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	უხსნადი		უხსნადი	ხსნადი		ხსნადი	ხსნადი
S^{2-} (სულფიდი)	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	უხსნადი				უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი		
SO_3^{2-} (სულფიტი)	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	მცირედ ხსნადი	მცირედ ხსნადი	მცირედ ხსნადი	მცირედ ხსნადი	უხსნადი	მცირედ ხსნადი	უხსნადი	უხსნადი			მცირედ ხსნადი			
SO_4^{2-} (სულფატი)	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	მცირედ ხსნადი	უხსნადი	მცირედ ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი		ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი
CO_3^{2-} (კარბონატი)	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი		უხსნადი			უხსნადი			
SiO_3^{2-} (სილიკატი)	უხსნადი	უხსნადი		ხსნადი	ხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი			უხსნადი			
PO_4^{3-} (ფოსფატი)	ხსნადი	უხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	ხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი	უხსნადი

ხსნადი — 1 ლ წყალში იხსნება 10 გ-ზე მეტი

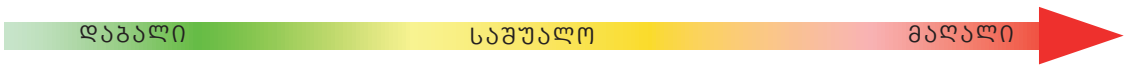
მცირედ ხსნადი — 1 ლ წყალში იხსნება 0,1 გ-დან 10 გ-მდე

უხსნადი — 1 ლ წყალში იხსნება 0,1 გ-ზე მცირე

— წყლით იშლება ან არ არსებობს

დანართი 2. ელემენტთა ფარდობითი ელექტროუარყოფითობა

H 2,1																He
Li 1,0	Be 1,5											B 2,0	C 2,5	N 3,0	O 3,5	F 4,0	Ne
Na 0,9	Mg 1,2											Al 1,5	Si 1,8	P 2,1	S 2,5	Cl 3,0	Ar
K 0,8	Ca 1,0	Sc 1,3	Ti 1,5	V 1,6	Cr 1,6	Mn 1,5	Fe 1,8	Co 1,9	Ni 1,9	Cu 1,9	Zn 1,6	Ga 1,6	Ge 1,8	As 2,0	Se 2,4	Br 2,8	Kr
Rb 0,8	Sr 1,0	Y 1,2	Zr 1,4	Nb 1,6	Mo 1,8	Tc 1,9	Ru 2,2	Rh 2,2	Pd 2,2	Ag 1,9	Cd 1,7	In 1,7	Sn 1,8	Sb 1,9	Te 2,1	I 2,5	Xe
Cs 0,7	Ba 0,9	La 1,0	Hf 1,3	Ta 1,5	W 1,7	Re 1,9	Os 2,2	Ir 2,2	Pt 2,2	Au 2,4	Hg 1,9	Tl 1,8	Pb 1,9	Bi 1,9	Po 2,0	At 2,2	Rn



დანართი 3. მეტალთა აქტივობის რიგი

Li K Ba Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Pb (H_2) Cu Hg Ag Pt Au

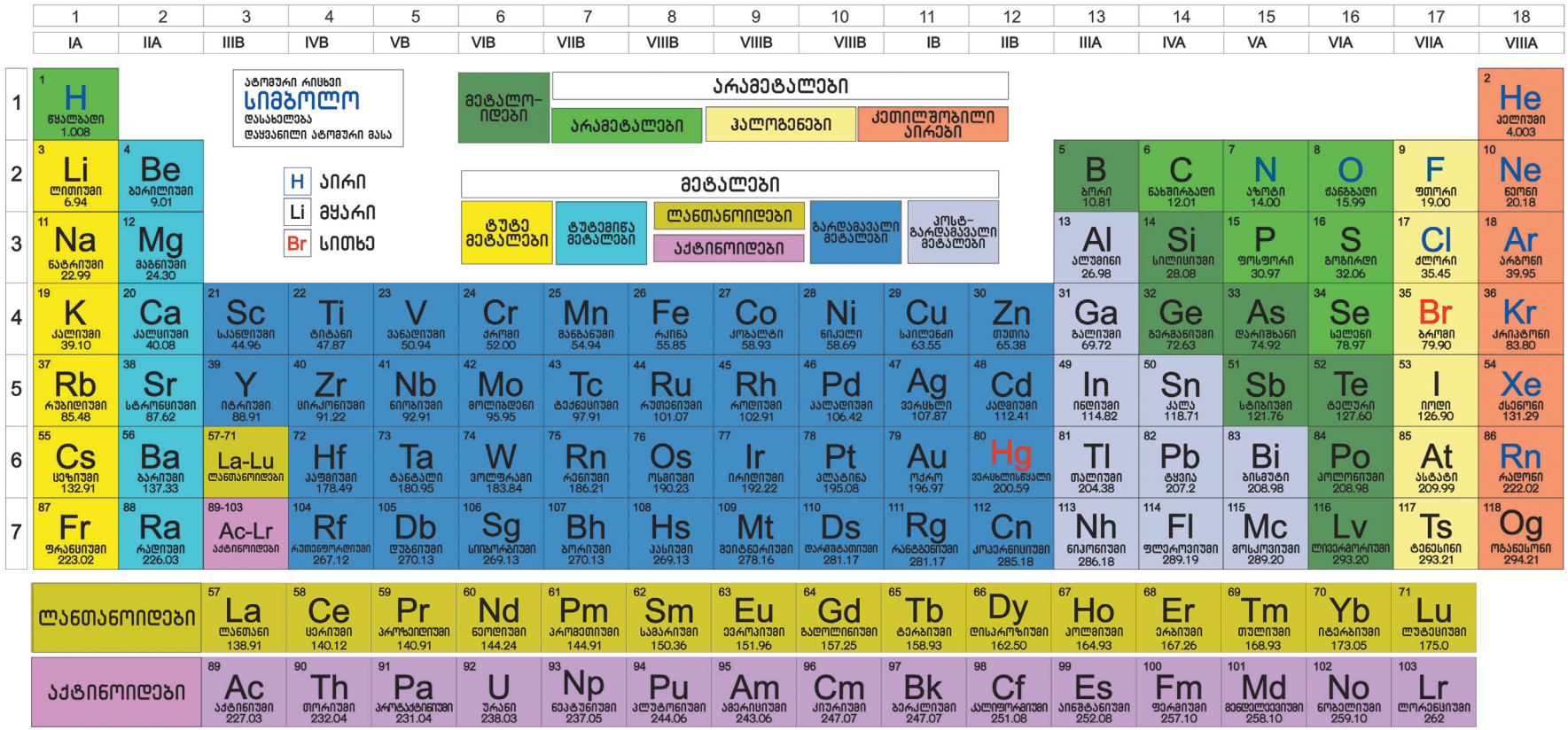
დანართი 4. ზოგიერთი ინდიკატორის შეფერილობა სხვადასხვა არეში

ინდიკატორები	მჟავა არე	ტუტე არე	ნეიტრალური არე
1. ლაკმუსი	წითელი	ლურჯი	იისფერი
2. ფენოლფტალეინი	უფერო	ჟოლოსფერი	უფერო
3. მეთილნარინჯი	ვარდისფერი	ყვითელი	ნარინჯისფერი

დანართი 5. საზომი ერთეულების ცხრილი

წინსართი	ქართული აღნიშვნა	
კილო	კ	1 კილოგრამი = 1 კგ = 10^3 გ
დეცი	დ	1 დეციმეტრი = 1 დმ = 10^{-1} მ = 0,1 მ
სანტი	ს	1 სანტიმეტრი = 1 სმ = 10^{-2} მ = 0,01 მ
მილი	მ	1 მილიგრამი = 1 მგ =10^{-3} გ = 0,001გ
ნანო	ნ	1 ნანომეტრი = 1 ნმ = 10^{-9} მ
პიკო	პ	1 პიკომეტრი = 1 პმ = 10^{-12} მ

დანართი 6. ქიმიური ელემენტების პერიოდულობის ცხრილი



იქ, სადაც ახლა შენ ცხოვრობ, დაახლოებით 8000 წლის წინათ დაიბადა და განვითარდა ღვინის წარმოება - ეს საოცარი ქიმიური პროცესი. საქართველო მსოფლიოში კულტურული ვაზის, Vitis vinifera-ს, წარმოშობის პირველ კერად არის აღიარებული, რაც არქეოლოგიური მონაცემებით ძვ.წ. 6000-4000 წლებით თარიღდება. შულავერში აღმოჩენილი უძველესი ყურძნის წიპწები ცოცხალი დასტურია იმისა, რომ საქართველოს მიწაზე უკვე იმ დროიდან არსებობდა მეღვინეობის განვითარებული კულტურა.

ბუნებრივი პროცესების წყალობით ყურძნის ტკბილი წვენი ცვლილებას განიცდის - საფუარის მეშვეობით შაქრები ეთილის სპირტად და ნახშირორჟანგად გადაიქცევა. სწორედ ამ ჯადოსნურ ალკოჰოლურ დუღილს ეფუძნება ღვინის დაბადება, თუმცა ქართული მეღვინეობა ამ პროცესს უნიკალურ ხასიათს სძენს. ამაში განსაკუთრებულ როლს ასრულებს ქვევრი – ძველთაძველი თიხის ჭურჭელი, რომელიც საუკუნეების განმავლობაში სრულყოფდა ყურძნის წვენის ღვინოდ გარდაქმნის პროცესს. ქვევრი ცოცხალი ორგანიზმივით ქმნის იდეალურ მიკროგარემოს, სადაც ღვინო სუნთქავს, მწიფდება, იწმინდება და თავის განუმეორებელ ხასიათს იძენს.

ეს მეთოდი იმდენად ღირებულია, რომ 2013 წელს იუნესკომ (UNESCO) ის კაცობრიობის არამატერიალური კულტურული მემკვიდრეობის ნუსხაში შეიტანა. ეს წიგნი გაგიხსნის ამ საოცარი სამყაროს კარს, გაგაცნობს ღვინის შექმნის ქიმიურ საიდუმლოებებს და დაგეხმარება უკეთ გაიაზრო ქართული კულტურული მემკვიდრეობის მნიშვნელობა. შენ შეძლებ იმის აღმოჩენას, თუ როგორ უკავშირდება მეცნიერება ჩვენს წარსულს, აწმყოსა და მომავალს.



9 789941 889226

26.07.10.1.1