

დენიტა ბიბილეიშვილი, ლიანა ებანოძე

ექსპერიმენტული ფიზიკური ქიმია

~teqnikuri universiteti~

saqarTvelos teqnikuri universiteti

დენიტა ბიბილეიშვილი, ლიანა ებანოიძე

**ექსპერიმენტული ფიზიკური
ქიმია**



**დამტკიცებულა სახელმწიფო დონაზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სარედაქციო-
საგამომცემლო საბჭოს
მერ. 29.06.2018, ოკმი #2**

**Tbilisi
2018**

უაკ 541.1

სახელმძღვანელოში მოცემულია ფიზიკური ქიმიის ძირითადი საკითხების: ნივთიერების აღნაგობის, ქიმიური თერმოდინამიკის, ჰომოგენური და ჰეტეროგენული წონასწორობის, ხსნარების, ელექტროქიმიის, ქიმიური კინეტიკისა და კატალიზის როგორც თეორიული, ისე ექსპერიმენტული ნაწილი.

გამოცემა განკუთვნილია ქიმიის საბაკალავრო პროგრამის სტუდენტებისათვის.

რეცენზენტები: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი ვლადიმერ გორდელაძე.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის აგრარული მეცნიერებებისა და ბიოსისტემების ინჟინერინგის ფაკულტეტის პროფესორი გურამ ტყემალაძე

© sagamomcemlo saxli `teqnikuri universiteti~, 2018

ISBN 978-9941-28-222-5

<http://www.gtu.ge>



yvela ufleba daculia. am wignis arc erTi nawilis (iqneba es teqsti, foto, ilustracia Tu sxva) gamoyeneba aranairi formiT da saSualebiT (iqneba es eleqtronuli Tu meqanikuri) ar SeiZleba gamomcemlis werilobiTi nebarTvis gareSe.

saavtoro uflebebis darRveva isjeba kanoniT.

wignSi moyvanili faqtebis sizusteze pasuxismgebelia avtoris/avtorebi.

avtoris/avtorTa pozicias SeiZleba ar emTxveodes sagamomcemlo saxlis pozicia.

ექსპერიმენტული ფიზიკური ქიმიის სახელმძღვანელო განკუთვნილია ქიმიის საბაკალავრო პროგრამის სტუდენტებისათვის. მასში მოტანილია ფიზიკური ქიმიის ძირითადი საკითხები: ნივთიერების აღნაგობის, ქიმიური თერმოდინამიკის, ჰომოგენური და ჰეტეროგენული წონასწორობის, ხსნარების, ელექტროქიმიის, ქიმიური კინეტიკისა და კატალიზის ძირითადი საკითხების როგორც თეორიული, ისე ექსპერიმენტული ნაწილი.

რეცენზენტები: პროფ. გურამ ტყემალაძე
პროფ. ვოვა გორდელაძე

2014 წლიდან შეიქმნა საბაკალავრო საგანმანათლებლო პროგრამა ქიმია, სადაც ცალკე კურსად არის შეტანილი „ექსპერიმენტული ფიზიკური ქიმია“. ამან დააყენა ამ კურსისათვის ძირითადი სახელმძღვანელოს შექმნის საკითხი.

არსებული ლაბორატორიული სამუშაოებისათვის განკუთვნილი სახელმძღვანელოები მოძველებულ ტერმინოლოგიასა და ტექნიკურ ბაზას შეიცავდა. საჭირო იყო მათი თანამედროვე სახით წარმოდგენა.

სახელმძღვანელო „ექსპერიმენტული ფიზიკური ქიმია“ წარმოადგენს ავტორთა მიერ მორიგ მცდელობას შეიქმნას სახელმძღვანელო ფიზიკურ ქიმიაში ლაბორატორიული სამუშაოების ჩასატარებლად. მასში შეტანილია ფიზიკური ქიმიის ისეთი ძირითადი საკითხები, როგორცაა ნივთიერების აღნაგობა, ქიმიური თერმოდინამიკა, ქიმიური და ფაზური წონასწორობა, ხსნარები, ელექტროქიმია, ქიმიური კინეტიკა და კატალიზი. თეორიული ნაწილის შესაბამისი ლაბორატორიული სამუშაოები. ექსპერიმენტის ჩასატარებელი ხელსაწყოების აღწერა, ექსპერიმენტის ჩატარების მეთოდიკა, სტუდენტის წინაშე დასმული ამოცანის მისაღწევად საჭირო გამოთვლები, საკონტროლო კითხვები სტუდენტს გაუადვილებს საგნის ათვისების პროცესს.

მიუხედავად ჩვენი ძალისხმევისა, სახელმძღვანელო არ იქნება დაცული ხარვეზებისაგან და ყველა სამართლიან შენიშვნას ავტორები დიდი სიამოვნებით გავითვალისწინებთ.

დენიტა ბიბილეიშვილი, ლიანა ებანოიძე

I. ნივთიერების აღნაგობა და თვისებები

I.1. რეფრაქტომეტრია

ცვლილებას, რომელსაც მოლეკულაში გარე ელექტრული ველი იწვევს, პოლარიზაცია ეწოდება. ეს არის ელექტრონების ან ატომების წანაცვლება, ასევე მოლეკულების ორიენტაცია, გამოწვეული გარე ელექტრული ველის მოქმედებით.

არსებობს ორიენტაციული $\Pi_{ორ}$ და დეფორმაციული $\Pi_{დეფ}$ პოლარიზაცია; თავის მხრივ, დეფორმაციული $\Pi_{დეფ}$ პოლარიზაცია შეიძლება იყოს ატომური $\Pi_{ატ}$, ელექტრონული $\Pi_{ელ}$ და ზოგჯერ იონური $\Pi_{იონ}$,

$$\Pi = \Pi_{ორ} + \Pi_{დეფ} = \Pi_{ორ} + \Pi_{ატ} + \Pi_{ელ} + \Pi_{იონ} . \quad (1)$$

ორიენტაციული პოლარიზაცია განპირობებულია ელექტრულ ველში მოლეკულების ორიენტაციით. იგი დამახასიათებელია მხოლოდ პოლარული მოლეკულებისთვის და დამოკიდებულია ტემპერატურაზე.

დეფორმაციული პოლარიზაცია დამახასიათებელია როგორც პოლარული, ისე არაპოლარული მოლეკულებისათვის და არ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე.

ატომური პოლარიზაცია გამოწვეულია მოლეკულაში ატომთა წანაცვლებით; იგი მოლეკულაში ელექტრონული სიმკვრივის არასიმეტრიული განაწილებითაა განპირობებული.

ელექტრონული პოლარიზაცია გამოწვეულია ელექტრონების წანაცვლებით ატომბირთვის მიმართ.

იონური პოლარიზაცია დამახასიათებელია მხოლოდ იონური კრისტალებისათვის და გამოწვეულია სხვადასხვა მუხტის მქონე იონების წანაცვლებით წონასწორობის მდგომარეობიდან საპირისპირო მიმართულებით.

მოლეკულის პოლარიზაცია განისაზღვრება ნივთიერების პოლარიზებადობით (α), რომელიც გვიჩვენებს მოლეკულის ელექტრული მუხტის დეფორმაციის უნარს გარე ველის გავლენით. პოლარიზაცია არის მოცულობა, რომელსაც დაიკავებს მოლეკულის ელექტრონული ღრუბელი ელექტრული ველის გავლენით

$$\alpha = \mu / E \quad (2)$$

სადაც μ - დიპოლური მომენტი,

E - გარე ელექტრული ველის დაძაბულობა.

პოლარიზებადობა ადიტიური სიდიდეა

$$\alpha = \alpha_{ორ} + \alpha_{ატ} + \alpha_{ელ} \quad (3)$$

სრული პოლარიზებადობა დაკავშირებულია დიელექტრიკულ ϵ შეღწევადობასთან. დებაის ფორმულის თანახმად:

$$\Pi = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4}{3} \pi N \alpha , \quad (4)$$

სადაც N - ავოგადროს რიცხვია,

M - მოლეკულური წონა,

ρ - სიმკვრივე.

ნივთიერებაში ხილული სინათლის გავლისას აღძრულ პოლარიზაციას, რეფრაქცია ეწოდება. ხილული სინათლის ტალღის სიხშირე დიდია, ამიტომ ატომები და მოლეკულები ვერ ასწრებენ გადანაცვლებას და ატომური და ორიენტაციული პოლარიზაცია არ ხდება.

მაქსველის ელექტრომაგნიტური თეორიის თანახმად, დიელექტრიკული შეღწევადობა (ϵ) გარდატეხის მაჩვენებლის კვადრატის (n^2) ტოლია.

ვაკუუმში ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სიჩქარის შეფარდებას მოცემულ არეში გამოსხივების სიჩქარესთან გარდატეხის მაჩვენებელი (n) ეწოდება.

ლორენც-ლორენტის ფორმულა ელექტრულ პოლარიზაციას აკავშირებს, გარდატეხის მაჩვენებელთან, მოლეკულურ წონასა და სიმკვრივესთან:

$$\Pi_{\text{კლ}} = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{M}{\rho} . \quad (5)$$

ელექტრონულ პოლარიზაციას მოლური რეფრაქცია ეწოდება. მოლური რეფრაქცია ნივთიერების 1 მოლში შემავალი მოლეკულების ($N = 6,2 \cdot 10^{23}$) მოცულობათა ჯამია. მისი განზომილებაა სმ³/მოლ.

$$R_{\text{მოლ}} = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{M}{\rho} . \quad (6)$$

რეფრაქცია ადიტიური სიდიდეა: იგი ნივთიერებაში შემავალი ატომების, ჯერადი ბმებისა და ციკლების რეფრაქციების ჯამის ტოლია. მათი მნიშვნელობები მოცემულია ცნობარში

$$R = \sum n \cdot R_{\text{ატ}} + \sum n \cdot R_{\text{ჯერ.ბმ}} + \sum n \cdot R_{\text{ციკ}} . \quad (7)$$

გარდა მოლური რეფრაქციისა, არსებობს კუთრი რეფრაქცია (r) კუთრი რეფრაქცია 1 გრამ ნივთიერებაში არსებული ყველა მოლეკულის მოცულობათა ჯამია. მისი განზომილებაა სმ³/გ.

$$r = \frac{R}{M} ,$$

$$r = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{1}{\rho} . \quad (8)$$

რეფრაქცია ნივთიერების აღნაგობის კვლევის ერთ-ერთი ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდია. მისი საშუალებით შეიძლება განისაზღვროს მოლეკულის სტრუქტურა, ნივთიერების ელექტრონული პოლარიზაცია, ხსნარის კონცენტრაცია, დიპოლური მომენტი, პოლარიზებადობა, მოლეკულის ზომები, ქიმიური ბმის ბუნება, ტაუტომერულ ნარევებში სხვადასხვა ფორმის რაოდენობრივი შედგენილობა და სხვ.

ხსნარების კონცენტრაციის დასადგენად გამოიყენება ხსნარის კუთრი რეფრაქცია, იგი ადიტიური სიდიდეა, ტოლია შემადგენელი კომპონენტების კუთრი რეფრაქციების ჯამისა:

$$r = r_A \cdot X + r_B \cdot (1 - X) , \quad (9)$$

სადაც r - ხსნარის კუთრი რეფრაქციაა;

r_A და r_B - გახსნილი და გამხსნელი ნივთიერებების კუთრი რეფრაქციები;

X - გახსნილი ნივთიერების მასური წილი ხსნარში.

თუ 100 გ ხსნარი შეიცავს გახსნილი ნივთიერების X რაოდენობას, გამხსნელი იქნება $(100 - X)$ და მივიღებთ:

$$100 \cdot r = X \cdot r_A + r_B \cdot (100 - X) , \quad (10)$$

საიდანაც ვითვლით ხსნარის პროცენტულ კონცენტრაციას

$$X = \frac{100 \cdot (r - r_B)}{r_A - r_B} . \quad (11)$$

ექსპერიმენტული ნაწილი

სამუშაოს მიზანია: **I.1.1. ნივთიერების მოლური რეფრაქციის განსაზღვრა;**

I.1.2. რეფრაქციის ადიტიურობით ხსნარის კონცენტრაციის განსაზღვრა.

ხელსაწყო, ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივები.

აბეს ტიპის რეფრაქტომეტრი YPL-1; ანალიზური სასწორი ВЛА-200-М;

წვრილსაწონები; ფილტრის ქაღალდი;

პიკნომეტრები (2 მლ; 3 მლ; 5 მლ; 10 მლ); პიპეტები;

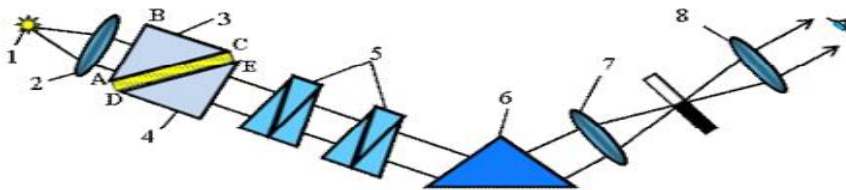
გამოხდილი წყალი; ეთილის სპირტი; ბენზოლი; ტოლუოლი;

უცნობი კონცენტრაციის KCl-ის ხსნარი.

ნივთიერების რეფრაქციის ექსპერიმენტული განსაზღვრისათვის საჭიროა გარდატეხის მაჩვენებლის გაზომვა და სიმკვრივის დადგენა. მყარი და თხევადი ნივთიერებების გარდატეხის მაჩვენებლის გასაზომად გამოიყენება სპეციალური ხელსაწყო - რეფრაქტომეტრი, რომლის მუშაობას საფუძვლად უდევს სინათლის სხივის სრული შინაგანი არეკვლის მოვლენა.

ლაბორატორიულ პირობებში გამოიყენება აბეს ტიპის რეფრაქტომეტრი (“YPL”-1) (სურ.2).

რეფრაქტომეტრის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს ორი ერთმანეთზე დალაგებული, სამკუთხა პრიზმა - ქვედა პრიზმა (3) და ზედა პრიზმა (4), რომელთა შორის თავსდება საკვლევი ნივთიერება. (სურ.1).



სურათი 1. რეფრაქტომეტრის ოპტიკური სქემა

1. სინათლის წყარო; 2. კონდენსორის ლინზა; 3. ქვედა პრიზმა;

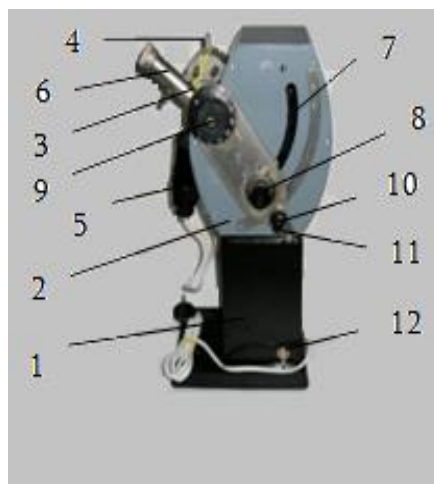
4. ზედა პრიზმა; 5.- 6. პრიზმები; 7. შემკრები ლინზა;

8. ოკულარი (საჭვრეტი მილი).

სინათლის წყაროდან (1) მონოქრომატული სხივი ხვდება ქვედა პრიზმაში, გაივლის სითხის ფენას და გამოდის ზედა პრიზმიდან. აქედან ის (5) და (6) პრიზმების და (7) შემკრები ლინზის გავლით ხვდება ოკულარში (8), რომლის მარცხენა ნაწილში არის დანაყოფებიანი სკალა. სინათლის წყაროს მიმართ პრიზმების მობრუნებით შეიძლება მიღებულ იქნეს ისეთი მდგომარეობა, როდესაც ქვედა პრიზმაში შესული სხივების ერთი ნაწილი განიცდის სრულ შინაგან არეკვლას პრიზმა-სითხის საზღვარზე და ამის გამო ვერ ხვდება ვერც ზედა პრიზმაში და ვერც ოკულარში. სხივების მეორე ნაწილი ეცემა პრიზმა-სითხის გამყოფ ზედაპირს არეკვლის ზღვრულ კუთხეზე ნაკლები კუთხით, გარდატეცდება, გაივლის ზედა პრიზმას და ხვდება ოკულარში. ამის გამო ოკულარში ხედვის არის ნახევარი - ბნელია, ნახევარი კი - განათებული. რეფრაქტომეტრი მუშაობს დღის ნათურის ე.წ. „თეთრი“ სინათლის გამოყენებით. სინათლის დისპერსიის გამო, ოკულარის ხედვის არეში ბნელ და ნათელ არეებს შორის მკვეთრი საზღვრის ნაცვლად მიიღება სპექტრი. ოკულარის ხედვის არეშია

დიაგონალური ხაზების გადაკვეთის წერტილი („ჯვარედინას“ - ჯვრის ხაზების გადაკვეთის წერტილი). ოკულარის (8) ქვედა ნაწილში მოთავსებულ კომპენსატორს არეგულირებენ მანამ, სანამ არ მოხდება სპექტრის შეკრება, ოკულარის ხედვის არეში არ მიიღება ბნელი და ნათელი არეების მკვეთრი გამყოფი საზღვარი (მკვეთრი, გამყოფი ხაზი), რომლის მდებარეობა შეესაბამება განსაზღვრული ტალღის სიგრძის მქონე სხივს (ნატრიუმის ყვითელი D ხაზი). ამის შემდეგ, სკალაზე მოძრავი ბერკეტის სახელურს აბრუნებენ ისე, რომ გამყოფი ხაზს დაემთხვეს დიაგონალური ხაზების გადაკვეთის წერტილი. სკალაზე აითვლიან გარდატეხის მაჩვენებლის მნიშვნელობას 0,001 სიზუსტით.

რეფრაქტომეტრზე მუშაობის მეთოდика



სურათი 2. რეფრაქტომეტრი (YPJI-1).

1. ხელსაწყოს სადგარი; 2. კორპუსის სადგარი, ქვედა და ზედა კამერებით; 3. ქვედა პრიზმა მოთავსებული ქვედა კამერაში; 4. ქვედა კამერასთან შეერთებული ზედა კამერის სახურავი, რომელზეც მოთავსებულია ზედა პრიზმა; 5. ქვედა კამერასთან მოძრავად დამაგრებული ნათურა; 6. თერმოსტატირებისთვის საჭირო თერმომეტრი; 7. რეფრაქტომეტრის სკალა; 8. საჭვრეტი მილი ოკულარით; 9. დისპერსიული კომპენსატორი; 10. ბერკეტის სახელური; 11. მოძრავი ბერკეტი საჭვრეტი მილი ოკულარით; 12. ჩამრთველი.

- მუშაობის დაწყების წინ გავხსნათ კორპუსის სადგარზე (1) დამაგრებული ზედა კამერის სახურავი (4), კარგად გავრეცხოთ ზედა (4) და ქვედა (3) პრიზმები რამდენიმე წვეთი გამოხდილი წყლით და ფრთხილად გავამშრალეთ ფილტრის ქაღალდით, რათა არ დაზიანდეს პრიზმების გაპრიალებული ზედაპირები;
- ქვედა პრიზმის ღია გაპრიალებულ ზედაპირზე მინის წკირით ან პიპეტით დავაწვეთოთ საკვლევი ნივთიერების 1-2 წვეთი და დავხუროთ ზედა კამერის სახურავით (4);
- ჩავრთოთ ხელსაწყო ელექტრო ქსელში. ნათურა (5) მივანათოთ ზედა კამერის ფანჯარას ისე, რომ პრიზმათა ბლოკი მთლიანად იყოს განათებული.

- ბერკეტის სახელურის (10) საშუალებით გადავადგილოთ საჭვრეტი მილი ოკულარით (8) ქვევით ან ზევით ისე, რომ ოკულარის ხედვის არეში გამოჩნდეს შუქრდილის მკვეთრი საზღვარი და დიაგონალური (გადაჯვარედინებული) ხაზები - „ჯვარედინა“;
- დისპერსიული კომპენსატორი (9) ვაბრუნოთ მანამ, სანამ შუქრდილის მკვეთრ საზღვარზე არ მივიღებთ სპექტრს და მიღებული სპექტრი შევკრიბოთ;
- ბერკეტის სახელურის (10) გადაადგილებით ოკულარის ხედვის არეში შუქრდილის მკვეთრ საზღვარზე დავსვათ (დავამთხვიოთ) დიაგონალური ხაზების გადაკვეთის წერტილი - „ჯვარედინას ცენტრი“;
- რეფრაქტომეტრის სკალაზე (7) ავითვალოთ გარდატეხის მაჩვენებლის რიცხვითი მნიშვნელობა 0,001 სიზუსტით;
- მუშაობის დასრულების შემდეგ ორივე პრიზმა გავწმინდოთ ფილტრის ქაღალდით და გამოვრთოთ ხელსაწყო ელექტრო ქსელიდან.

I.1.1. ნივთიერების მოლური რეფრაქციის განსაზღვრა ცდის მსვლელობა

რეფრაქტომეტრით ზომავენ ნივთიერებების გარდატეხის მაჩვენებელს და შედეგები შეაქვთ ცხრილ 2-ში.

$$R_{\text{მოლ}} = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{M}{\rho}$$

ფორმულით საზღვრავენ მოლურ რეფრაქციას და ადარებენ

ადიტიურობის წესით, ფორმულით $R = \sum n \cdot R_{\text{ატ}} + \sum n \cdot R_{\text{ჯერ.ბმ}} + \sum n \cdot R_{\text{ტოკ}}$ მიღებული მოლური რეფრაქციის მნიშვნელობას. ანგარიშობენ გადახრას ექსპერიმენტულად და თეორიულად გამოთვლილ რეფრაქციებს შორის. განსხვავება მათ შორის არ უნდა აღემატებოდეს 1%-ს. ატომებისა და კავშირების რეფრაქციების მნიშვნელობებს იღებენ ცხრილ 1-იდან. დავუშვათ, რომ ცდით განსაზღვრულია ტოლუოლის მოლური რეფრაქცია. ტოლუოლის მოლეკულა შედგება 7 ატომი ნახშირბადისა და 8 ატომი წყალბადისაგან. მის მოლეკულაში შედის 3 ორმაგი ბმა. ცხრილ 2-ის მონაცემების თანახმად: $R = 7 \cdot 2,418 + 8 \cdot 1,110 + 3 \cdot 1,733 = 31,055$ სმ³/მოლი.

ცხრილი 1

№	ნივთიერება	მოლეკულური მასა	სიმკვრივე	ატომები, იონები	ატომური /იონური რეფრაქცია	ჯერადი ბმა
1	წყალი	18,015	1,00	H	1,1	ორმაგი ბმა 2,398
2	სპირტი	46,07	0,7893	O	1,525	
3	ბენზოლი	78,11	0,8786	K ⁺	2,12	
4	ტოლუოლი	92,14	0,8667	Cl ⁻	9,3	
5	კალიუმის ქლორიდი KCl	74,56		C	2,418	

ცხრილი 2

ნივთიერების	გარდატეხის	სიმკვრივე,	მოლეკუ-	მოლური რეფრაქცია,	გადახრა,
-------------	------------	------------	---------	-------------------	----------

დასახელება	მაჩვენებელი n	გ/სმ ³ , ρ	ლური მასა, M	სმ ³ /მოლი, R		%
				ექსპერი- მენტული, $R_{\text{ექსპ.}}$	ადიტიური, $R_{\text{ადიტ.}}$	
წყალი						
ეთილის სპირტი						
ბენზოლი						
ტოლუოლი						

I.1.2. რეფრაქციის ადიტიურობით ხსნარის კონცენტრაციის განსაზღვრა ცდის მსვლელობა

რეფრაქტომეტრის საშუალებით ზომავენ საკვლევი ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებელს. ცდის შედეგები შეაქვთ ცხრილ 3-ში. იმავე ტემპერატურაზე პიკნომეტრით ზომავენ ხსნარის (KCl) სიმკვრივესა და $r = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{1}{\rho}$ ფორმულით ითვლიან ხსნარის ხვედრით რეფრაქციას.

სიმკვრივის განსაზღვრა ხდება პიკნომეტრის გამოყენებით. კარგად გასუფთავებულ მშრალ პიკნომეტრს წონიან ანალიზურ სასწორზე და შედეგები შეაქვთ ცხრილ 1-ში. შემდეგ პიკნომეტრს ავსებენ წყლით, ახურავენ საცობს, პიკნომეტრს ათავსებენ თერმოსტატში და აყოვნებენ 15-20 წთ იმ ტემპერატურაზე, რომელზეც უნდა მოხდეს გარდატეხის მაჩვენებლის გაზომვა. თუ ამ დროში წყლის მოცულობამ მოიმატა, ზედმეტ წყალს ამოაშრობენ ფილტრის ქაღალდით. იმ შემთხვევაში თუ მოცულობა შემცირდა - პიკნომეტრს ავსებენ ჭედმდე. ამის შემდეგ პიკნომეტრს იღებენ თერმოსტატიდან, აყოვნებენ 10 წთ-ს და წონიან. შედეგები შეაქვთ ცხრილ 1-ში. საზღვრავენ პიკნომეტრის V მოცულობას ფორმულით:

$$V = \frac{m_1 - m_0}{\rho_1},$$

სადაც V - პიკნომეტრის მოცულობა;

ρ_1 - წყლის სიმკვრივე;

m_0 - ცარიელი პიკნომეტრის წონა;

m_1 - პიკნომეტრის წონა წყლით.

ანალოგიურად ავსებენ პიკნომეტრს საკვლევი სითხით და წონიან. სითხის სიმკვრივე გამოითლება ფორმულით:

$$\rho_2 = \frac{m_2 - m_0}{V},$$

სადაც ρ_2 - საკვლევი ხსნარის სიმკვრივეა;

m_0 - ცარიელი პიკნომეტრის წონა;

m_2 - პიკნომეტრის წონა ნიმუშით.

$$X = \frac{100 \cdot (r - r_B)}{r_A - r_B}$$

ფორმულის გამოყენებით საზღვრავენ გახსნილი ნივთიერების

პროცენტულ შემცველობას ხსნარში. გამხსნელისა და გახსნილი ნივთიერების ხვედრითი რეფრაქციები გამოითვლება შესაბამისი ფორმულებით:

$$r_B = \frac{R_B}{M_B}, \quad r_A = \frac{R_A}{M_A},$$

სადაც R_B და R_A - გამხსნელისა და გახსნილი ნივთიერების მოლური რეფრაქციებია გამოთვლილი ცხრილების მონაცემებით;

M_B და M_A - გამხსნელისა და გახსნილი ნივთიერების მოლეკულური მასა.

რეფრაქციის ადიტიურობით ხსნარის კონცენტრაციის განსაზღვრა

ცხრილი 3

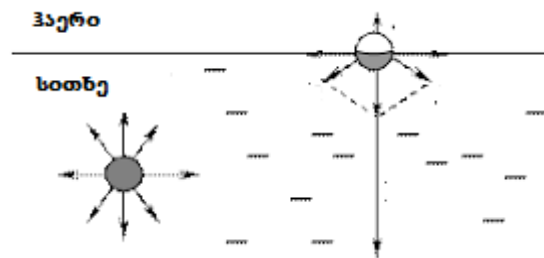
პიკნომეტრის წონა			პიკნომეტრის მოცულობა, V	ხსნარის სიმკვრივე, ρ_2 , გ/სმ ³	გარდატეხის მაჩვენებელი, n	ხვედრითი რეფრაქცია, (სმ ³ /გ)			ხსნარის კონცენტრაცია %
ცარიელი m_0	წყლით m_1	ნიმუშით m_2				გახსნილი ნივთიერების, r_A	გამხსნელის r_B	ხსნარის r	

საკონტროლო კითხვები

1. რა ეწოდება ცვლილებას მოლეკულაში, რომელსაც იწვევს გარე ელექტრული ველი?
2. როგორი პოლარიზაციები არსებობს?
3. რა არის პოლარიზაცია?
4. რას ეწოდება რეფრაქცია და როგორი სიდიდეა?
5. რას განსაზღვრავს რეფრაქცია?
6. რეფრაქციის განზომილებაა
7. როგორი რეფრაქციები იცით?
8. როგორ ისაზღვრება გარდატეხის მაჩვენებელი?
9. როგორ ისაზღვრება ხსნარის კუთრი წონა?
10. რეფრაქციის საშუალებით რისი დადგენა შეგვიძლია?

I.2. სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა

ორი ერთმანეთთან წონასწორობაში მყოფი ფაზათა გამყოფი ზედაპირის თერმოდინამიკური მახასიათებელია **ზედაპირული დაჭიმულობა**. ეს არის ძალა, რომელიც ორი ფაზის გამყოფ ზედაპირზე წარმოიქმნება და მიისწრაფვის ზედაპირი შეამციროს მინიმუმამდე. თუ განვიხილავთ სითხე – ჰაერისაგან შემდგარ სისტემას, სითხეში მოთავსებული მოლეკულების ირგვლივ მისი მსგავსი მოლეკულებია, მათ შორის ურთიერთმიზიდვის ძალები ყველა მიმართულებით თანაბრად მოქმედებს. რის გამოც სითხე მომენტალურად არ ორთქლდება. სითხის ზედაპირზე მყოფ მოლეკულებს არ აქვთ მეზობელი მსგავსი მოლეკულები ჰაერის მხრიდან, ამიტომ ზედაპირულ შრეში ნაწილაკების მიზიდვის ძალა სითხის მხრიდან გაწონასწორებული არ არის, იგი მიმართულია სითხისკენ და ცდილობს მოჭიმოს ზედაპირი. ეს ძალა კომპენსირდება ზედაპირზე მყოფ მოლეკულებს შორის მანძილის შემცირებით. ამ ეფექტით ხდება ზედაპირული დაჭიმულობის ძალის ფორმირება, რომელიც სითხის ზედაპირის გასწვრივ მიქმედებს და სითხის ზედაპირზე თხელ, მკვრივ აფსკის წარმოქმნის.



სურათი 1. სითხე-ჰაერის შემხები ზედაპირი

სითხის წვეთი ყოველთვის ცდილობს მიიღოს უმცირესი ზედაპირი (სფეროს ფორმა, ეს თვალნათლივ ჩანს ერთმანეთში არახსნადი სითხეების შენჯღრევის დროს). ეს პროცესი დაკავშირებულია ზედაპირული თავისუფალი ენერჯის შემცირებასთან.

$$G = \sigma \cdot S, \quad (1)$$

სადაც G – ზედაპირული თავისუფალი ენერჯიაა, σ – ზედაპირული დაჭიმულობა, S – ზედაპირის ფართობია.

სითხის ზედაპირის ფართობის გასაზრდელად (მოლეკულის სიღრმიდან ზედაპირზე გადასატანად) ჭირდება გარე ძალის მიერ მუშაობის შესრულება. სუფთა სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა σ (როდესაც $P = \text{const.}$, $T = \text{const.}$) იმ მუშაობის W ტოლია, რომელიც საჭიროა ფაზათა გამყოფი ზედაპირის ფართობის ერთეულით გასაზრდელად.

$$dW = \sigma dS. \quad (2)$$

ზედაპირული დაჭიმულობის განზომილებაა ერგი/სმ²=დინი/სმ, ჯოული/მ² = ნიუტონი/მ.

ზედაპირული დაჭიმულობა ტემპერატურის გაზრდით მცირდება.

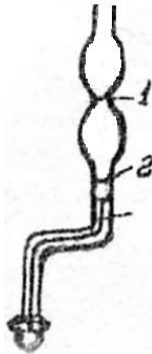
სუფთა სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა იცვლება მასში სხვადასხვა ნივთიერების გახსნის დროს. ნივთიერებას, რომელიც იწვევს სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის შემცირებას, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება ეწოდება (წყალი – ორგანული მჟავები, სპირტები, ალდეჰიდები, კეტონები, ეთერები, ზოგადად – ორგანული ნივთიერებები ნახშირწყალბადის რადიკალით და პოლარული ჯგუფით) ხოლო ნივთიერებას, რომელიც ზრდის ზედაპირულ დაჭიმულობას, ზედაპირულად

ინაქტიური ნივთიერება ეწოდება. (წყალი – არაორგანული მჟავები, ტუტეები, მარილები, გლიცერინი, შაქარი და სხვ.)

ზედაპირული დაჭიმულობა სხვადასხვა მეთოდით ისაზღვრება:

1. წვეთების დათვლის მეთოდით (სტალაგმომეტრული);
2. ჰაერის ბუშტის უდიდესი წნევის (რებინდერის) მეთოდით.

სტალაგმომეტრი წარმოადგენს პიპეტის მსგავს ჭურჭელს, (სურათი 1) გაფართოებული ნაწილით, რომელსაც ორი ჭდე აქვს (ზედა და ქვედა) სტალაგმომეტრი მთავრდება კაპილარით, რომლის ბოლოში მიხეხილი დისკოა (წვეთების თანაბარი ფორმირებისათვის)



სურათი 2. სტალაგმომეტრი

როგორც აღვნიშნეთ, ზედაპირული დაჭიმულობა არის ძალა, რომელიც მოქმედებს სითხის კონტურის ზედაპირზე. თუ სტალაგმომეტრის კაპილარის რადიუსია r , მისი კონტურის სიგრძე იქნება $2\pi r$. სითხის წვეთზე მოქმედი ძალა ტოლი იქნება $2\pi r\sigma$. წვეთის სიმძიმის ძალაა $V\rho g$ (V - წვეთის მოცულობაა, ρ - სითხის კუთრი წონა, g - სიმძიმის ძალის აჩქარება) წვეთი წარმოიქმნება, როდესაც წვეთის სიმძიმის ძალა გაუტოლდება მის ამწევ ძალას

$$V\rho g = 2\pi r\sigma. \quad (3)$$

როდესაც წვეთის სიმძიმის ძალა გადააჭარბებს წვეთის შემაკავებელ ძალას, წვეთი დისკოს მოწყდება.

სტალაგმომეტრის გაფართოებული ნაწილის მოცულობა ჭდეებს შორის აღვნიშნოთ V - თი. ამ მოცულობიდან ჩამოდინებული წვეთების რიცხვი n -ით, წვეთის მოცულობა იქნება $\frac{V}{n}$ თუ ამ მნიშვნელობას შევიტანთ მე-3 განტოლებაში, მივიღებთ:

$$2\pi r\sigma = \frac{V}{n}\rho g \quad \text{აქედან,}$$

$$\sigma = \frac{V\rho g}{n2\pi r}. \quad (4)$$

ვინაიდან ამ ფორმულით ზედაპირული დაჭიმულობის განსაზღვრა სირთულეებთან არის დაკავშირებული, (თითოეული სტალაგმომეტრისათვის მისი გაფართოებული ნაწილის მოცულობა ჭდეებს შორის V და კაპილარის რადიუსი r ინდივიდუალურია) ზედაპირული დაჭიმულობა შეიძლება გაიზომოს ცნობილი ზედაპირული დაჭიმულობის მქონე სტანდარტული სითხის მიმართ. ასეთ სითხედ ვიღებთ გამოხდილ წყალს. წყლისთვის ზედაპირული დაჭიმულობა აღვნიშნოთ σ_0 -ით, სიმკვრივე ρ_0 -ით, წვეთების რიცხვი n_0 -ით წყლისათვის ზედაპირული დაჭიმულობა ტოლი იქნება:

$$\sigma_0 = \frac{V\rho_0 g}{n_0 2\pi r}, \quad (5)$$

მე-4 და მე-5 განტოლებების შეფარდებით მივიღებთ:

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{\rho n_0}{\rho_0 n}, \quad \sigma = \sigma_0 \frac{\rho n_0}{\rho_0 n}, \quad (6)$$

ზედაპირული დაჭიმულობა ფარდობითი სიდიდეა.

ექსპერიმენტული ნაწილი

სამუშაოს მიზანია: I.1.1. ეთილის სპირტის ხსნარის ზედაპირული დაჭიმულობის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების განსაზღვრა

ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივები:

სტალაგმომეტრი; 4 ქიმიური ჭიქა, შტატივი ;

გამოხდილი წყალი; 12%, 20%, 30%-იანი ეთილის სპირტი.

სხვადასხვა კონცენტრაციის (12%, 20%, 30%) ეთილის სპირტის ზედაპირული დაჭიმულობის განსასაზღვრად უნდა დავთვალოთ სტალაგმომეტრის ჭდეებს შორის არსებული წყლისა და სხვადასხვა კონცენტრაციის ეთილის სპირტის წვეთების რიცხვი.

ამისათვის სტალაგმომეტრში ამოვწოვთ გამოხდილ წყალს ისე, რომ წყლის დონე აცდეს ზედა ჭდეს. ვითვლით ზედა ჭდიდან ქვედა ჭდემდე თვითდინებით ჩამომავალი წყლის წვეთების რიცხვს n -ს 3-ჯერ. იმავეს ვიმეორებთ სხვადასხვა კონცენტრაციის ეთილის სპირტისათვის n . მიღებული მონაცემებიდან ვიღებთ საშუალო მნიშვნელობას და ვანგარიშობთ თითოეული კონცენტრაციისათვის ზედაპირულ დაჭიმულობას: $\sigma = \sigma_0 \frac{\rho n_0}{\rho_0 n}$. შედეგები შეგვაქვს ცხრილში.

წყლის და ეთილის სპირტის კუთრ წონებს, წყლის ზედაპირულ დაჭიმულობას ვიღებთ სტანდარტული ცხრილებიდან.

მიღებული შედეგებით ვაგებთ ეთილის სპირტის კონცენტრაციასა და ზედაპირულ დაჭიმულობას შორის დამოკიდებულების გრაფიკს.

ეთილის სპირტის ზედაპირული დაჭიმულობის დამოკიდებულება ხსნარის კონცენტრაციაზე

ცხრილი 1

№	ხსნარის დასახელება	წვეთების რიცხვი n	კუთრი წონა, ρ	ზედაპირული დაჭიმულობა σ
1	წყალი		0,998	71,56
2	12% ეთილის სპირტი		0,982	
3	20% ეთილის სპირტი		0,968	
4	30% ეთილის სპირტი		0,948	

საკონტროლო კითხვები:

1. რა არის ზედაპირული დაჭიმულობა?
2. როგორია ზედაპირული დაჭიმულობის განზომილება?
3. რას ეწოდება ზედაპირულად აქტიური, იანქტიური ნივთიერება?
4. როგორ იცვლება ზედაპირული დაჭიმულობა ტემპერატურის გაზრდით?

5. რას წარმოადგენს სტაღმომერტი?

6. როგორ იცვლება ზედაპირული დაჭიმულობა კონცენტრაციის გაზრდით?

I.3. სპექტროფოტომეტრია

ნივთიერებების შედგენილობის ან რაოდენობის განსაზღვრისთვის ფართოდ გამოიყენება **ფოტომეტრული მეთოდი**, რომელიც ეფუძნება სპექტრის ხილულ უბანში საკვლევი ნივთიერების ან ნივთიერებათა ჯგუფის მიერ ელექტრომაგნიტური ტალღების სხივის შთანთქმას.

ხილული სინათლე წარმოადგენს ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას, რომელსაც აღიქვამს ადამიანის თვალი (380-750 ნმ ტალღის სიგრძით). კვანტურ ფიზიკაში კი სინათლე განიხილება, როგორც კორპუსკულების/ფოტონების ნაკადი. მას მხოლოდ მოძრაობის მასა აქვს. ელექტრომაგნიტურ სხივს ახასიათებს კორპუსკულურ-ტალღური დუალიზმი.

სინათლის გავლისას ხსნარში ხდება ფოტონების ურთიერთქმედება ხსნარის მოლეკულებთან, რის შედეგად ფოტონების ნაკადი შეიცვლის მოძრაობის მიმართულებას, გაიზიარება გარემოში ან ნაწილობრივ შთანთქმდება ხსნარის მოლეკულების მიერ.

მოლეკულა, რომელიც შთანთქავს სინათლის კვანტს გადადის „აგზნებულ“ მდგომარეობაში, ძირითადი დონიდან უფრო მაღალი ენერგიების მქონე დონეებზე, რის გამოც იწყებს ინტენსიურ მოძრაობას. 10^{-8} - 10^{-3} წმ-ის შემდეგ ის ისევ სტაბილურ მდგომარეობაში გადადის და მანამდე შთანთქმულ ენერგიას გამოასხივებს ელექტრომაგნიტური ტალღის სახით.

მოლეკულას შეუძლია შთანთქას ან გამოასხივოს ენერგია, თუ იგი გადადის ერთი ენერგეტიკული მდგომარეობიდან მეორეში.

ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ენერგიების განაწილებას ტალღის სიგრძის ან სიხშირის მიხედვით სპექტრი ეწოდება.

ნებისმიერი ნივთიერების სპექტრი წარმოადგენს გრაფიკს (პიკი, ზოლი, მრუდი), სადაც აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია ტალღის სიგრძე ან სიხშირე, ხოლო ორდინატაზე - შთანთქმის ინტენსიურობა, ან ოპტიკური სიმკვრივე ან ოპტიკური გამტარობა.

საკვლევი ნივთიერების მოლეკულების (ატომების) შთანთქმის სპექტრების გადაღება და შესწავლა შესაძლებელია სპექტრალური ანალიზის საშუალებით, რომლის მიხედვით განისაზღვრება ნივთიერების თვისებითი და რაოდენობითი შედგენილობა.

თვისებითი სპექტრალური ანალიზით ხდება საკვლევ ნივთიერებაში არსებული ცალკეული ელემენტების, ქიმიური ჯგუფების ან კომპონენტების იდენტიფიცირება. ყველა სუფთა ნივთიერებას აქვს მისთვის დამახასიათებელი შთანთქმის სპექტრი.

რაოდენობითი სპექტრალური ანალიზი დაფუძნებულია ბუგერ-ლაბერტ-ბერის კანონზე, რომლის თანახმად, ხსნარის მიერ შთანთქმული სხივის ინტენსიურობა დამოკიდებულია ხსნარის კონცენტრაციასა და ხსნარის ფენის სისქეზე. ხსნარში გასული სხივის ინტენსიურობა (I) დაცემული სხივის I_0 ინტენსიურობაზე უფრო მცირეა. ინტენსიურობის კლება დამოკიდებულია მშთანთქმელი მოლეკულების რიცხვზე, ე.ი. ხსნარის ფენის სისქესა (d) და გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციაზე (C). ბუგერ-ლაბერტ-ბერის კანონის თანახმად

$$I = I_0 10^{-\varepsilon dc}, \quad (1)$$

სადაც, I - სითხეში ან ხსნარში გასული სხივის ინტენსიურობაა;

I_0 - დაცემული სხივის ინტენსიურობა;

ε - შთანთქმის (ექსტინქციის) კოეფიციენტი;

d - ხსნარის ფენის სისქე;

c - გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაცია.

მარტივი მათემატიკური გარდაქმნის შედეგად მიიღება განტოლება:

$$\frac{I_0}{I} = 10^{\varepsilon dc}, \quad (2)$$

სადაც $\frac{I_0}{I}$ ფარდობითი გამტარობა, რომელიც იცვლება 0-1-მდე (ან 0-100%).

უფრო მოსახერხებელია ამ განტოლების ლოგარითმული ფორმით სარგებლობა:

$$\lg \frac{I_0}{I} = \varepsilon dc = D, \quad (3)$$

სადაც D - ოპტიკური სიმკვრივეა, რომელიც ხსნარში სინათლის გავლისას მისი ინტენსივობის შესუსტებას ახასიათებს.

ბუგერ-ლაბერტ-ბერის კანონი მართებულია ნებისმიერი სისქის ფენისთვის, თუ:

1. დაცემული სხივი მონოქრომატულია, ე.ი. ხასიათდება ერთი გარკვეული ტალღის სიგრძით ან რხევის სიხშირით;
2. გახსნილი ნივთიერება არ განიცდის დისოციაციას ან ასოციაციას.

ფოტომეტრული გაზომვების დროს გამოყენებული აპარატურის მიხედვით განასხვავებენ სპექტროფოტომეტრულ, კოლორიმეტრულ და ფოტოკოლორიმეტრულ ანალიზს.

სპექტროფოტომეტრული ანალიზით იზომება ნივთიერების მიერ გარკვეული ტალღის სიგრძის მონოქრომატული სინათლის შთანთქმა გარკვეულ ოპტიკურ (ხილულ, ულტრაიისფერ და ინფრაწითელ) უბანში (200-1100 ნმ დიაპაზონი).

კოლორიმეტრული ანალიზით ხდება გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციის განსაზღვრა, რომელიც ემყარება საკვლევი და სტანდარტული ხსნარების შეფერვის ოპტიკური მახასიათებლის (ინტენსიურობა, ოპტიკური სიმკვრივე, ოპტიკური გამტარობა) შედარებას. უფერული საკვლევი ხსნარის შემთხვევაში ხდება მისი შეფერვა (ან ფერის გაძლიერება) შესაბამისი რეაქტივების დამატებით.

ფოტოკოლორიმეტრული ანალიზი - ნივთიერების მიერ არამონოქრომატული გამოსხივების შთანთქმის შესწავლის ანალიზია. შუქშიფილტრით გამოყოფილ ტალღის სიგრძის გარკვეულ ინტერვალში იზომება ოპტიკური სიმკვრივე.

ექსპერიმენტული ნაწილი

სამუშაოს მიზანია: I.3.1. სპილენძის სულფატის ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ხსნარის კონცენტრაციის განსაზღვრა ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით ხელსაწყო, ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივი.

КФК-2 ტიპის ერთსხივიანი ფოტოკოლორიმეტრი (ფეკ); კიუვეტების ნაკრები; 10 ც მზომი მიხეხილსაცობიანი კოლბები (100 მლ); ქიმიური ჭიქები (25 მლ); პიპეტები (1 მლ, 10 მლ და 25 მლ); ანალიზური სასწორი ВЛА-200-М; წვრილწონაკები, შპატელი; გამოხდილი წყალი; კონცენტრირებული გოგირდმჟავა; სპილენძის სულფატი $CuSO_4 \cdot 5H_2O$; 10% ამიაკის ხსნარი, ეთერ-სპირტიანი ნარევი.

კოლორიმეტრული მეთოდით ხსნარის კონცენტრაციის განსაზღვრად იყენებენ КФК-2 ტიპის ერთსხივიან ფოტოკოლორიმეტრს (ფეკ). შუქფილტრების საშუალებით ხორციელდება გამოსხივების ნაკადის მონოქრომატიზაცია.

ხელსაწყოს დანიშნულებაა ხსნარის (ფერადი, ემულსიური, კოლოიდური) ოპტიკური სიმკვრივის ან შუქგამტარობის კოეფიციენტის განსაზღვრა შუქფილტრების საშუალებით 315-980 ნმ დიაპაზონის ტალღის სიგრძის კონკრეტულ უბანზე, ოპტიკური სიმკვრივის გაზომვის ზღვრებია 0-დან 1-მდე, ხოლო შუქგამტარობის კოეფიციენტის – 0-100%-მდე.

ხელსაწყოს აღწერა

ხელსაწყოს კორპუსში დამონტაჟებულია შემდეგი კვანძები (სურათი 1):



სურათი 1. ფოტოკოლორიმეტრი КФК-2.

1. სარეგისტრაციო სკალა (ზედა - შუქგამტარობის კოეფიციენტი (T), ქვედა - ოპტიკური სიმკვრივე (D)); 2. ჩამრთველი („წითელი“ ღილაკი“); 3. შუქფილტრის გადამრთველი; 4. სახელური კიუვეტების გადასადგილებლად; 5. მგრძნობიარობის გადამრთველი; 6. მგრძნობიარობის გადამრთველები: „უხეში“ და „ზუსტი“; 7. კიუვეტების ჩასადები (განყოფილება) სახურავით.

შუქფილტრები. შუქფილტრის დანიშნულებაა გაატაროს სპექტრის გარკვეული უბნის სხივები. ფოტოკოლორიმეტრში, სპექტრის ხილული უბნიდან გარკვეული ტალღის სიგრძის სხივის გამოსაყოფად, დაყენებულია სინათლის მშთანქმელები - შუქფილტრები, რომლებიც ატარებენ მხოლოდ გარკვეული ტალღის სიგრძის სხივებს, რომელსაც მთანთქავს ხსნარი, ხოლო დანარჩენს აკავებენ. შუქფილტრი ისე უნდა შეირჩეს, რომ ამ უბანში ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე იყოს მაქსიმალური.

თუ მუშაობის პროცესში შუქფილტრი უნდა შეიცვალოს სხვა შუქფილტრით, მაშინ გაზომვა უნდა ჩატარდეს ფილტრის გამოცვლიდან 5 წთ-ის შემდეგ.

ხსნარის ფერი	ხსნარის მიერ მაქსიმალური შთანთქმისუბანი, ნმ.	შუქფილტრის ფერი
მოყვითალო-მწვანე	400-450	იისფერი
ყვითელი	450-480	მომწვანო- ლურჯი
წითელი	490-500	მოლურჯო- მწვანე
ალისფერი წითელი	500-560	მწვანე
იისფერი	560-575	მოყვითალო- მწვანე
ლურჯი	575-590	ყვითელი
მომწვანო-ლურჯი	590-625	ნარინჯისფერი
მოლურჯო მწვანე	625-700	წითელი

კიუვეტი. კიუვეტი დამზადებულია გამჭირვალე კვარცის მინისაგან, რომლის კედლის სისქეა 0,1-0,5 სმ. სამუშაოდ ირჩევენ იმ კიუვეტს, რომელითაც ოპტიკური სიმკვრივის მნიშვნელობა იცვლება 0,15-0,52 ზღვრებში. კიუვეტების შერჩევა დამოკიდებულია საანალიზო ხსნარის შეფერვის ინტენსივობაზე. რაც უფრო მეტია შეფერვის ინტენსივობა, მით ნაკლები ზომის კიუვეტი გამოიყენება. მუქი გამჭირვალე ხსნარების შემთხვევაში გამოიყენება კიუვეტები, რომელთა სიგრძე 1-5 მმ-ია, გამჭირვალე ხსნარების შემთხვევაში კი კიუვეტები, რომელთა სიგრძე 20-50 მმ-ია. კიუვეტში უნდა მოხდეს ხსნარის ჩასხმა ნიშნულამდე. ყოველი გაზომვის წინ კიუვეტების მუშა ზედაპირები გულდასმით უნდა გაიწმინდოს ეთერ-სპირტიანი ნარევით. კიუვეტდამჭერში კიუვეტის მოთავსების დროს არ შეიძლება მუშა ზედაპირზე თითებით შეხება (ე.ი. კიუვეტში ჩასხმული ხსნარის დონეზე ქვევით), რათა არაზუსტი მაჩვენებლები არ მივიღოთ.

ფოტოკოლორიმეტრზე მუშაობის მეთოდიკა

- „წითელი“ ღილაკის (2) საშუალებით ჩავრთოთ ხელსაწყო ელექტრულ ქსელში;
- მუშაობის დაწყებამდე აუცილებელია შუქფილტრის გადამრთველი (3) დავაყენოთ საჭირო ტალღის სიგრძეზე;
- თუ გაზომვა ხდება ტალღის სიგრძის:
 1. 315-540 ნმ-ის დიაპაზონში, მაშინ მგრძნობიარობის გადამრთველი (5) უნდა დავაყენოთ შავი ფერის „1“, „2“, ან „3“ ციფრებიდან ერთ-ერთზე;
 2. 590-980 ნმ-ის დიაპაზონში, მაშინ მგრძნობიარობის გადამრთველი (5) უნდა დავაყენოთ წითელი ფერის „1“, „2“, ან „3“ ციფრებიდან ერთ-ერთზე;
- მგრძნობიარობის გადამრთველი „უხეში“ (6) გადავწიოთ ბოლომდე მარცხენა მხარეს;
- კიუვეტები შესადარებელი და საკვლევი ხსნარებით მოვათავსოთ კიუვეტების ჩასადებში (განყოფილებაში) (7) და დავხუროთ სახურავით;
- თავდაპირველად, სინათლის სხივი გავატაროთ კიუვეტში შესადარებელი ხსნარით. ამისათვის, მგრძნობიარობის გადამრთველი „უხეში“ და „ზუსტი“ (6) ვაბრუნოთ ისე, რომ სარეგისტაციო სკალის (1) ზედა T (შუქგამტარობის კოეფიციენტი) სკალაზე მიკროამპერმეტრის ისარი დადგეს „100“-ზე. შემდეგ

გადავრთოთ ხსნარზე კიუვეტების გადასაადგილებელი სახელურით (4) და ავითვალოთ სარეგისტრაციო სკალის (1) ქვედა D სკალაზე ოპტიკური სიმკვრივე;

- გაზომვა გავიმეოროთ 3–5 –ჯერ და გამოვთვალოთ საშუალო არითმეტიკული;
- გამორთვისას შუქფილტრის გადამრთველი (3) დავაყენოთ მინიმალურ მგრძნობიარობაზე, ე.ი. „1“-ზე, ხოლო მგრძნობიარობის გადამრთველი „უხეში“ (6) გადავწიოთ მარცხენა მხარეს ბოლომდე და ამის შემდეგ გამოვრთოთ ელექტრული ქსელიდან.

ხსნარის კონცენტრაციის განსაზღვრა ფოტოკოლორიმეტრის გამოყენებით შესაძლებელია:

1. გრაფიკული მეთოდით;
2. დამატების მეთოდით;
3. გათანაბრების მეთოდით.

ხსნარის კონცენტრაციის განსაზღვრა გრაფიკული მეთოდით. ნივთიერების კონცენტრაციის განსაზღვრისთვის აუცილებელია ამ ნივთიერების ცნობილი კონცენტრაციისა და ოპტიკური სიმკვრივის დამოკიდებულების საკალიბრებელი მრუდის აგება.

სათანადო შუქფილტრისა და კიუვეტის შერჩევის შემდეგ იზომება სტანდარტული ხსნარების ოპტიკური სიმკვრივეები და იგება საკალიბრებელი მრუდი, სადაც აბსცისათა ღერძზე გადაიზომება სტანდარტული ხსნარების კონცენტრაციები, ხოლო ორდინატაზე – ამ კონცენტრაციების შესაბამისი ოპტიკური სიმკვრივეები.

საკალიბრებელი მრუდის აგების შემდეგ იზომება უცნობი კონცენტრაციის ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე იმავე ზომის კიუვეტში იმავე შუქფილტრით, რომლითაც მიღებულია საკალიბრებელი მრუდი. ორდინატაზე პოულობენ უცნობი კონცენტრაციის ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის მნიშვნელობას, საიდანაც ფიქსირდება ამ წერტილის შესაბამისი პროექცია ჯერ მრუდზე, შემდეგ აბსცისაზე, რაც შეესაბამება საანალიზო ნივთიერების კონცენტრაციას.

I.3.1. სპილენძის სულფატის ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ხსნარის კონცენტრაციის განსაზღვრა ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით

სპილენძის სულფატის ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ხსნარის დამზადება. მზადდება ცნობილი კონცენტრაციის სტანდარტული ხსნარები რისთვისაც უნდა ავწონოთ საკვლევი ნიმუში (0,28-0,30გ) $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ მოვათავსოთ 200 მლ-იან საზომ კოლბაში, დავამატოთ მცირე რაოდენობით გამოხდილი წყალი, 1 მლ კონცენტრირებული გოგირდმჟავა (ჰიდროლიზის თავიდან ასაცილებლად) და ხსნარის მოცულობა 200 მლ-მდე შევავსოთ გამოხდილი წყლით.

ხსნარის ტიტრს საზღვრავენ სპილენძის იონის მიხედვით

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ -ის მოლეკულური მასა - $M_{CuSO_4 \cdot 5H_2O} = 249,6$;

Cu^{+2} -ის ————— მასა - $A_{Cu^{+2}} = 63,56$;

აღებული წონაკის მასა - $a_{აღ.წ} = 0,28 - 0,30$.

$M_{CuSO_4 \cdot 5H_2O} = 249,6$ ----- $A_{Cu^{+2}} = 63,56$;

$$a_{\text{დ.წ}} = 0,28 - 0,30 \text{ ----- } g_{Cu^{+2}} \cdot$$

$$g_{Cu^{+2}} = \frac{a \cdot 63,56}{249,6} \text{ (გ)} \quad (8), \quad T = \frac{g_{Cu^{+2}}}{200} \text{ (გ/მლ)}. \quad (9)$$

სტანდარტული ხსნარების დამზადება. ცნობილი კონცენტრაციის სტანდარტული ხსნარების დასამზადებლად (რომელთა ფარგლებში იმყოფება საანალიზო ნივთიერების კონცენტრაცია), 100 მლ-იან ექვს სხვადასხვა კოლბაში მოვათავსოთ 10, 15, 20, 25, 30, 35 მლ სპილენძის სულფატის $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ხსნარი. თითოეულ კოლბაში დავამატოთ 20 მლ 10% ამიაკის ხსნარი და შევავსოთ 100 მლ-მდე გამოხდილი წყლით. ამიაკს ვამატებთ ხსნარის შეფერილობის ინტენსიურობის გაზრდის მიზნით.

შესადარებელი ხსნარების დამზადება. 100 მლ-იან კოლბაში მოვათავსოთ 20 მლ 10% ამიაკის ხსნარი და ჭდემდე (100 მლ-მდე) შევავსოთ გამოხდილი წყლით.

სტანდარტული ხსნარების ოპტიკური სიმკვრივის განსაზღვრა. გავზომოთ ექვსივე სტანდარტული ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე შესადარებელი ხსნარის მიმართ. მიღებული მონაცემები შევიტანოთ ცხრილ 1-ში.

უცნობი კონცენტრაციის სპილენძის სულფატის ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის განსაზღვრა.

სტანდარტული ხსნარების ოპტიკური სიმკვრივის განსაზღვრის ანალოგიურად, ვზომავთ უცნობი კონცენტრაციის სპილენძის სულფატის ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს.

ცხრილი 1

N	სტანდარტული ხსნარები						უცნობი კონცენტრაციის ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ხსნარი
	1 (Tx10)	2 (Tx15)	3 (Tx20)	4 (Tx25)	5 (Tx30)	6 (Tx35)	
ოპტიკური სიმკვრივე D							
სპილენძის შემცველობა, Cu^{+2} გ							

უცნობი კონცენტრაციის სპილენძის სულფატის ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ხსნარის კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის:

1. ვაგებთ საკალიბრებელ მრუდს, აბსცისათა ღერძზე გადაიზომება სტანდარტული ხსნარების კონცენტრაციები Cu^{2+} (გ), ხოლო ორდინატაზე - ამ კონცენტრაციების შესაბამისი ოპტიკური სიმკვრივეები (D).
2. ორდინატაზე მოიძებნება უცნობი კონცენტრაციის სპილენძის სულფატის ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის მნიშვნელობა, საიდანაც ფიქსირდება ამ წერტილის შესაბამისი პროექცია ჯერ მრუდზე, შემდეგ აბსცისაზე, რაც შეესაბამება ხსნარის კონცენტრაციას.

1. რას ეფუძვნება ფიტომეტრული მეთოდი?
2. რით ხასიათდება ელექტრომაგნიტური სხივი?
3. რას წარმოადგენს ნივთიერების სპექტრი?
4. ჩამოაყალიბეთ ბუგერ-ლაბერტ-ბერის კანონი და რა შემთხვევაშია ეს კანონი მართებული?
5. რა იზომება ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით?

II. ქიმიური თერმოდინამიკა

II.1. თერმოქიმია

თერმოდინამიკა შეისწავლის ენერჯიის ერთი ფორიდან მეორეში გარდაქმნას, ენერჯიის ეფექტურ გამოყენებას, მისი სასარგებლო მუშაობად გარდაქმნის მიზნით. თერმოდინამიკა ბერძნული სიტყვაა, „თერმო“ ნიშნავს სითბოს, ხოლო „დინამო“ – ძალას. ქიმიური თერმოდინამიკის საშუალებით შეიძლება გავიგოთ, წარმართება თუ არა რეაქცია, სადამდე წარმართება და მიაღწევს თუ არა წონასწორულ მდგომარეობას, ასევე განვსაზღვროთ ქიმიური პროცესის ენერგეტიკული ბალანსი. თერმოდინამიკა არ შეისწავლის ამა თუ იმ პროცესის გამომწვევ მიზეზებს, დროს, რომლის განმავლობაშიც იგი მიმდინარეობს, მაგრამ საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ნებისმიერი ფიზიკურ-ქიმიური პროცესის საწყისი და საბოლოო პარამეტრები.

ქიმიურ თერმოდინამიკას აქვს პრაქტიკული მნიშვნელობა: მისი კანონებისა და კანონზომიერებების საფუძველზე პოულობენ იმ პარამეტრების რიცხვით მნიშვნელობებს, რომლებიც იძლევა რაოდენობრივ წარმოდგენას მიმდინარე პროცესებზე. ერთ-ერთ ასეთ პარამეტრს წარმოადგენს სითბო, რომელიც გამოიყოფა ან შთაინთქმება ქიმიური ან ფიზიკურ-ქიმიური პროცესის დროს.

პრაქტიკაში ვხვდებით ქიმიურ და ბიოქიმიურ პროცესებს. გარდაქმნებს, რომლებსაც თან ახლავს სითბოს გამოყოფა ან შთანთქმა. ქიმიურ რეაქციებთან დაკავშირებული სხვადასხვა ტექნოლოგიური პროცესის ენერგეტიკული დანახარჯის განსაზღვრა შესაძლებელია სითბური ეფექტების გათვალისწინებით, რასაც სწავლობს თერმოქიმია. ენერჯიის მუდმივობის კანონი გამორიცხავს გარემოს შეცვლის შესაძლებლობას. სითბური ეფექტი შეიძლება გამოითვალოს იმ კანონზომიერებების გათვალისწინებით, რომლებსაც თერმოდინამიკის I კანონი გვთავაზობს. მოვიყვანოთ მისი რამდენიმე ფორმულირება:

1. ენერჯია არაფრისაგან არ წარმოიქმნება და არც უკვალოდ ქრება, ერთი სახის ენერჯია გარდაიქმნება სხვა სახის ენერჯიად – ეს ბუნების ფუნდამენტური კანონია (ენერჯიის შენახვისა და გარდაქმნის კანონი - მაიერი);
2. ერთი სახის ენერჯია გარდაიქმნება სხვა სახის ენერჯიად ზუსტად ეკვივალენტური რაოდენობით (ჯოული, მაიერი).

თერმოდინამიკის I კანონის მათემატიკური გამოსახულებაა

$$\delta q = dU + \delta W . \quad (1)$$

თუ სისტემას უსასრულოდ მცირე სითბოს δq - ს გადავცემთ, შიგა ენერჯიის ნამატი იქნება dU , შესრულებული მუშაობა კი - δW

$$dU = \delta q - \delta W . \quad (2)$$

U არის სისტემის შიგა ენერჯია - მოცემული სისტემის შემადგენელი ყველა ნაწილაკის პოტენციური და კინეტიკური ენერჯიების ჯამი, იგი არ მოიცავს მთელი სისტემის პოტენციურ და კინეტიკურ ენერჯიებს. თუ უგულებელვყოფთ სისტემის ნაწილაკების ერთმანეთთან ურთიერთქმედებას, შიგა ენერჯია ადიტიური სიდიდე იქნება. სისტემის ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლისას შიგა ენერჯია იცვლება $\Delta U = U_2 - U_1$. შიგა ენერჯიის ცვლილება დამოკიდებულია სისტემის საწყის და საბოლოო მდგომარეობებზე და არა პროცესის მიმდინარეობის გზაზე ან საშუალებაზე, რომლითაც სისტემა მივიდა მოცემულ მდგომარეობამდე. შიგა ენერჯიის აბსოლუტური მნიშვნელობის განსაზღვრა შეუძლებელია, საზღვრავენ მის ცვლილებას, შიგა ენერჯიის

ცვლილება წარმოადგენს dU სრულ დიფერენციალს. შიგა ენერჯის განზომილებაა: ჯ/მოლი, კჯ/მოლი, კალ/მოლი, კკალ/მოლი.

δq და δW არასრული დიფერენციალებია და არ გვიჩვენებს მათ ცვლილებას. δq არის გამოყოფილი ან შთანთქმული მცირე სიდიდის სითბო (მისი განზომილებაა: ჯ, კჯ, კალ, კკალ). δW შესრულებული მცირე მუშაობაა (მისი განზომილებაა: ჯ, კჯ, კალ, კკალ). δq და δW დამოკიდებულია პროცესის მიმდინარეობის გზაზე, ისინი არ წარმოადგენს მდგომარეობის ფუნქციას; ეს არის შიგა ენერჯის, სითბოსა და მუშაობის განსხვავების საფუძველი.

მუდმივი წნევის პირობებში მიმდინარე პროცესებისათვის შიგა ენერჯის ნაცვლად ვსარგებლობთ **ენტალპიით** (H). ენტალპია არის სისტემის მდგომარეობის ფუნქცია. მას სითბოსშემცველობასაც უწოდებენ. ენტალპიის ცვლილება დამოკიდებულია სისტემის საწყის და საბოლოო მდგომარეობაზე და არა პროცესის მიმდინარეობის გზაზე. შიგა ენერჯის მსგავსად, განსაზღვრავენ მის ცვლილებას $\Delta H = H_2 - H_1$ და არა აბსოლუტურ მნიშვნელობას; მისი განზომილებაა: ჯ/მოლი, კჯ/მოლი, კალ/მოლი, კკალ/მოლი.

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V . \quad (3)$$

ΔH და ΔU განსხვავებულია აირებში, ხოლო მყარ და თხევად სისტემებში ΔU - 5%-ით ნაკლებია ΔH -ზე, რადგან წნევის გავლენით მოცულობა უმნიშვნელოდ იცვლება.

ქიმიური თერმოდინამიკის ნაწილს, რომელიც ქიმიური რეაქციების, ფაზური გარდაქმნების, ნივთიერების გახსნის და სხვ. სითბურ ეფექტებს სწავლობს **თერმოქიმია** ეწოდება.

ქიმიური რეაქციის სითბური ეფექტი არის სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც გამოიყოფა ან შთანთქმება რეაქციის დროს, როდესაც სისტემაში არავითარი მუშაობა არ სრულდება, გარდა გაფართოების მუშაობისა და რეაქციის პროდუქტებს იგივე ტემპერატურა აქვთ, რაც საწყის ნივთიერებებს.

რეაქციის სითბური ეფექტი არის შიგა ენერჯის ცვლილება ΔU მუდმივი მოცულობის პირობებში ან ენტალპიის ცვლილება ΔH მუდმივი წნევის პირობებში.

ქიმიურ რეაქციებს, სადაც მითითებულია რეაქციის სითბური ეფექტი, თერმოქიმიური განტოლება ეწოდება

$$mM + nN = fF + eE + Q . \quad (4)$$

თერმოქიმიაში:

1. ეგზოთერმული რეაქციის დროს გამოყოფილი სითბო (Q) - დადებითია;
2. ენდოთერმული რეაქციის დროს გამოყოფილი სითბო (Q) - უარყოფითია.

თერმოდინამიკაში:

1. ეგზოთერმული რეაქციის დროს გამოყოფილი სითბო - უარყოფითია;
2. ენდოთერმული რეაქციის დროს გამოყოფილი სითბო - დადებითია.

$$\Delta U = -Q_v ; \quad \Delta H = -Q_p . \quad (5)$$

ჰესის მიერ (1840 წ) აღმოჩენილი და ექსპერიმენტულად დასაბუთებული კანონი, წარმოადგენს თერმოდინამიკის პირველი კანონის ფორმულირებას ქიმიური რეაქციისათვის. **ჰესის კანონის თანახმად**, რეაქციის სითბური ეფექტი დამოკიდებულია სისტემის საწყის და საბოლოო მდგომარეობებზე და არა რეაქციის მიმდინარეობის გზაზე.

ჰესის კანონიდან გამომდინარეობს ორი მნიშვნელოვანი შედეგი, რომლის საშუალებით შეიძლება განვსაზღვროთ ნებისმიერი რეაქციის სითბური ეფექტი

ექსპერიმენტის ჩატარების გარეშე, თუ ცნობილია რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებების წარმოქმნის ΔH^0 ან წვის $\Delta H_{წვ}$ სითბო.

წარმოქმნის სითბო ΔH^0 სითბოს ის რაოდენობაა, რომელიც გამოიყოფა ან შთაინთქმება მარტივი ნივთიერებებიდან 1 მოლი ნაერთის მიღებისას სტანდარტულ პირობებში ($T = 298 K$ ან $293 K$ ან $273 K$, $P = 101,3$ კპა).

წვის სითბო $\Delta H_{წვ}$ სითბოს ის რაოდენობაა, რომელიც გამოიყოფა 1 მოლი ნაერთის სრული წვისას ჭარბ ჟანგბადში.

ნაერთების წარმოქმნის და წვის სითბო სტანდარტულ პირობებში მოცემულია ცნობარებში.

ჰესის კანონის პირველი და მეორე შედეგი ასე ფორმულირდება:

1. რეაქციის სითბური ეფექტი არის მიღებული ნივთიერებების წარმოქმნის სითბოთა ჯამისა და აღებული ნივთიერებების წარმოქმნის სითბოთა ჯამის სხვაობა.

$$\Delta H = \sum \Delta H_{(მოლ)}^0 - \sum \Delta H_{(აღებ)}^0 \cdot \quad (6)$$

2. რეაქციის სითბური ეფექტი არის საწყისი ნივთიერებების წვის სითბოთა ჯამისა და მიღებული ნივთიერებების წვის სითბოთა ჯამის სხვაობა.

$$\Delta H = \sum (\Delta H_{წვ})_{საწვ} - \sum (\Delta H_{წვ})_{მოლ} \cdot \quad (7)$$

ნეიტრალიზაციის სითბო – სითბოს ის რაოდენობაა, რომელიც გამოიყოფა ერთი გრამეკვივალენტი მჟავას ერთ გრამეკვივალენტი ტუტით განეიტრალების დროს. ერთი გრამეკვივალენტი ძლიერი მჟავას ერთი გრამეკვივალენტი ძლიერი ტუტით განეიტრალებისას გამოიყოფა ერთი და იმავე რაოდენობის სითბო: 13,7 კკალ ან 57,1 კჯ.

გახსნის ინტეგრალური სითბო არის სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც შთაინთქმება ან გამოიყოფა 1 მოლი ნივთიერების ისეთი რაოდენობის გამხსნელში გახსნისას, როდესაც განსაზღვრული მოლურობის ხსნარი წარმოიქმნება.

გახსნის დიფერენციალური სითბო არის სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც შთაინთქმება 1 მოლი სუფთა ნივთიერების გახსნისას ისეთი რაოდენობის გამხსნელში, რომლის შემდგომ განზავებას აღარ მოჰყვება შესამჩნევი სითბური ეფექტი.

სხვადასხვა ქიმიური პროცესის სითბური ეფექტი შეიძლება განისაზღვროს ექსპერიმენტულად - კალორიმეტრული მეთოდით.

კალორიმეტრული ცდების დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს ტემპერატურის ზუსტად გაზომვას პროცესის დაწყებამდე (t_1) და პროცესის დამთავრების შემდეგ (t_2), რადგან სითბური ეფექტების გამოსათვლელ ფორმულაში შედის ტემპერატურის ცვლილება ($\Delta t = t_2 - t_1$) პროცესის დროს.

ექსპერიმენტული ნაწილი

სამუშაოს მიზანი: II.1. 1. კალორიმეტრის მუდმივას განსაზღვრა

II.1.2. ძლიერი მჟავის ძლიერი ტუტით განეიტრალების სითბოს განსაზღვრა.

II.1.3. მარილის გახსნის მოლური სითბის განსაზღვრა.

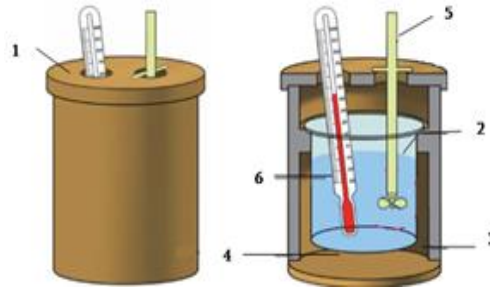
II.1.4. ჰიდრატაციის სითბოს განსაზღვრა.

ხელსაწყო, ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივები.

კალორიმეტრი და კალორიმეტრის ჭიქა; მინის სარეველა;

თერმომეტრი ($0^{\circ}C - 50^{\circ}C$); ფილტრის ქაღალდები;
 ანალიზური სასწორი; წონაკები; წამმზომი; შპატელი (ლითონის ან ფაიფურის);
 1 მენზურა (25 მლ); 2 მენზურა 500 მლ;
 $4N H_2SO_4$ -ის და $0,5N NaOH$ -ის ხსნარები;
 KCl ; $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$;
 $CuSO_4$; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$; გამოხდილი წყალი.

სითბური ეფექტის განსაზღვრა ხდება მარტივ კალორიმეტრში (სურათი 1).



სურათი 1. კალორიმეტრის სქემა

1. კალორიმეტრის სახურავი; 2. კალორიმეტრის ჭიქა; 3. ორმაგკედლიანი გარსაცმი; 4. ქვედა სადგამი; 5. მინის სარეველა; 6. თერმომეტრი.

კალორიმეტრი შედგება კალორიმეტრის ჭიქისაგან (2), რომელიც ჩადგმულია ორმაგკედლიან გარსაცმში (3). კალორიმეტრის სახურავში (1) ჩამაგრებულია მინის სარეველა (5) და თერმომეტრი (6). სურათზე 1 ნაჩვენებია კალორიმეტრი, რომლის დანიშნულებაც სარეაქციო არის იზოლაცია გარემოსგან, რათა მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი მათ შორის სითბოცვლა.

II.1. 1. კალორიმეტრის მუდმივას (K) განსაზღვრა

კალორიმეტრული გაზომვების დროს აუცილებელია დადგინდეს კალორიმეტრის მუდმივა K , რომელიც წარმოადგენს მთელი კალორიმეტრული სისტემის სითბოტევადობას. იგი ტოლია სითბოს იმ რაოდენობისა, რომელიც საჭიროა ერთი გრადუსით გასათბობად კალორიმეტრული სისტემის იმ ნაწილისა, რომელიც მონაწილეობს სითბომომოცვლაში:

$$K = P_1C_1 + P_2C_2 + P_3C_3 + \dots$$

სადაც $P_1, P_2, P_3 \dots$ - კალორიმეტრის, სარეველას, თერმომეტრის და სხვათა წონაა;

$C_1, C_2, C \dots$ - მათი მასალის ხვედრითი სითბოტევადობები;

კალორიმეტრის მუდმივას დასადგენად საჭიროა ექსპერიმენტულად განისაზღვროს რომელიმე მარილის, მაგალითად, კალიუმის ქლორიდის (KCl) გახსნის სითბო. ამისათვის კალორიმეტრის ჭიქაში ასხამენ 400 მლ გამოხდილ წყალს, აფარებენ სახურავს და ზომავენ წყლის საწყის ტემპერატურას. შემდეგ წინასწარ აწონილ 10 გ კალიუმის ქლორიდს ხსნიან წყალში და ზომავენ ხსნარის ტემპერატურას. ადგენენ ტემპერატურის ცვლილებას გახსნის დროს. KCl -ის წყალში გახსნის სითბური ეფექტი აიღება ტემპერატურის მიხედვით ცნობარებიდან ($19,7^{\circ}C$ -ზე $Q = 617$ კალ, ხოლო $25^{\circ}C$ -ზე - $Q = 568$ კალ).

მიღებული მონაცემების მიხედვით საზღვრავენ გახსნის სითბოს ფორმულით:

$$Q = (410 + K) \cdot \Delta t ,$$

სადაც Q - გახსნის სითბოა;

Δt - ტემპერატურის ცვლილება;

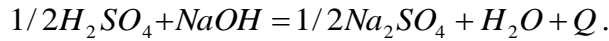
K - კალორიმეტრის მუდმივა.

აქედან

$$K = \frac{Q}{t} - 410 .$$

II.1.2. ძლიერი მჟავის ძლიერი ტუტით განეიტრალების სითბოს განსაზღვრა ცდის მსვლელობა

რეაქცია მჟავასა და ტუტეს შორის ჩაიწერება შემდეგნაირად:



რეაქციის დროს გამოყოფილი სითბო შედგება ნეიტრალიზაციის სითბოს და მჟავასა და ტუტის განზავების სითბოებისაგან

$$Q = Q_{\text{ნეიტრ}} + Q_{\text{განზ.(მჟავა)}} + Q_{\text{განზ.(ტუტე)}} \cdot (8)$$

თუ მჟავას საწყისი კონცენტრაცია ბევრად აღემატება ტუტის კონცენტრაციას და მჟავის მოცულობა ბევრად მცირეა ტუტის მოცულობაზე, ტუტის განზავების სითბო შეიძლება უგულებელვყოთ

$$Q = Q_{\text{ნეიტრ}} + Q_{\text{განზ.(მჟავა)}} \cdot (9)$$

მჟავის განზავების სითბოს გამოსათვლელად კალორიმეტრის ჭიქაში ასხამენ 200 მლ გამობდილ წყალს, აფარებენ სახურავს და იწყებენ ტემპერატურის გაზომვას 5-7 წუთის განმავლობაში ერთი წუთის ინტერვალით (საწყისი პერიოდი). ცდის შედეგები შეაქვთ ცხრილ 1-ში. შემდეგ კალორიმეტრიდან ჭიქის ამოღებულად, ამატებენ 25 მლ 4N H_2SO_4 -ის ხსნარს, აფარებენ სახურავს და მინის წკირით მორევის შემდეგ იწყებენ ხსნარის ტემპერატურის გაზომვას 5-7 წუთის განმავლობაში ერთი წუთის ინტერვალით (საბოლოო პერიოდი). ცდის შედეგები შეაქვთ ცხრილ 1-ში. ტემპერატურის ცვლილების განსაზღვრის შემდეგ მჟავის განზავების სითბოს ანგარიშობენ შემდეგი ფორმულით

$$Q_{\text{განზ.(მჟავა)}} = [(G + g) \cdot c + K] \cdot \Delta t \quad (10)$$

სადაც G - წყლის რაოდენობა; g - მჟავას რაოდენობა; c - ხსნარის სითბოტევადობა;

K - კალორიმეტრის მუდმივა; Δt - ტემპერატურის ცვლილება.

მჟავის განზავების სითბოს განსაზღვრა

ცხრილი 1

ანათვლებს შორის ინტერვალი	თერმომეტრის ჩვენება		ტემპერატურის ცვლილება, Δt	მჟავის განზავების სითბო, $Q_{\text{განზ}}$	შენიშვნა
	საწყისი პერიოდი	საბოლოო პერიოდი			
					წყლის რაოდენ. 200 მლ; 4N H_2SO_4 -ის რაოდენ. 25 მლ; ხსნარის კუთრი სითბოტევადობა $c = 0,98$ კალ/გ; კალორიმეტრის მუდმივა $K =$

შემდეგ კალორიმეტრის ჭიქას, რეცხავენ გამოხდილი წყლით და რეაქციის სითბური ეფექტის განსაზღვრის მიზნით, მასში ასხამენ 200 მლ 0,5N NaOH-ის ხსნარს, ათავსებენ კალორიმეტრში, აფარებენ სახურავს და იწყებენ ხსნარის ტემპერატურის გაზომვას 5-7 წუთის განმავლობაში ერთი წუთის ინტერვალით (საწყისი პერიოდი). ცდის შედეგები შეაქვთ ცხრილ 2-ში. შემდეგ კალორიმეტრიდან ჭიქის ამოუღებლად, უმატებენ 25 მლ 4N H₂SO₄-ის ხსნარს, აფარებენ სახურავს და მინის წკირით მორევის შემდეგ იწყებენ ხსნარის ტემპერატურის გაზომვას 5-7 წუთის განმავლობაში ერთი წუთის ინტერვალით (საბოლოო პერიოდი). ცდის შედეგები შეაქვთ ცხრილ 2-ში. ტემპერატურის ცვლილების განსაზღვრის შემდეგ რეაქციის დროს გამოყოფილი სითბოს გამოთვლება შემდეგი ფორმულით:

$$Q = [(G + g) \cdot c + K] \cdot \Delta t, \quad (11)$$

სადაც G - ტუტის მასაა; g - მჟავას მასა; c - ხსნარის სითბოტევადობა;

K - კალორიმეტრის მუდმივა; Δt - ტემპერატურის ცვლილება.

მჟავას ტუტით განეიტრალების სითბო გამოითვლება ფორმულით:

$$Q_{\text{ნეიტრ}} = Q - Q_{\text{განზ. (მჟავა)}} \cdot (12)$$

ექსპერიმენტის დროს აღებული მჟავისა და ტუტის (თითოეული) ხსნარი შეიცავს მჟავისა და ტუტის 0,1 გრამეკვივალენტს, ნეიტრალიზაციის სითბოს განსაზღვრად მიღებული სითბური ეფექტი $Q_{\text{ნეიტრ}}$ უნდა გამრავლდეს 10-ზე.

რეაქციის სითბური ეფექტის განსაზღვრა

ცხრილი 2

ანათვლებს შორის ინტერვალი	თერმომეტრის ჩვენება		ტემპერატურის ცვლილება, Δt	რეაქციის სითბური ეფექტი Q	შენიშვნა
	საწყისი პერიოდი	საბოლოო პერიოდი			
					0,5N NaOH-ის რაოდენ. 200 მლ; 4N H ₂ SO ₄ -ის რაოდენ. 25მლ ; ხსნარის კუთრი სითბოტევადობა $c = 0,98$ კალ/გ; კალორიმეტრის მუდმივა $K=$

II.1.3. მარილის გახსნის მოლური სითბოს განსაზღვრა

ცდის მსვლელობა

კალორიმეტრის ჭიქაში ასხამენ 400 მლ გამოხდილ წყალს, ათავსებენ კალორიმეტრში, აფარებენ სახურავს და იწყებენ წყლის ტემპერატურის გაზომვას 5-7 წუთის განმავლობაში ერთი წუთის ინტერვალით (საწყისი პერიოდი). ცდის შედეგები შეაქვთ ცხრილ 3-ში. ამის შემდეგ, კალორიმეტრიდან ჭიქის ამოუღებლად, წინასწარ აწონილ გარკვეული რაოდენობის მარილს (16გ KCl ან 20გ Na₂S₂O₃ · 5H₂O) ათავსებენ წყალში, აფარებენ სახურავს და მინის წკირით მორევის შემდეგ იწყებენ ხსნარის ტემპერატურის

გაზომვას 5 წუთის განმავლობაში ერთი წუთის ინტერვალით (საბოლოო პერიოდი). ცდის შედეგები შეაქვთ ცხრილ 3-ში. ტემპერატურის ცვლილების განსაზღვრის შემდეგ მარილის გახსნის სითბო გამოთვლება შემდეგი ფორმულით:

$$Q = \frac{(G \cdot c + K) \cdot \Delta t \cdot M}{g}, \quad (14)$$

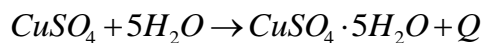
სადაც G - წყლის რაოდენობა, მლ; g - გახსნილი მარილის მასა, გ;
 c - ხსნარის სითბოტევადობა; M - მარილის მოლეკულური მასა;
 K - კალორიმეტრის მუდმივა; Δt - ტემპერატურის ცვლილება.

მარილის გახსნის მოლური სითბოს განსაზღვრა

ცხრილი 3

ანათვლებს შორის ინტერვალი	თერმომეტრის ჩვენება		ტემპერატურ. ცვლილება, Δt	მარილის გახსნის მოლური სითბო $Q_{\text{გახ}}$	შენიშვნა
	საწყისი პერიოდი	საბოლოო პერიოდი			
					წყლის რაოდენ. $G=400$ მლ; გახსნილი მარილის: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ მასა $g=20$ გ; ან KCl -ის მასა $g = 16$ გ; $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - მოლ. მასა $M = 248,2$ გ; KCl -ის მოლ. მასა $M = 74,56$ გ; ხსნარის კუთრი სითბოტევ. $c=0,98$ კალ/გ; კალორიმეტრის მუდმივა $K=$

II.1.4. ჰიდრატაციის სითბოს განსაზღვრა ცდის მსვლელობა



უწყლო CuSO_4 დან $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ მიღების სითბოს განსაზღვრად უნდა გავიგოთ უწყლო მარილისა და კრისტალჰიდრატის გახსნის სითბო (q_1 და q_2) და მათი სხვაობით გავიგებთ კრისტალჰიდრატის წარმოქმნის სითბოს Q -ს.

უწყლო მარილის გახსნის სითბოს განსაზღვრა. ჭიქაში ასხამენ 400 მლ გამოხდილ წყალს, ათავსებენ კალორიმეტრში, აფარებენ სახურავს და იწყებენ წყლის ტემპერატურის გაზომვას 5-7 წუთის განმავლობაში ერთი წუთის ინტერვალით (საწყისი პერიოდი). ცდის შედეგები შეაქვთ ცხრილ 4-ში. ამის შემდეგ, კალორიმეტრიდან ჭიქის ამოუღებლად, წინასწარ აწონილ 13 გ CuSO_4 -ს ათავსებენ წყალში, აფარებენ სახურავს და მინის წკირით მორევის შემდეგ იწყებენ ხსნარის ტემპერატურის გაზომვას 5-7 წუთის განმავლობაში ერთი წუთის ინტერვალით (საბოლოო პერიოდი). ცდის შედეგები

შეაქვთ ცხრილ 4-ში. უწყლო მარილის გახსნის სითბოს ანგარიშობენ შემდეგი ფორმულით

$$q_1 = \frac{(G \cdot c + K) \cdot \Delta t \cdot M}{g}, \quad (16)$$

სადაც q_1 - უწყლო მარილის გახსნის სითბო; G - წყლის რაოდენობა, მლ;
 g - გახსნილი მარილის მასა, გ; c - ხსნარის სითბოტევადობა;
 M - მარილის მოლეკულური მასა; K - კალორიმეტრის მუდმივა;
 Δt - ტემპერატურის ცვლილება.

უწყლო მარილის გახსნის სითბოს განსაზღვრა

ცხრილი 4

ანათვლებს შორის ინტერვალი	თერმომეტრის ჩვენება		ტემპერატურის ცვლილება, Δt	უწყლო მარილის გახსნის სითბო, q_1	შენიშვნა
	საწყისი პერიოდი	საბოლოო პერიოდი			
					წყლის რაოდ. $G=400$ მლ; გახსნილი მარილის $CuSO_4$ -ის მასა $g = 13$ გ; $CuSO_4$ - მოლეკულური მასა $M=156,6$ გ; ხსნარის კუთრი სითბოტევადობა $c = 0,98$ კალ/გ; კალორიმეტრის მუდმივა $K=$

წყლიანი მარილის გახსნის სითბოს განსაზღვრა. ჭიქაში ასხამენ 390 მლ გამოხდილ წყალს, ათავსებენ კალორიმეტრში, აფარებენ სახურავს და იწყებენ წყლის ტემპერატურის გაზომვას 5-7 წუთის განმავლობაში ერთი წუთის ინტერვალით (საწყისი პერიოდი). ცდის შედეგები შეაქვთ ცხრილ 5-ში. ამის შემდეგ, კალორიმეტრიდან ჭიქის ამოღებულად, წინასწარ აწონილ 20 გ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ -ს ათავსებენ წყალში, აფარებენ სახურავს და მინის წკირით მორევის შემდეგ იწყებენ ხსნარის ტემპერატურის გაზომვას 5-7 წუთის განმავლობაში ერთი წუთის ინტერვალით (საბოლოო პერიოდი). ცდის შედეგები შეაქვთ ცხრილ 5-ში. ტემპერატურის ცვლილების განსაზღვრის შემდეგ ანგარიშობენ წყლიანი მარილის გახსნის სითბოს შემდეგი ფორმულით

$$q_2 = \frac{(G \cdot c + K) \cdot \Delta t \cdot M}{g}, \quad (17)$$

სადაც q_2 - წყლიანი მარილის გახსნის სითბო; G - წყლის რაოდენობა, მლ;
 g - გახსნილი მარილის მასა, გ; c - ხსნარის სითბოტევადობა;
 M - მარილის მოლეკულური მასა; K - კალორიმეტრის მუდმივა;
 Δt - ტემპერატურის ცვლილება

წყლიანი მარილის გახსნის სითბოს განსაზღვრა

ცხრილი 5

ანათვლებს შორის ინტერვალი	თერმომეტრის ჩვენება		ტემპერატურის ცვლილება, Δt	წყლიანი მარილის გახსნის სითბო, q_2	შენიშვნა
	საწყისი პერიოდი	საბოლოო პერიოდი			
					წყლის რაოდენობა $G=390$ მლ; გახსნილი მარილის $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ მასა $g=20$ გ; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ მოლ. მასა $M=249,8$ გ; ხსნარის კუთრი სითბოტევადობა $c = 0,98$ კალ/გ; კალორიმეტრის მუდმივა $K=$

ჰიდრატაციის სითბოს განსაზღვრად უწყლო მარილის გახსნის სითბოს უნდა გამოვაკლოთ წყლიანი მარილის გახსნის სითბო.

$$Q = q_1 - q_2 \quad (18)$$

საკონტროლო კითხვები:

1. რას ეწოდება რეაქციის სითბური ეფექტი?
2. რაში მდგომარეობს ჰესის კანონი?
3. რას ეწოდება წარმოქმნის სითბო?
4. როგორ განისაზღვრება რეაქციის სითბური ეფექტი წარმოქმნის სითბოს საშუალებით?
5. რას ეწოდება წვის სითბო?
6. როგორ განისაზღვრება რეაქციის სითბური ეფექტი წვის სითბოს საშუალებით?
7. რას ეწოდება ნეიტრლიზაციის სითბო?
8. რა არის გახსნის ინტეგრალური და გახსნის დიფერენციალური სითბო?
9. როგორ განისაზღვრება კრისტალჰიდრატის წარმოქმნის სითბო?
10. რეაქციის სითბური ეფექტის ექსპერიმენტულად განსაზღვრად რომელ ჭურჭელს ვიყენებთ?
11. რა დანიშნულება აქვს კალორიმეტრს?
12. ექსპერიმენტულად რეაქციის სითბური ეფექტის განსაზღვრის დროს რა უნდა გავზომოთ?

III. ქიმიური წონასწორობა ჰომოგენურ სისტემებში

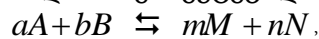
III.1. წონასწორობის მუდმივას განსაზღვრა

ყველა თავისთავად მიმდინარე პროცესს ახლავს სისტემის თავისუფალი ენერჯის შემცირება, რომელიც მთავრდება წონასწორობის დამყარებით.

წონასწორული მდგომარეობა დამოკიდებულია გარემო პირობებზე, რომელთა ცვლილება განაპირობებს წონასწორობის შეცვლას (გავიხსენოთ ლე-შატელიეს პრინციპი). ქიმიური წონასწორობა დამახასიათებელია შექცევადი რეაქციებისათვის.

ქიმიური რეაქცია შექცევადია, თუ რეაქციის საწყის და საბოლოო პროდუქტებს ერთსა და იმავე პირობებში ურთიერთგარდაქმნა შეუძლიათ. როდესაც პირდაპირი რეაქციის სიჩქარე გაუტოლდება შებრუნებული რეაქციის სიჩქარეს, მყარდება ქიმიური წონასწორობა.

განვიხილოთ აირად ფაზაში მიმდინარე შექცევადი რეაქცია



პირდაპირი რეაქციის სიჩქარე მორეაგირე ნივთიერებების პარციალული წნევების ნამრავლის პროპორციულია:

$$V_1 = K_1 P_A^a P_B^b, \quad (1)$$

ხოლო შებრუნებული რეაქციის სიჩქარე მიღებული პროდუქტების პარციალული წნევების ნამრავლის პროპორციულია:

$$V_2 = K_2 P_M^m P_N^n, \quad (2)$$

სადაც P_A , P_B , P_M და P_N - ადებული და მიღებული ნივთიერებების პარციალური წნევებია; a , b , m , n სტექიომეტრიული კოეფიციენტები.

წონასწორობის დროს პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციების სიჩქარეები ერთმანეთს უტოლდება

$$V_1 = V_2, \quad (3)$$

$$K_1 P_A^a P_B^b = K_2 P_M^m P_N^n, \quad (4)$$

საიდანაც

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{P_M^m P_N^n}{P_A^a P_B^b} = K_p. \quad (5)$$

მუდმივი წნევის პირობებში მიმდინარე რეაქციის წონასწორობის მუდმივა გამოისახება K_p -ით

თუ რეაქცია მიმდინარეობს თხევად ფაზაში წონასწორობის მუდმივა გამოისახება კონცენტრაციებით.

$$K_c = \frac{C_M^m \cdot C_N^n}{C_A^a \cdot C_B^b}. \quad (6)$$

მუდმივი მოცულობის პირობებში მიმდინარე რეაქციების წონასწორობის მუდმივა გამოისახება K_c -ით.

რეალურ სისტემებში წნევის ნაცვლად იყენებენ f - ფუგითურობას

$$K_p = \frac{f_M^m \cdot f_N^n}{f_A^a \cdot f_B^b}, \quad (7)$$

ხოლო კონცენტრაციის ნაცვლად – α აქტიურობას.

$$K_a = \frac{\alpha_M^m \cdot \alpha_N^n}{\alpha_A^a \cdot \alpha_B^b}. \quad (8)$$

წონასწორობის მუდმივას გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ერთ-ერთი მორეაგირე ნივთიერების კონცენტრაციის შეცვლა იწვევს დანარჩენი ნივთიერებების კონცენტრაციათა ისეთ ცვლილებას, რომ იგი წონასწორობის მუდმივას მნიშვნელობაზე გავლენას არ ახდენს. ამ დროს წონასწორული კონცენტრაციების ნამრავლის ფარდობა უცვლელი რჩება.

წონასწორობის მუდმივას მნიშვნელობით შეიძლება ვიმსჯელოთ, რამდენად შორს მიდის რეაქცია. თუ წონასწორობის მუდმივას მნიშვნელობა დიდია, ე.ი. მრიცხველი მეტია მნიშვნელზე, მაშინ რეაქციის პროდუქტები მიიღება დიდი რაოდენობით.

წონასწორობის მუდმივას მნიშვნელობაზე გავლენას ახდენს ტემპერატურა, წნევა (აირადი რეაქციებისათვის), რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებების მოლთა რიცხვი, რეაქციაში შემავალი ნივთიერებების თანაფარდობა.

ტემპერატურის ცვლილებისას წონასწორობის მუდმივა მნიშვნელოვნად იცვლება. ამ ცვლილებას გამოსახავს ვანტ-ჰოფის იზობარისა და იზოქორის განტოლებები.

$$\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}, \quad (9)$$

$$\frac{d \ln K_c}{dT} = \frac{\Delta U}{RT^2}, \quad (10)$$

$\frac{d \ln K}{dT}$ –ს ნიშანი განისაზღვრება რეაქციის სითბური ეფექტის (ენტალპიის) ნიშნით.

ენდოთერმული რეაქციისათვის, როცა $\Delta H > 0$, $\Delta U > 0$, ტემპერატურის გაზრდით წონასწორობის K მუდმივა იზრდება, ანუ წონასწორობა გადაინაცვლებს რეაქციის პროდუქტების ზრდისკენ. ეგზოთერმული რეაქციისათვის, როცა $\Delta H < 0$, $\Delta U < 0$, ტემპერატურის გაზრდით წონასწორობის K მუდმივა მცირდება, რეაქცია გადაინაცვლებს ეგზოთერმული რეაქციის საპირისპირო მიმართულებით, საწყისი ნივთიერებების ზრდისკენ. როდესაც რეაქციის სითბური ეფექტი ნულს მიუახლოვდება (ან ძალზე მცირეა), რეაქციის წონასწორობის K მუდმივა ტემპერატურაზე არ იქნება დამოკიდებული.

წონასწორობის მუდმივა განსაზღვრავს წონასწორობის პირობებს, როდესაც კონცენტრაციები წონასწორულია. ვანტ-ჰოფის რეაქციის იზოთერმის განტოლება საშუალებას გვაძლევს ვიწინასწარმეტყველოთ რეაქციის მიმართულება თუ ცნობილი იქნება წონასწორობის მუდმივა, მორეაგირე და მიღებული ნივთიერებების კონცენტრაციები. ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობისას სრულდება მუშაობა. პროცესისათვის, რომელიც მიმდინარეობს მუდმივი ტემპერატურისა და მოცულობის ან მუდმივი ტემპერატურისა და მუდმივი წნევის პირობებში შეიძლება დიწეროს, რომ

$$-\Delta A = W_{\text{ას,ქ}} = RT(\ln K_c - \Delta \ln C), \quad (11)$$

$$-\Delta G = W_p = RT(\ln K_p - \Delta \ln P), \quad (12)$$

სადაც C და P - არაწონასწორული კონცენტრაცია და წნევაა;

ΔA - იზოქორულ იზოთერმული პოტენციალი;

ΔG - იზობარულ იზოთერმული პოტენციალია.

ეს გამოსახულებები ვანტ-ჰოფის რეაქციის იზოთერმის განტოლებებია.

როცა $\ln K_c > \Delta \ln C$, $W_{\text{ას,ქ}} > 0$, რეაქცია მიმდინარეობს პირდაპირი მიმართულებით, მარცხნიდან მარჯვნივ. როდესაც $\ln K_c < \Delta \ln C$, $W_{\text{ას,ქ}} < 0$, რეაქცია შებრუნებული მიმართულებით წარიმართება, მარჯვნიდან მარცხნივ. როდესაც $\ln K_c = \Delta \ln c$, $W_{\text{ას,ქ}} = 0$

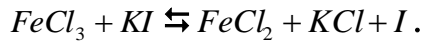
სისტემა წონასწორულია. თუ მორეაგირე ნივთიერებების საწყისი კონცენტრაციები 1 მოლის ტოლია, მაშინ რეაქციის მიერ შესრულებული მუშაობა მაქსიმალურია

$$W_{\text{მ.აქ}} = -\Delta A^0 = RT \ln K_C, \quad (13)$$

სადაც ΔA^0 - სტანდარტული იზოქორულ-იზოთერმული პოტენციალის ცვლილებაა.

ექსპერიმენტული ნაწილი

სამუშაოს მიზანი: III.1.1. წონასწორობის მუდმივას განსაზღვრა რეაქციისათვის



ხელსაწყო, ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივები.

თერმოსტატი; შტატივი; ბიურეტი, საწვეთური;

1 ერლენმეირის კოლბა; 1 მიხეხილსაცობიანი ერლენმეირის კოლბა საცობით;

პიპეტი (25 მლ); მინის ჭიქა (50 მლ)

0,02N $FeCl_3$ -ის ხსნარი; 0,01N KI -ის ხსნარი;

0,01N ნატრიუმის თიოსულფატი; სახამებლის ხსნარი.

ცდის მსვლელობა

მიხეხილსაცობიან კოლბაში ასხამენ 100 მლ 0,02N $FeCl_3$ და 100 მლ 0,01N KI -ის ხსნარებს ახურავენ საცობს და ათავსებენ თერმოსტატში მუდმივ ტემპერატურაზე. ცხრილ 1-ში მითითებული დროის (5 წთ, 10 წთ, 20 წთ, 240 წთ, 245 წთ) მიხედვით პიპეტით იღებენ 25 მლ ხსნარს, ათავსებენ კოლბაში, უმატებენ რამდენიმე წვეთ სახამებლის ხსნარს (ხსნარი გალურჯდება) და სწრაფად ტიტრავენ 0,01N ნატრიუმის თიოსულფატით ლურჯი ფერის გაუფერულებამდე. შედეგები შეაქვთ ცხრილ1-ში.

წონასწორობის დამყარებას დაახლოებით 4 საათი სჭირდება, საკვლევ ხსნარს ტოვებენ თავდახურულ კოლბაში მთელი დღით და მეორე დღეს ტიტრავენ. წონასწორობა დამყარებულია, როდესაც ხსნარის ორი გატიტვრით ერთნაირი შედეგი მიიღება, ე.ი. როდესაც დახარჯული ნატრიუმის თიოსულფატის რაოდენობა იქნება მუდმივი. ტიტვრა უნდა წარმოებდეს სწრაფად, რათა გამოყოფილი იოდი არ აორთქლდეს. მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილ 1-ში.

ხსნარების შერევისას $FeCl_3$ -ის და KI -ის კონცენტრაციები მცირდება, მიღებულ კონცენტრაციებს საზღვრავენ ფორმულით:

$$C_{FeCl_3} = C_{FeCl_3}^{საწ} \cdot \frac{a}{a+b}; \quad C_{KI} = C_{KI}^{საწ} \cdot \frac{a}{a+b};$$

სადაც a და b აღებული $FeCl_3$ და KI -ის რაოდენობაა, მლ;

$C_{FeCl_3}^{საწ}$ და $C_{KI}^{საწ}$, $FeCl_3$ და KI -ის საწყისი კონცენტრაციებია.

გამოყოფილი იოდის წონასწორული კონცენტრაცია აღვნიშნოთ X -ით; მას ანგარიშობენ წონასწორობის დროს დახარჯული ნატრიუმის თიოსულფატის

რაოდენობის (n) მიხედვით: $X = \frac{0,01 \cdot n}{25}$.

რადგან ორვალენტიანი რკინა იოდის ეკვივალენტური რაოდენობით მიიღება, ამიტომ მორეაგირე ნივთიერებათა წონასწორული კონცენტრაციები იქნება:

$$C_{Fe^{2+}} = X; \quad C_{Fe^{3+}} = (C_{FeCl_3}^{საწ} - X);$$

$$C_{I_2} = X; \quad C_{I^-} = (C_{KI}^{საწ} - X).$$

წონასწორობის მუდმივა გამოითვლება ფორმულით:

$$K_c = \frac{C_{Fe^{2+}} \cdot C_{I^0}}{C_{Fe^{3+}} \cdot C_{I'}} = \frac{X \cdot X}{(C_{FeCl_3}^{საწ} - X)(C_{KI}^{საწ} - X)}$$

სისტემის მიერ შესრულებული მუშაობა კი გამოითვლება ვანტ-ჰოფის იზოთერმის განტოლების შესაბამისად: $W_{მავ} = -\Delta F^0 = RT \ln K_c$

მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილ 2-ში

ცხრილი 1

დროის ინტერვალი, წუთი	5	10	20	240	245
გატიტვრაზე დახარჯული $0,01N Na_2S_2O_3$ -ის რაოდენობა, მლ					

ცხრილი 2

მორეაგირე ნივთიერებების საწყისი კონცენტრაციები, გ.ექვ/ლ		მორეაგირე ნივთიერებების წონასწორული კონცენტრაციები, გ.ექვ/ლ				წონასწორობის მუდმივა, K_c	შესრულებული მუშაობა, კალ/მოლ, $W_{მავ}$	შენიშვნა
$C_{FeCl_3}^{საწ}$	$C_{KI}^{საწ}$	$C_{Fe^{3+}}$	$C_{I'}$	$C_{Fe^{2+}}$	C_{I^0}			
								R=1.987 კალ/მოლ.გრად ტემპერატურა T°C +273

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება შექცევადი რეაქცია?
2. როდის მყარდება წონასწორობა?
3. რა არის წონასწორობის მუდმივა და რაზეა იგი დამოკიდებული?
4. რეალურ სისტემებში წნევის (P) და კონცენტრაციის (C) ნაცვლად რა სიდიდეებს ვიყენებთ?
5. ვანტ-ჰოფის რეაქციის იზოთერმის განტოლებით როგორ განისაზღვრება რეაქციის მიმართულება?
6. რომელი განტოლებით გამოისახება წონასწორობის მუდმივას დამოკიდებულება ტემპერატურაზე?

IV. წონასწორობა ჰეტეროგენულ სისტემებში

IV.1. შეუზღუდავად ხსნადი სითხეების მდგომარეობის დიაგრამის აგება

ხსნარი ორი ან მეტი კომპონენტისაგან შემდგარი ცვლადი შედგენილობის ერთგვაროვანი სისტემაა. იგი შედგება გამხსნელის, გახსნილი ნივთიერებისა და მათი ურთიერთქმედების პროდუქტებისაგან.

ხსნარი გვხვდება თხევად, მყარ და აირად მდგომარეობაში. ხსნარის შედგენილობის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია კონცენტრაცია. კონცენტრაცია გამოსახავს გახსნილი ნივთიერების რაოდენობას ხსნარის ან გამხსნელის გარკვეულ მოცულობაში ან წონაში.

არსებობს ხსნარის კონცენტრაციის რაოდენობრივი გამოსახვის სხვადასხვა ხერხი, ესენია: მასური, მოცულობითი (W) ან მოლური წილი (N_i), ნორმალური (N), მოლური (M), მოლალური (m) კონცენტრაციები და ტიტრი (T).

გახსნილი ნივთიერების მასის (მოცულობის) ფარდობას ხსნარის საერთო მასასთან (მოცულობასთან) გახსნილი ნივთიერების მასური (მოცულობითი) წილი ეწოდება, მას გამოსახავენ მთელის ნაწილებით ან პროცენტობით.

გახსნილი ნივთიერების მოლთა რიცხვის ფარდობას ხსნარში არსებული მოლეკულის საერთო რიცხვთან მოლური წილი ეწოდება აღინიშნება (N_i)-ით.

$$N_i = \frac{n_i}{\sum n} . \quad (1)$$

ხსნარის კომპონენტების მოლური წილების ჯამი ერთის ტოლია.

განასხვავებენ კონცენტრირებულ და განზავებულ ხსნარებს. კონცენტრირებული ხსნარი შეიცავს დიდი რაოდენობის გახსნილ ნივთიერებას, ხოლო განზავებული – მცირე რაოდენობის გახსნილ ნივთიერებას, მასში გამხსნელის წილი მიისწრაფვის ერთისაკენ. უსასრულოდ განზავებულ ან, მარტივად, განზავებულ ხსნარში შეიძლება უგულებელვყოთ გახსნილი ნივთიერების მოლეკულების ურთიერთქმედება და ჩავთვალოთ, რომ გახსნილი ნივთიერების მოლეკულები მხოლოდ გამხსნელის მოლეკულებთან ურთიერთქმედებს.

ხსნარის ზოგადი თვისებები განპირობებულია გამხსნელის ბუნებით და გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციით. ხსნართა თეორიაში განიხილავენ იდეალურ და რეალურ ხსნარებს. ხსნარი იდეალურია, თუ მისი შემადგენელი კომპონენტების შერევისას არ აღიძვრება განსაკუთრებული ხასიათის ურთიერთქმედების ძალები და არ შეიცვლება მოცულობა და შიგა ენერჯის მარაგი, ხოლო ენტროპია - იზრდება.

იდეალური ხსნარები შეიძლება დავყოთ სრულყოფილ და უსასრულოდ განზავებულ ხსნარებად. იდეალური ხსნარები ემორჩილება რაულის კანონს, რომლის თანახმადაც გამხსნელის ნაჯერი ორთქლის წნევა ხსნარის ზემოთ (P_1) ნაკლებია სუფთა გამხსნელის ნაჯერი ორთქლის (P_1^0) წნევაზე, $P_1 < P_1^0$. გამხსნელის ნაჯერი ორთქლის P_1 წნევა ხსნარის ზემოთ ტოლია სუფთა გამხსნელის ნაჯერი ორთქლის P_1^0 წნევის ნამრავლისა გამხსნელის N_1 მოლურ წილზე ხსნარში:

$$P_1 = P_1^0 N_1 . \quad (2)$$

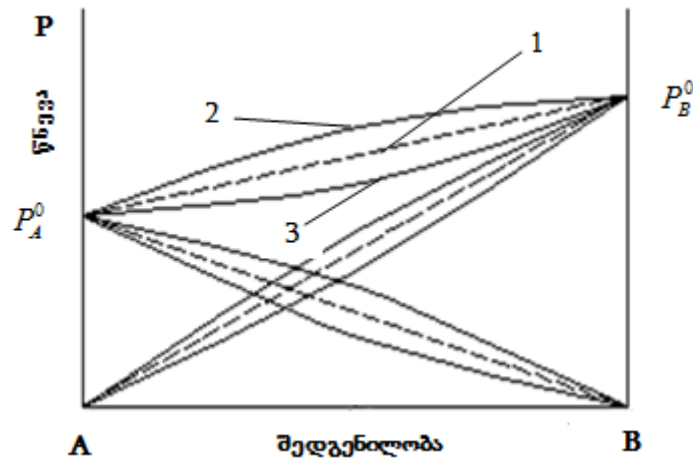
გახსნილი ნივთიერების და გამხსნელის კონცენტრაციები რაულის კანონში გამოსახული უნდა იყოს მხოლოდ მოლური წილებით.

განიხილავენ ორი სითხის ურთიერთხსნადობის სამ შემთხვევას:

1. პრაქტიკულად არახსნადი სითხეები (ვერცხლისწყალი – წყალი);
2. შეუზღუდავად ხსნადი სითხეები, რომლებიც ერთმანეთში ნებისმიერი თანაფარდობით იხსნება (ეთილის სპირტი – წყალი);
3. შეზღუდულად ხსნადი სითხეები (ანილინი – წყალი).

შეუზღუდავად ხსნადი A და B სითხეების ნარევი ურთიერთქმედება ხდება როგორც ერთნაირ A-A და B-B მოლეკულებს შორის, სხვადასხვა სახის A-B მოლეკულებს შორის. თხევადი ხსნარის ზევით ნაჯერი ორთქლის (P) წნევის ხსნარის (N) შედგენილობაზე დამოკიდებულების ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე შეუზღუდავად ხსნადი სითხეები სამ ტიპად იყოფა.

I ტიპი. A და B სითხეების ნარევი A-A, B-B და A-B ურთიერთქმედება ერთნაირია (იხ. სურათი 1-ის (1) წირი). სრულყოფილი ხსნარის ნაჯერი ორთქლის წნევა (P) წრფივად არის დამოკიდებული ხსნარის შედგენილობაზე. კომპონენტების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები მსგავსია (იზომერები, ნახშირწყალბადების ერთი და იმავე ჰომოლოგიური მწკრივის წევრები, ზოგიერთი ლითონის შენადნობები Fe-Ni, FeO-MnO და სხვ.). ასეთ ხსნარს იდეალურს ან სრულყოფილს უწოდებენ. ხსნარის შემადგენელი კომპონენტების თვისებების მსგავსების გამო მიიღება სრულყოფილი ხსნარი სითხური ეფექტის და მოცულობის ცვლილების გარეშე ($\Delta H = 0$; $\Delta V = 0$). ხსნარის მიღების პროცესი თავისთავადია და მიმდინარეობს თავისუფალი ენერჯის შემცირებით ($\Delta G < 0$).



სურათი 1. შეუზღუდავად ხსნად სითხეებში ნაჯერი ორთქლის წნევის დამოკიდებულება შედგენილობაზე

II ტიპი. A და B სითხეების ნარევი A-A და B-B მოლეკულების ურთიერთქმედება უფრო ძლიერია, ვიდრე A-B მოლეკულებს შორის. სურ.1, (2) წირი გამოსახავს ნაჯერი ორთქლის წნევის დამოკიდებულებას შედგენილობაზე, (1) წირისაგან განსხვავებით, არაწრფივია და აქვს მაქსიმუმი. ამ წირით აღწერილ შემთხვევას რაულის კანონისაგან დადებით გადახრას უწოდებენ. დადებითი გადახრა შეესაბამება ხსნადობის შემცირებას სრულყოფილ ხსნარებთან შედარებით. დადებითი გადახრისას მოცულობა იზრდება $\Delta V > 0$, სითბო შთაინთქმება $\Delta H > 0$.

განზავების შემთხვევაში რაულის კანონს ემორჩილება ნებისმიერი განზავებული ხსნარი, ამიტომ P_A^0 და P_B^0 წირების ზედა ბოლოები პუნქტირებს ემთხვევა.

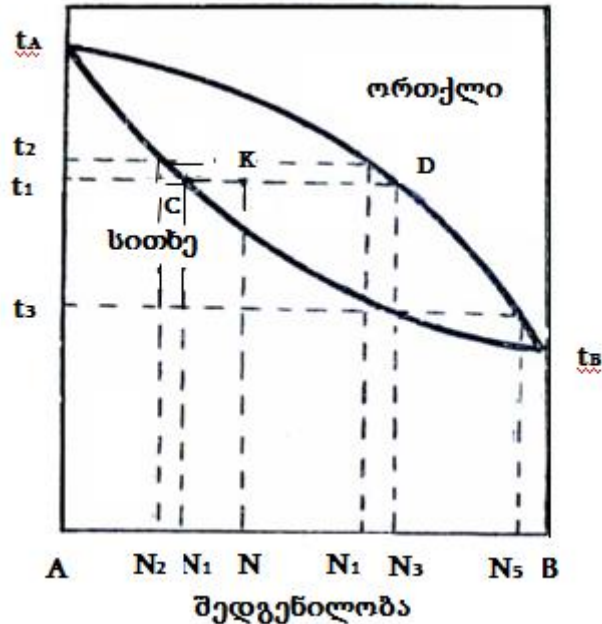
ძლიერი დადებითი გადახრის შემთხვევაში ხსნარი ფენებად იყოფა. დადებითი გადახრა ხშირია ხსნარებში: ქლოროფორმი-ეთილის სპირტი, აცეტონი-გოგირდნახშირბადი და სხვ.

III ტიპი. A და B სითხეების ნარევი $A-B$ მოლეკულების ურთიერთქმედება უფრო ძლიერია, ვიდრე $A-A$ და $B-B$ მოლეკულებს შორის (სურ.1. წირი 3) წირი (3) მიუთითებს რაულის კანონიდან უარყოფით გადახრაზე. ნაჯერი ორთქლის წნევა მოთავსებულია (1) წირის ქვემოთ, აქვს მინიმუმი. უარყოფითი გადახრა განპირობებულია განსხვავებულ მოლეკულებს შორის ძლიერი ბმით. უარყოფითი გადახრისას მოცულობა მცირდება $\Delta V < 0$, სითბო გამოიყოფა $\Delta H < 0$.

უარყოფითი გადახრა უფრო იშვიათია, ვიდრე დადებითი. უარყოფითი გადახრის მქონე ხსნარი მიიღება მხოლოდ მაშინ, თუ კომპონენტებს აქვს სოლვატაციის ან ქიმიური ნაერთის წარმოქმნის უნარი ან, თუ შეურევთ მჟავას ან ტუტის თვისებების მქონე სითხეებს (III ტიპის ხსნარების მაგალითებია: აცეტონი-ქლოროფორმი, HCl და HNO_3 წყალში, ჭიანჭველმჟავა-პირიდინი და სხვ.).

რაულის კანონიდან დადებითი გადახრის დროს სითბო შთაინთქმება, ხოლო უარყოფითი გადახრის დროს სითბო გამოიყოფა.

შეუზღუდავად ხსნადი სითხეების შესწავლისას დადგინდა, რომ ორთქლის და სითხის შედგენილობა შეიძლება განსხვავებული იყოს. სრულყოფილი ხსნარის ორთქლის შედგენილობა სითხის შედგენილობისაგან განსხვავებულია კონცენტრაციის ცვლილების მთელ ინტერვალში. მუდმივი წნევის პირობებში ორთქლის და სითხის შედგენილობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე სრულყოფილი ხსნარებისათვის ნაჩვენებია სურათ 2-ზე.



სურათი 2. სრულყოფილი ხსნარის ორთქლის შედგენილობის დამოკიდებულება შედგენილობაზე

სურათ 2-ზე ქვედა წირი გამოსახავს სითხის შედგენილობის დამოკიდებულებას დუდილის ტემპერატურაზე, ზედა წირი კი - ორთქლის შედგენილობის დამოკიდებულებას ტემპერატურაზე. ორივე შემთხვევაში ($P = const$). წირების ურთიერთგანლაგების მიხედვით, ორთქლში მეტია ის კომპონენტი, რომლის

დუდილის ტემპერატურაც უფრო დაბალია (ნაჯერი ორთქლის წნევა მეტია). როგორც მე-2 სურათიდან ჩანს, სისტემა ორთქლის წირის ზევით - ერთფაზიანია (ორთქლის არე), სითხის წირის ქვევით - ასევე ერთფაზიანია (სითხის არე), წირებს შორის კი - ორფაზიანი (წონასწორობაშია ორთქლი და სითხე). N შედგენილობის ნარევი (K წერტილში) t_1 ტემპერატურაზე შეიცავს N_1 შედგენილობის სითხეს და N_3 შედგენილობის ორთქლს. აბცისთა ღერძზე მარცხნიდან მარჯვნივ იზრდება B კომპონენტის მოლური წილი, ე.ი. N_3 წერტილში (ანუ ორთქლში) უფრო მეტია დაბალ ტემპერატურაზე მდულარე კომპონენტი. კონოვალოვის პირველი კანონის თანახმად, ორთქლში იმ კომპონენტის სიჭარბეა, რომლის დუდილის ტემპერატურაც ნაკლებია ან რომლის დამატებაც ამცირებს ხსნარის დუდილის ტემპერატურას (ზრდის ხსნარის ნაჯერი ორთქლის წნევას).

ამ კანონზომიერებას იყენებენ თხევადი ნარევების შედგენილობაში შემავალი სხვადასხვა დუდილის ტემპერატურის მქონე სითხისა და ორთქლის კომპონენტების დაყოფის პროცესში.

ხსნარებს დიდი მნიშვნელობა აქვს ბუნებასა და ყოფაცხოვრებაში, მრეწველობასა და სოფლის მეურნეობაში. ზრდისათვის აუცილებელ ნივთიერებებს მცენარეები გარემოდან ხსნარების სახით იღებენ. ცხოველებისა და ადამიანების მიერ საკვების შეთვისების პროცესი საჭმლის მომნელებელ ორგანოში ხდება მისი ხსნარად გარდაქმნის შემდეგ. ნივთიერებების წყალში გახსნა უზრუნველყოფს მათ შორის ქიმიური რეაქციის სწრაფად მიმდინარეობას. ბევრი ტექნოლოგიური პროცესი მიმდინარეობს მხოლოდ ხსნარში. ორგანული გამხსნელები ფართოდ გამოიყენება ექსტრაქციისათვის: მცენარეთა თესლიდან ან ნაყოფიდან ზეთის გამოსაყოფად, ქსოვილებიდან ლაქების მოსაცილებლად და სხვ. უმნიშვნელოვანესი ფიზიოლოგიური სითხეები სისხლი და ლიმფა ხსნარებია.

ექსპერიმენტული ნაწილი

სამუშაოს მიზანი: IV.1.1. ორკომპონენტიანი სისტემის (აცეტონი-ბენზოლი) სითხე-ორთქლის მდგომარეობის დიაგრამის აგება კოორდინატებში შედგენილობა-დუდილის ტემპერატურა

ხელსაწყო, ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივები

აბეს ტიპის რეფრაქტომეტრი YPL-1; დახურული ელექტროქურა;

წყლის ონკანი; შტატივები; უკუმაცივარი; თერმომეტრი;

მიხეხილსაცობიანი კოლბები და სინჯარები; მინის კაპილარები;

პიპეტები; ფილტრის ქაღალდი;

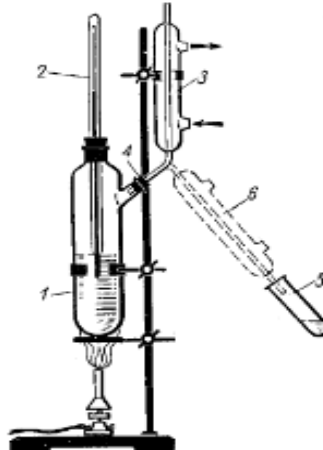
აცეტინი; ბენზოლი და აცეტონ-ბენზოლის 5 სხვადასხვა შედგენილობის ნარევი.

ცდის მსვლელობა

მიხეხილსაცობიან კოლბაში ათავსებენ აცეტონს, ბენზოლს და 5 სხვადასხვა შედგენილობის აცეტონ-ბენზოლის ნარევს.

რეფრაქტომეტრის საშუალებით ზომავენ სუფთა კომპონენტების (აცეტონი, ბენზოლი) და აცეტონ-ბენზოლის ნარევების გარდატეხის მაჩვენებელს (n). მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილ 1-ში. გაზომვები უნდა ჩატარდეს მუდმივ ტემპერატურაზე.

ხსნარების დუდილის ტემპერატურები იზომება სურათ 3-ზე გამოსახული ხელსაწყოთა გამოყენებით, რომელიც შედგება ჭურჭლისაგან (1), თერმომეტრისა (2) და უკუმაცივისაგან (3).

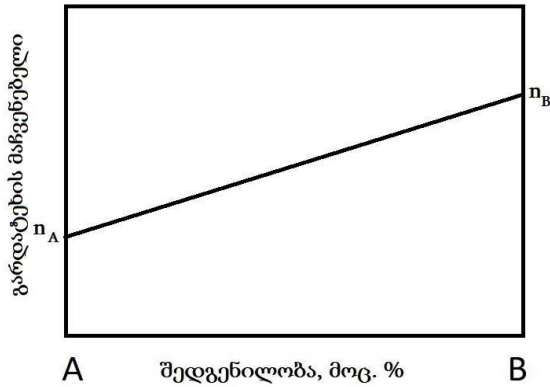


სურათი 3. სითხის დუდილის ტემპერატურის განსასაზღვრად ხელსაწყოთა სქემა

ჭურჭელში 1, ასხამენ აცეტონ-ბენზოლის ნარევის და ამარებენ შტატივზე. იმისათვის, რომ მოხდეს სითხის თანაბარი დუდილი (ხელსაწყოთა ზედა ნაწილში სითხე რომ არ გადახურდეს, ხოლო ორთქლი არ გაცივდეს) და ზუსტად გაიზომოს დუდილის ტემპერატურა, ჭურჭელში ათავსებენ მინის კაპილარებს და არგებენ საცობს თერმომეტრით ისე, რომ თერმომეტრის ვერცხლისწყლის რეზერვუარი სითხეში იყოს მოთავსებული. ჭურჭელს გვერდითი მილით აერთებენ უკუმაცივართან და იწყებენ ჭურჭლის ნელა გაცხელებას ქურაზე. აკვირდებიან თერმომეტრის ჩვენებას. როდესაც ხსნარი იწყებს დუდილს, ინიშნავენ თერმომეტრის ჩვენებას და შეაქვთ ცხრილ 1-ში. ინიშნავენ თერმომეტრის იმ ჩვენებასაც, როდესაც დუდილის ტემპერატურა გახდება მუდმივი, ამის შემდეგ კონდენსატის ასაღებად უკუმაცივარს აბრუნებენ სურათ 3-ზე პუნქტირით გამოსახულ მდგომარეობაში. მიხეხილსაცობიან სინჯარაში იღებენ 5-10 წვეთ კონდენსატს და სწრაფად ახურავენ საცობს. შემდეგ უკუმაცივარს აბრუნებენ ვერტიკალურ მდგომარეობაში, გახურებას წყვეტენ, 1-ელი ჭურჭლიდან ხსნარს აბრუნებენ მიხეხილსაცობიან კოლბაში. ანალოგიურად ზომავენ დანარჩენი ნარევის დუდილის ტემპერატურის დასაწყისს და დასასრულს, იღებენ კონდენსატის ნიმუშებს.

რეფრექტომეტრით ზომავენ მიღებული კონდენსატების გარდატეხის მაჩვენებლებს და შეაქვთ ცხრილ 1-ში.

ხსნარისა და ორთქლის შედგენილობის განსასაზღვრად აგებენ საგრადუირო მრუდს კოორდინატებში: შედგენილობა (მოცულობითი %) - გარდატეხის მაჩვენებელი (სურ. 4.)



სურათი 4. ხსნარის გარდატეხის მაჩვენებლის დამოკიდებულება შედგენილობაზე

ორდინატა ღერძზე აღნიშნავენ სუფთა აცეტონისა და ბენზოლის გარდატეხის მაჩვენებლების მნიშვნელობებს, რომლებსაც აერთებენ სწორი ხაზით. ნარევებისა და კონდენსატების გარდატეხის მაჩვენებლის სიდიდეების ინტერპოლირებით პოულობენ ხსნარებისა და ორთქლის შედგენილობას (მოცულობით %-ში). მოცულობითი პროცენტი გადაჰყავთ მოლურ პროცენტებში რისთვისაც უნდა განისაზღვროს აცეტონისა და ბენზოლის მოლეულის რიცხვი.

$$n_A = \frac{V_A \rho_A}{M_A} \quad V_A, \rho_A, M_A \text{ და } V_B, \rho_B, M_B - \text{აცეტონისა და ბენზოლის მოცულობა \%}, \text{ სიმკვრივე და მოლეკულური მასა.}$$

აცეტონის მოლური წილი გამოითვლება: $N_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$

მოლური წილის ნამრავლი 100-ზე არის მოლური %

$$N_A^I = N_A 100 \text{ მოლური \%} \quad N_A^I = \frac{n_A}{n_A + n_B} 100.$$

მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილ 1-ში და აგებენ სითხე-ორთქლის წონასწორობის დიაგრამას კოორდინატებში შედგენილობა (მოცულობითი %) - დუდილის ტემპერატურა.

ცხრილი 1

№	დუდილის ტემპერატურა		გარდატეხის მაჩვენებელი		შედგენილობა			
					ხსნარის		კონდენსატის	
	საწყისი	საბოლოო	ხსნარის	კონდენსატის	მოცულობითი, %	მოლური, %	მოცულობითი, %	მოლური, %
1								
2								
3								
4								
5								

ცხრილი 2

სუფთა ნივთიერების დასახელება	სიმკვრივე	მოლეკულური მასა	დუღილის ტემპერატურა	გარდატეხის მაჩვენებელი
აცეტონი	0,792	58	56	1,356
ბენზოლი	0,879	78	78	1,500

საკონტროლო კითხვები:

1. რა არის ხსნარი?
2. ჩამოთვალეთ ხსნარის კონცენტრაციის რაოდენობრივი გამოსახვის ხერხები.
3. რას ეწოდება ნივთიერების მასური (მოცულობითი) და მოლური წილი?
4. როგორია იდეალური ხსნარი?
5. რომელი ხსნარები ემორჩილება რაულის კანონს?
6. როგორი ხსნარები არ ემორჩილება რაულის კანონს?
7. შეუზღუდავად ხსნადი სითხეები რის მიხედვით იყოფა?
8. რაში მდგომარეობს კონოვალოვის პირველი კანონი?

IV.2. განაწილების კოეფიციენტის განსაზღვრა

ორ ურთიერთუხსნად სითხეში მესამე სითხის განაწილების კანონზომიერებას აღწერს ნერნსტ-შილოვის განაწილების კანონი, რომლის თანახმად, თუ ნივთიერება გახსნილია ორ ურთიერთუხსნად (I და II) სითხეში, წონასწორობის დამყარების შემდეგ, ეს ნივთიერება განაწილდება ორივე სითხეში გარკვეული თანაფარდობით

$$\frac{c_I}{c_{II}} = K, \quad (1)$$

სადაც c_I და c_{II} - შესაბამისად, გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციებია I და II გამხსნელებში;

K მუდმივას ეწოდება განაწილების კოეფიციენტი, რომელიც ორ ურთიერთუხსნად სითხეში გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციათა ფარდობის ტოლია.

გახსნილი ნივთიერების რაოდენობის ცვლილებით ორივე გამხსნელში იცვლება მისი c_I და c_{II} კონცენტრაციების სიდიდეები როგორც ერთ, ისე მეორე გამხსნელში, მაგრამ ამ კონცენტრაციების ფარდობა მუდმივ ტემპერატურაზე მუდმივი სიდიდეა.

განაწილების კანონი ასეთი სახით მართებულია, თუ ნივთიერების მოლეკულური მასა ორივე სითხეში ერთნაირია. დისოციაციის ან ასოციაციის შემთხვევაში გათვალისწინებულ უნდა იქნეს გახსნილი ნივთიერების ნაწილაკების ცვლილება. მაგალითად, თუ I გამხსნელში ხდება გახსნილი ნივთიერების ასოციაცია, ე.ი. ნაწილაკების რიცხვი მცირდება, მაშინ (1) ფორმულაში შევა m ხარისხის ფესვი შესაბამისი c_I კონცენტრაციიდან, სადაც m მოლეკულების რაოდენობაა ერთ ასოციატში. ხოლო თუ II გამხსნელში ხდება გახსნილი ნივთიერების დისოციაცია, ე.ი. ნაწილაკების რიცხვი n -ჯერ იზრდება, მაშინ (1) ფორმულაში c_{II} კონცენტრაცია უნდა ავიყვანოთ n ხარისხში, რომელიც ერთი მოლეკულის დისოციაციის დროს მიღებული იონების რაოდენობის ტოლია. აღნიშნულის გათვალისწინებით ნერნსტ-შილოვის განაწილების კანონი ასეთ სახეს მიიღებს:

$$K = \frac{\sqrt[m]{c_I}}{c_{II}^n}. \quad (2)$$

რეალურ ხსანრებში კონცენტრაციის ნაცვლად იყენებენ აქტიურობას α

$$\alpha = \gamma \cdot c, \quad (3)$$

სადაც γ - გახსნილი ნივთიერების აქტიურობის კოეფიციენტი.

აქტიურობის გათვალისწინებით ნერნსტ-შილოვის განაწილების კანონი ასეთ სახეს მიიღებს:

$$K = \frac{\alpha_I}{\alpha_{II}^n}; \quad K = \frac{\sqrt[m]{\alpha_I}}{\alpha_{II}^n}, \quad (4)$$

მესამე განტოლების გათვალისწინებით,

$$K = \frac{\gamma_I c_I}{\gamma_{II} c_{II}^n}, \quad K = \frac{\sqrt[m]{\gamma_I c_I}}{\gamma_{II}^n c_{II}^n}. \quad (5)$$

ამ განტოლების გამოყენებით შეიძლება გამოვთვალოთ აქტიურობის კოეფიციენტი.

განაწილების კანონზე დამყარებული ნივთიერების ექსტრაგირება ანუ ხსარიდან მისი გამოყოფა სხვა, შეურევადი გამხსნელის დამატებით და ნარევის შენჯღრევით. ექსტრაჰირება ლაბორატორიულ პრაქტიკასა და ტექნოლოგიაში მიღებული

მეთოდია. მისი საშუალებით შესაძლებელია ნარევიდან ნივთიერების გამოყოფა. მაგალითად, ექსტრაქციებით გამოჰყოფენ ეთერზეთებს.

ექსპერიმენტული ნაწილი

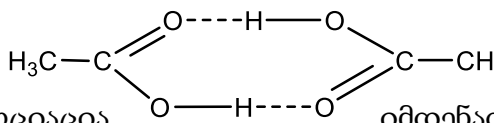
სამუშაოს მიზანი: IV.2.1. ძმარმჟავას განაწილების კოეფიციენტის განსაზღვრა ბენზოლსა და წყალს შორის

IV.2. 2. ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით იოდის განაწილების კოეფიციენტის განსაზღვრა ტოლუოლსა და წყალს შორის

ხელსაწყო, ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივები.

მექანიკური სანჯღრევლა; შტატივი; ბიურეტი;
 4 მიხეხილსაცობიანი ერლენმეიერის კოლბა;
 5 ერლენმეიერის კოლბა; 4 მინის ძაბრი; ქიმიური ჭიქა;
 მენზურა (25 მლ); პიპეტები (1 მლ, 25 მლ); ფილტრის ქაღალდი;
 (1N, 2N, 3N, 4N) ძმარმჟავას ხსნარები; 0,1N NaOH-ის ხსნარი; ბენზოლი;
 ფენოლფტალეინი; გამოხდილი წყალი.

IV.2.1. ძმარმჟავას განაწილების კოეფიციენტის განსაზღვრა ბენზოლსა და წყალს შორის
 ძმარმჟავა არაპოლარულ გამხსნელებში წყალბადური ბმების ხარჯზე არსებობს დიმერების სახით:

წყალში ძმარმჟავა არ  განიცდის დიმერიზაციას, ხოლო დისოციაცია იმდენად უმნიშვნელოა, რომ იგი შეიძლება უგულვებელვყოთ. ამიტომ ბენზოლსა და წყალს შორის ძმარმჟავას განაწილებისას განაწილების კოეფიციენტი გამოისახება ფორმულით:

$$K = \frac{\sqrt{C_2}}{C_1} .$$

თუ კონცენტრაციის ნაცვლად გამოვიყენებთ ხსნარის აქტიურობას, მაშინ განაწილების კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით

$$K = \frac{\sqrt{\gamma_2 C_2}}{\gamma_1 C_1} , \quad (7)$$

სადაც γ_1 და γ_2 - გახსნილი ნივთიერების აქტიურობის კოეფიციენტებია შესაბამის გამხსნელებში.

რადგან ძმარმჟავა ბენზოლში მცირე ხსნადობის გამო იძლევა განზავებულ ხსნარს, ამიტომ $\gamma_2 = 1$ და (7) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$K = \frac{\sqrt{C_2}}{\gamma_1 \cdot C_1} , \quad K\gamma_1 = \frac{\sqrt{C_2}}{C_1} .$$

ამ უკანასკნელი განტოლების თანახმად, განაწილების კოეფიციენტის საშუალებით შეიძლება განისაზღვროს ძმარმჟავას აქტიურობის კოეფიციენტი წყალში (γ_1).

ცდის მსვლელობა

ოთხ მიხეხილსაცობიან კოლბაში ასხამენ 25 მლ ოთხი სავადასხვა ნორმალობის (1N, 2N, 3N, 4N) ძმარმჟავას ხსნარს, თითოეულს ამტებენ იმავე მოცულობის ბენზოლს და მექანიკურ სანჯღრეველაზე 30 წუთი ჯღევის შემდეგ აყოვნებენ სრულ განშრევებამდე. წყლის ფენიდან პიპეტით იღებენ 1 მლ ხსნარს, ათავსებენ ერლენმეიერის კოლბაში, ამტებენ 20-25 მლ გამოხდილ წყალს, რამდენიმე წვეთ ფენოლფტალეინს და ტიტრავენ 0,1N NaOH-ის ხსნარით. ძმარმჟავას წონასწორულ კონცენტრაციას წყლის ფენაში (C_1) ანგარიშობენ ფორმულით:

$$C_1 = \frac{0,1 \cdot n_1}{1},$$

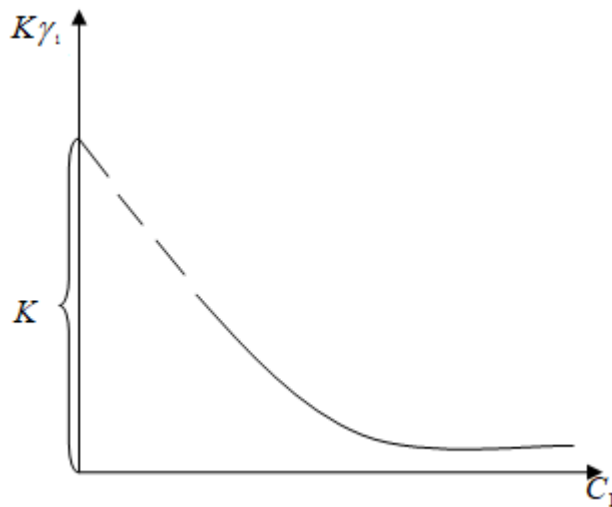
სადაც n_1 -ტიტვრაზე დახარჯული NaOH-ის რაოდენობაა (მლ).

ანალოგიურად საზღვრავენ ძმარმჟავას საწყის კონცენტრაციას (C_0)

$$C_0 = \frac{0,1 \cdot n_0}{1}.$$

მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილში 1. ბენზოლში გახსნილი ძმარმჟავას წონასწორული კონცენტრაცია გამოითვლება სხვაობით $C_2 = C_0 - C_1$.

ბენზოლსა და წყალს შორის ძმარმჟავას განაწილების კოეფიციენტს საზღვრავენ შემდეგნაირად: $K\gamma_1 = \frac{\sqrt{C_2}}{C_1}$ განტოლებით ანგარიშობენ $K\gamma_1$ -ის მნიშვნელობებს ყველა კონცენტრაციის ხსნარისათვის და აგებენ გრაფიკს კოორდინატებში $K\gamma_1 - C_1$ (სურ.2).



სურათი 2. C_1 -სა და $K\gamma_1$ ის შორის დამოკიდებულების გრაფიკი

მიღებული მრუდის ექსტრაპოლაციით (მნიშვნელობისათვის $C_1=0$) ორდინატაზე მოკვეთილი მონაკვეთი განაწილების კოეფიციენტის (K) ტოლია, რადგან ძლიერ განზავებული ხსნარისათვის ($C \rightarrow 0$) $\gamma = 1$. K -ს მიღებული სიდიდისა და $K\gamma_1 = \frac{\sqrt{C_2}}{C_1}$

განტოლებით გაანგარიშებული $K\gamma_1$ ნამრავლის მნიშვნელობების მიხედვით საზღვრავენ ძმარმჟავას აქტიურობის კოეფიციენტს მოცემული კონცენტრაციების ხსნარებისათვის. მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილში 1.

N	გატიტვრავ ე დახარჯულ ო 0,1N NaOH-ის რაოდენობა, მლ		ძმარმჟავას საწყისი კონცენტრაცია , გ.ექვივ./ლ	ძმარმჟავას წონასწორული კონცენტრაცია, გ.ექვივ./ლ		განაწილების კოეფიციენტი ო	აქტიურობის კოეფიციენტი ო
	n_0	n_1		C_1	წყალში		
			ო		ო	C_1	C_2
1N							
2N							
3N							
4N							

**IV.2.2. ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით იოდის განაწილების კოეფიციენტის
განსაზღვრა ტოლუოლსა და წყალს შორის
ცდის მსვლელობა**

ხელსაწყო, ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივები.

KΦK-2 ტიპის ერთსხივიანი ფოტოკოლორიმეტრი (ფეკ); კიუვეტების ნაკრები;
პიპეტი (10 მლ);

(0,1N, 0,05N, 0,025N, 0,125N, 0,00625N) იოდის ხსნარები, ტოლუოლი.

ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით ნივთიერების კონცენტრაციის განსაზღვრისთვის აუცილებელია ამ ნივთიერების ცნობილი კონცენტრაციებისა და შესაბამისი ოპტიკური სიმკვრივის დამოკიდებულების საკალიბრებელი მრუდის აგება.

სათანადო შუქფილტრისა ($\lambda = 600$ -ტალღის სიგრძით) და კიუვეტის შერჩევის შემდეგ იზომება 5 სხვადასხვა კონცენტრაციის (0,1N, 0,05N, 0,025N, 0,125N, 0,00625N) იოდის წყალხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე. შედეგები შეაქვთ ცხრილ 2-ში. იგება საკალიბრებელი მრუდი $D = f(C)$ სისტემისათვის იოდი-წყალი, სადაც აბსცისაზე გადაიზომება იოდის ხსნარების კონცენტრაციები, ხოლო ორდინატაზე – ამ კონცენტრაციების შესაბამისი ოპტიკური სიმკვრივეები.

თითოეული კონცენტრაციიდან მიხეხილსაცობიან კოლბაში ასხამენ 15 მლ (0,1N, 0,05N, 0,025N, 0,125N, 0,00625N) იოდის წყალხსნარს. ამატებენ იმავე მოცულობის ტოლუოლს, ანჯღრევენ 3-5 წუთის განმავლობაში, აყოვნებენ სრულ განშრევებამდე, და წყლის ფენიდან იღებენ სინჯს. ზომავენ მის ოპტიკურ სიმკვრივეს რომლის მიხედვითაც, საკალიბრებელ მრუდებზე პოულობენს იოდის წონასწორულ კონცენტრაციას წყალში C_1 და სხვაობით საზღვრავენ იოდის კონცენტრაციას ტოლუოლში C_2 . $C_2 = C_0 - C_1$; იოდის განაწილების კოეფიციენტს წყალსა და ტოლუოლს

შორის თითოეული კონცენტრაციისათვის ითვლიან ფორმულით $K = \frac{C_1}{C_2}$ და ანგარიშობენ მის საშუალო მნიშვნელობას.

ცხრილი 2

#	იოდის წყალხსნარის კონცენტრაცია C_0	ოპტიკური სიმკვრივე D_0	იოდის წონასწორული წყალხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე D_1	იოდის წყალხსნარის წონასწორული კონცენტრაცია C_1	იოდის წონასწორული კონცენტრაციის ტოლუოლში C_2	განაწილების კოეფიციენტი K	$K_{საშ}$
1							
2							
3							
4							
5							

საკონტროლო კითხვები:

1. რას აღწერს ნერნსტ-შილოვის განაწილების კანონი?
2. რა არის განაწილების კოეფიციენტი და რისი ტოლი იგი?
3. დაწერეთ განაწილების კოეფიციენტის განტოლება, როცა განაწილებული ნივთიერება განიცდის დისოციაციას ან ასოციაციას.
4. დაწერეთ განაწილების კოეფიციენტის განტოლება, როცა განაწილებული ნივთიერება არ განიცდის არც დისოციაციას და არც ასოციაციას.
5. როგორ სახეს იღებს ნერნსტ-შილოვის განაწილების კანონი აქტიურობის გათვალისწინებით?

V.1. კრიომეტრია

ხსნარის ზოგადი თვისებები განპირობებულია გამხსნელის ბუნებით და გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციით და არ არის დამოკიდებული გახსნილი ნივთიერების თვისებებზე. მათ კოლიგატიური თვისებები ეწოდება. კოლიგატიური თვისებებით არის გამოწვეული ნაჯერი ორთქლის წნევის შემცირება ხსნარის ზემოთ, დუდილის ტემპერატურის გაზრდა, გაყინვის ტემპერატურის შემცირება, ოსმოსური წნევა და სხვ. ხსნარის კოლიგატიური თვისებები განსაზღვრავს თხევადი გამხსნელის ქიმიური პოტენციალის ცვლილებას გახსნილი ნივთიერების თანაობისას.

განზავებული ხსნარების დუდილის და გამყარების ტემპერატურები

არააქროლადი ნივთიერების გახსნის დროს ორთქლი ხსნარის ზემოთ შედგება მხოლოდ გამხსნელის მოლეკულებისაგან. სითხე დულს, როდესაც ნაჯერი ორთქლის წნევა ხსნარის ზევით უტოლდება ატმოსფერულ წნევას. რაულის კანონის თანახმად გამხსნელის ნაჯერი ორთქლის წნევა ხსნარის ზემოთ ნაკლებია, სუფთა გამხსნელის ნაჯერი ორთქლის წნევაზე. ამიტომ გამხსნელის ნაჯერი ორთქლის წნევა ხსნარის ზემოთ ატმოსფერულ წნევას უფრო მაღალ ტემპერატურაზე გაუტოლდება, ვიდრე სუფთა გამხსნელის ნაჯერი ორთქლის წნევა. ეს იწვევს ხსნარის დუდილის ტემპერატურის ზრდას სუფთა გამხსნელის დუდილის ტემპერატურასთან შედარებით. ანუ ერთნაირ წნევაზე, არააქროლადი ნივთიერების ხსნარი დულს უფრო მაღალ ტემპერატურაზე, ვიდრე სუფთა გამხსნელი $T_{\text{დულ}}^0 < T_1 < T_2$ (სურ.1). გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად ეს განსხვავება იზრდება. დუდილის დროს სითხე და ორთქლ ერთმანეთთან წონასწორობაშია.

თუ ხსნარის კონცენტრაციას მოლალობით გამოვსახავთ, ხსნარი 1000გ გამხსნელში გახსნილ m მოლ ნივთიერებას შეიცავს (m -ხსნარის მოლალური კონცენტრაციაა)

$$\Delta T_{\text{დულ}} = \frac{RT_1^2}{1000 \lambda} m M_1 = \frac{RT^2}{1000 L} m, \quad (1)$$

სადაც M_1 გამხსნელის მოლეკულური მასაა, λ - გამხსნელის აორთქლების მოლური სითბოა, $L = \frac{\lambda}{M_1}$ - გამხსნელის აორთქლების ხვედრითი სითბო. შემოვიღოთ აღნიშვნა

$\frac{RT_1^2}{1000 L} = K_{\text{გ}}$ ამ მუდმივას ებულისკოპიურ მუდმივას უწოდებენ. $K_{\text{გ}}$ გამოსახავს ისეთი

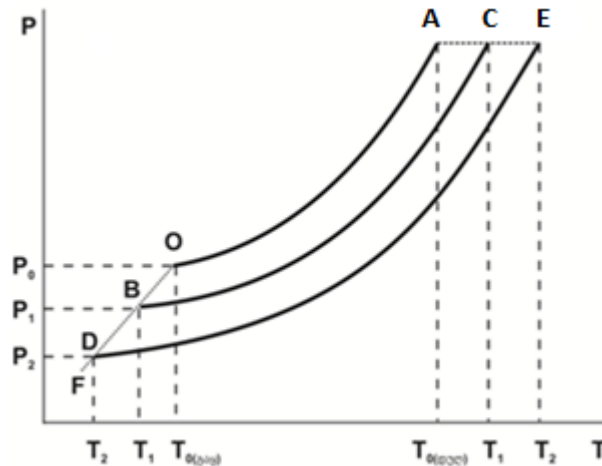
ხსნარის დუდილის ტემპერატურის აწევას, რომელიც 1000 გ გამხსნელში 1 მოლ გახსნილ ნივთიერებას შეიცავს. იგი გამხსნელის თვისებებს ახასიათებს და დამოკიდებული არ არის გახსნილი ნივთიერების ბუნებაზე. დუდილის ტემპერატურის ცვლილება $\Delta T_{\text{დულ}} = T_{\text{დულ}}^1 - T_{\text{დულ}}^0$ სადაც $T_{\text{დულ}}^1$ ხსნარის, $T_{\text{დულ}}^0$ გამხსნელის დუდილის ტემპერატურებია. $\Delta T_{\text{დულ}}$ ასე ჩაიწერება:

$$\Delta T_{\text{დულ}} = K_{\text{გ}} \cdot m. \quad (2)$$

განზავებული ხსნარის დუდილის ტემპერატურის ნამატი $\Delta T_{\text{დულ}}$ სუფთა გამხსნელის დუდილის ტემპერატურასთან შედარებით, გახსნილი ნივთიერების მოლალური კონცენტრაციის პირდაპირპროპორციულია. ეს მხოლოდ მაშინ არის მართებული, როცა გახსნის დროს არ ხდება ნივთიერების დისოციაცია იონებად ან ასოციაცია, ე.ი. გახსნილი ნივთიერების მოლეკულური მასა უცვლელია.

ხსნარის ზემოთ გამხსნელის ნაჯერი ორთქლის წნევის შემცირების შედეგია არააქროლადი ნივთიერების ხსნარის გაყინვის ტემპერატურის დაწევა სუფთა გამხსნელის გაყინვის ტემპერატურასთან შედარებით. გაყინვის ტემპერატურა ის

ტემპერატურა, რომელზეც წარმოიქმნება მყარი ფაზის პირველი კრისტალები. არააქროლადი ნივთიერების ხსნარის გაყინვის დროს მყარი ფაზის (სუფთა გამხსნელის) ზედაპირზე ნაჯერი ორთქლის წნევა ხსნარის ნაჯერი ორთქლის წნევაზე ნაკლები იქნება. ვინაიდან რაულის კანონის თანახმად გამხსნელის ნაჯერი ორთქლის წნევა ხსნარს ზემოთ (BC, DE წირები) ნაკლებია სუფთა გამხსნელის ნაჯერი (OA წირი), ორთქლის წნევაზე, ხსნარი გაიყინება უფრო დაბალ ტემპერატურაზე, ვიდრე სუფთა გამხსნელი. $T_2 < T_1 < T_{გაყ}$ (სურ.1).



სურათი 1. სუფთა გამხსნელისა და ხსნარის ნაჯერი ორთქლის წნევის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

გაყინვის ტემპერატურის დაწევა ისევე დამოკიდებული ხსნარის მოლალურ (m) კონცენტრაციაზე, როგორც დუღილის ტემპერატურის აწევა $\Delta T_{გაყ} = K_{გრ} \cdot m$. (3)

სადაც $K_{გრ} = \frac{RT_1^{0.2}}{1000 L_{დნ}}$, $L_{დნ}$ - სუფთა გამხსნელის დნობის კუთრი სითბოა. $K_{გრ}$ -

კრიოსკოპიული მუდმივა, ის გამოსახავს ისეთი ხსნარის გაყინვის ტემპერატურის შემცირებას, რომელიც 1000 გ გამხსნელში 1 მოლ გახსნილ ნივთიერებას შეიცავს. გაყინვის ტემპერატურის ცვლილება $\Delta T_{გაყ} = T_{გაყ}^1 - T_{გაყ}^0$. $T_{გაყ}^1$ - ხსნარის, $T_{გაყ}^0$ - გამხსნელის გაყინვის ტემპერატურაა.

$K_{გრ}$ დამოკიდებულია მხოლოდ გამხსნელის თვისებებზე. განზავებულ ხსნარში გამხსნელის გაყინვის ტემპერატურის შემცირება განპირობებულია მხოლოდ გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციით და არ არის დამოკიდებული მის ბუნებაზე.

კრიოსკოპიისა და ებულიოსკოპიის შესაძლებლობები თანაბარია, მაგრამ, რადგან გაყინვის ტემპერატურის განსაზღვრა უფრო ადვილია, ვიდრე დუღილისა, კრიოსკოპია უფრო ხშირად გამოყენებული მეთოდია.

სუფთა გამხსნელის და ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარის დუღილის და გაყინვის ტემპერატურის პირდაპირი გაზომვით განისაზღვრება გახსნილი ნივთიერების მოლეკულური M_r მასა. მოლეკულური მასის განსაზღვრის ასეთ მეთოდებს ეწოდება ებულიოსკოპიური ან კრიოსკოპიული.

$$M_r = K_{გრ} \frac{g_2 1000}{\Delta T_{დუღ} g_1}, \quad M_r = K_{გრ} \frac{g_2 1000}{\Delta T_{გაყ} g_1}, \quad (4)$$

სადაც g_1 და g_2 სუფთა გამხსნელის და გახსნილი ნივთიერების მასებია.

იმ შემთხვევაში, თუ გახსნილი ნვთიერების მოლეკულური მასა დისოციაციის ან ასოციაციის შედეგად იცვლება, (2) და (3) განტოლებებში უნდა იქნეს შეტანილი შესწორება ვანტ-ჰოფის იზოტონური კოეფიციენტი, რომელიც გვიჩვენებს რამდენჯერ იცვლება ნაწილაკთა რიცხვი დისოციაციის ან ასოციაციის შედეგად.

$$\Delta T_{\text{გაყ}} = i \cdot K_{\text{კრ}} \cdot m \quad \text{საიდანაც,} \quad i = \frac{\Delta T_{\text{გაყ}}}{K_{\text{კრ}} \cdot m} \quad (5)$$

ექსპერიმენტულად $\Delta T_{\text{გაყ}}$ -ს განსაზღვრით m კონცენტრაციის ხსნარისათვის მე-5 ტოლობით გამოითვლება იზოტონური კოეფიციენტი i . ასევე იზოტონური კოეფიციენტი შეიძლება განვსაზღვროთ :

$$i = \frac{M_{\text{თეორ.}}}{M_{\text{ექსპ.}}} \quad (6)$$

ხსნარის გაყინვის ტემპერატურის ცვლილებით შეიძლება დისოციაციის ხარისხის α (გახსნილი ნივთიერების იონებად დისოცირებული მოლეკულების რიცხვის ფარდობა მოლეკულების საერთო რიცხვთან) და აქტიურობის კოეფიციენტის – γ განსაზღვრა.

თუ ν - ერთი მოლეკულიდან მიღებული იონების რიცხვია, n გახსნილი მოლეკულიდან მიიღება $n\alpha\nu$ იონი, არადისოცირებული მოლეკულების რიცხვი იქნება $n(1-\alpha)$, ნაწილაკების საერთო რაოდენობა

$$ni = n\alpha\nu + n(1-\alpha) = n\{1+\alpha(\nu-1)\}; \quad i = 1+\alpha(\nu-1). \quad (7)$$

მე-7 ფორმულიდან ისაზღვრება დისოციაციის ხარისხი α ;

არაელექტროლიტებისათვის აქტიურობის კოეფიციენტის – γ განსაზღვრა ხდება ფორმულით: $\ln \gamma = -2j$; $j = 1 - \frac{\Delta T}{K \cdot m}$, ან $j = 1 - i$. (8)

ელექტროლიტებისათვის: $\ln \gamma = -3j$; $j = 1 - \frac{\Delta T}{2Km}$, (9)

სადაც: γ - აქტიურობის კოეფიციენტი;

K - კრიოსკოპიული ან ებულიოსკოპიული მუდმივა;

ΔT - ხსნარის გაყინვის ტემპერატურის დაწვევა ან დუღილის ტემპერატურის აწევა;

m - ხსნარის მოლალობა.

კრიოსკოპიას მიმართავენ ნივთიერების სისუფთავის, ხსნადობის, ხსნარის შედგენილობის, გახსნილი ნივთიერების მოლეკულური მასის, სუსტი ელექტროლიტის დისოციაციის ხარისხის და ნივთიერების აქტიურობის კოეფიციენტის, გამხსნელის და გახსნილი ნივთიერების თერმოდინამიკური აქტიურობების, წონასწორობის მუდმივას დასადგენად.

ექსპერიმენტული ნაწილი

სამუშაოს მიზანია: V.1.1. გახსნილი ნივთიერების მოლეკულური მასის განსაზღვრა

კრიომეტრული მეთოდით. აქტიურობის კოეფიციენტის განსაზღვრა

ხელსაწყო, ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივები

მაცივარი; მცირე ზომის ქიმიური ჭიქა კორპის სახურავით; თერმომეტრი;

ანალიზური სასწორი ВЛА-200-М; წვრილსაწონები;

ბენზოლი; ნაფთალინი.



სურათი 2. მაცივარი

V.1.1. ნაფთალინის მოლეკულური მასის განსაზღვრა

კრიომეტრული მეთოდით გახსნილი ნივთიერების მოლეკულური მასის განსაზღვრა გამხსნელისა და ხსნარის გაყინვის ტემპერატურათა სხვაობაზეა დაფუძნებული. გახსნილი ნივთიერება უნდა იყოს არააქროლადი და არ განიცდიდეს დისოციაციას ან ასოციაციას. კრიომეტრული გაზომვებისათვის გამოიყენება მცირე ზომის მაცივარი, რომელიც ირთვება 220 ვოლტის ძაბვის წრედში.

მცირე ზომის ჭიქაში ასხამენ 30 გ ბენზოლს, ახურავენ სახურავს, რომელშიც ჩადგმულია თერმომეტრი. ათავსებენ მაცივარში და რამდენჯერმე ზომავენ ბენზოლის გაყინვის ტემპერატურას. გამხსნელის გაყინვის ტემპერატურის განსაზღვრის შემდეგ, ჭიქას ამოიღებენ მაცივრიდან, გააღობენ და უმატებენ 1,28 გ ნაფთალინს. ზომავენ ხსნარის გაყინვის ტემპერატურას. სუფთა გამხსნელის და ხსნარის გაყინვის ტემპერატურების სხვაობით ΔT საზღვრავენ გახსნილი ნივთიერების მოლეკულურ მასას ფორმულით:

$$M_r = K_{\text{გრ}} \frac{g_2 \cdot 1000}{\Delta T_{\text{გაყ}} g_1}$$

სადაც g_1 და g_2 გამხსნელის და გახსნილი ნივთიერების მასებია.

ცხრილი 1.

გამხსნელი და გახსნილი ნივთიერება	რაოდენობა g_1 g_2 გრ	გაყინვის ტემპერატურა °C		ΔT	მოლეკულური მასა M_r		აქტიურობა კოეფ. γ	შენიშვნა
		გამხსნელის	ხსნარის		ექსპერ.	თეორ.		
ბენზოლი	30							$K_{\text{გრ.ბენზ}} = 5,07$ 20°C –ზე $\rho_{\text{ბენზ}} = 0,882 \text{ გ/მლ}$ $T_{\text{გაყ.ბენზ}} = 5,45$ $^\circ\text{C}$
ნაფთალინი	1,28							

V.1.2. ნაფთალინის აქტიურობის კოეფიციენტის განსაზღვრა

არაელექტროლიტებისათვის აქტიურობის კოეფიციენტი— γ ისაზღვრება ფორმულით:

$$\ln \gamma = -2j; \text{ სადაც } j = 1 - \frac{\Delta T_{\text{ბაჟ}}}{K_{\text{კრ}} \cdot m}; \quad \text{ვინაიდან } i = \frac{\Delta T_{\text{ბაჟ}}}{K_{\text{კრ}} \cdot m}; \quad j = 1 - i;$$

იზოტონური კოეფიციენტი ასევე შეიძლება განვსაზღვროთ ფარდობით: $i = \frac{M_{\text{ოკორ.}}}{M_{\text{ქსპ.}}}$.

საკონტროლო კითხვები:

1. გრაფიკზე აჩვენეთ, რომ ხსნარი იყინება უფრო დაბალ ტემპერატურაზე ვიდრე სუფთა გამხსნელი.
2. რაზეა დამოკიდებული ხსნარის დუღილის ტემპერატურის შემცირება?
3. რას ახასიათებს კრიოსკოპული მუდმივა: გამხსნელს თუ გახსნილ ნივთიერებას?
4. რას გვიჩვენებს კრიოსკოპული მუდმივა?
5. როგორ განისაზღვრება გახსნილი ნივთიერების მოლეკულური მასა კრიოსკოპული მუდმივას გამოყენებით?
6. რა უნდა გავზომოთ კრიოსკოპული მეთოდით გახსნილი ნივთიერების მოლეკულური მასის განსაზღვრად?
9. რას გვიჩვენებს ვანტ-ჰოფის იზოტონური კოეფიციენტი?

VI. ელექტროქიმია

VI.1. ელექტროლიტების ხსნარების ელგამტარობა

ელექტროქიმია ფიზიკური ქიმიის ნაწილია, რომელიც შეისწავლის ქიმიური და ელექტრული მოვლენების ურთიერთკავშირს, მათ ურთიერთგარდაქმნას. იგი იკვლევს ქიმიური ენერჯიის გარდაქმნას ელექტრულ ენერჯიად და პირიქით.

ქიმიური ენერჯიის გარდაქმნა ელექტრულ ენერჯიად მიმდინარეობს გალვანურ ელემენტებსა და აკუმულატორებში, ხოლო ელექტრული ენერჯიის გარდაქმნა ქიმიურად - ელექტროდებზე, ხსნარში ელექტრული დენის გავლის დროს (ელექტროლიზი).

ელექტრული დენის გამტარობის მიხედვით განასხვავებენ I და II გვარის გამტარებს. I გვარის გამტარებია ლითონები, მათი შენადნობები მყარ და გამლღვალ მდგომარეობებში, გრაფიტი და ზოგი მარილი. მათში დენის გავლა ელექტრონების გადაადგილებით ხდება. ასეთ გამტარობას ელექტრონული ელექტროგამტარობა ეწოდება. ამ გამტარებში დენის გავლის შემდეგ მათი ფიზიკური მდგომარეობა და ქიმიური თვისებები უცვლელია. ტემპერატურის გაზრდით წინააღობა იზრდება, რადგან იზრდება ლითონის იონთა რხევის ამპლიტუდა, რაც აბრკოლებს ელექტრონების მოძრაობას. II გვარის გამტარებია ელექტროლიტების ხსნარები: მჟავების და ტუტეებისა და მარილების წყალხსნარები ან მათი ნალღობები. მათში დენის გავლა იონების გადაადგილებით მიმდინარეობს. II გვარის გამტარების ელგამტარობას იონური ანუ ელექტროლიტური ელექტროგამტარობა ეწოდება. II გვარის გამტარებზე ელექტრული დენის მოქმედების შედეგად მათში ქიმიური ცვლილებები მიმდინარეობს. I გვარის გამტარებისაგან განსხვავებით II გვარის გამტარებში დენის გავლის დროს, იონები ორივე მიმართულებით გადაადგილდება. I გვარის გამტარში დენის მიმართულებად მიჩნეულია ელექტრონების მოძრაობის საპირისპირო მიმართულება, II გვარის გამტარებში კი კათიონების მოძრაობის მიმართულება. ელექტროლიტები სრულად ან ნაწილობრივ იშლება იონებად. ამ პროცესს რაოდენობრივად დისოციაციის ხარისხითა და დისოციაციის მუდმივათი ახასიათებენ. დისოციაციის ხარისხი (α) გვიჩვენებს იონებად დაშლილი მოლეკულების (n) რიცხვის ფარდობას ხსნარში არსებული მოლეკულების საერთო რიცხვთან (N)

$$\alpha = \frac{n}{N} . \quad (1)$$

დისოციაციის მუდმივა (K) გამოსახავს დისოცირებული მოლეკულების რიცხვის (n) ფარდობას არადისოცირებული ($N-n$) მოლეკულების რიცხვთან.

$$K = \frac{n}{N-n} . \quad (2)$$

დისოციაციის ხარისხსა და მუდმივას შორის კავშირს ამყარებს ოსტვალდის განზავების კანონი, რომლის თანახმად

$$K = \frac{\alpha^2 \cdot C}{1-\alpha} . \quad (3)$$

ტემპერატურის გაზრდით ელექტროლიტების წინააღობა მცირდება, ელგამტარობა იზრდება.

ნივთიერების მიერ დენის გატარების უნარს ახასიათებენ გამტარობით ან წინააღობით. ომის კანონის თანახმად დენის ძალა I პირდაპირპროპორციულია გამტარის ბოლოებზე მოდებული პოტენციალთა სხვაობისა U და უკუპროპორციულია გამტარის R წინააღობისა.

$$I = \frac{U}{R} . \quad (4)$$

$W = \frac{1}{R}$ – ხსნარის ელექტროგამტარობის უნარი ანუ ელექტროგამტარობაა.

განასხვავებენ (χ) კუთრ და (λ) ეკვივალენტურ ელექტროგამტარობებს.

კუთრი ელექტროგამტარობა (χ) ისეთი ხსნარის ელექტროგამტარობაა, რომელიც მოთავსებულია 1სმ სიგრძის 1სმ² განივკვეთის ჭურჭელში, როცა პოტენციალთა სხვაობა 1 ვოლტია. მისი განზომილებაა ომი⁻¹სმ⁻¹, სიმენსი . მეტრი⁻¹.

სხვადასხვა სახის გამტარის (სითხის) ელექტროგამტარობა ფართო საზღვრებში იცვლება. რადგან დენის გავლას ხსნარში იონები განაპირობებს (უფრო ზუსტად მათი მოძრაობა), ხსნარის კუთრი ელექტროგამტარობა დამოკიდებულია გამხსნილის გვარობასა და იონთა რაოდენობაზე მოცულობის ერთეულში, ე.ი. ელექტროლიტის კონცენტრაციაზე, იონთა ძვრადობაზე, გამხსნელის დიელექტრიკულ შეღწევადობაზე, ასევე ტემპერატურაზე, გარე წნევაზე. თუ სუსტი ელექტროლიტის ხსნარის კონცენტრაციაა c , დისოციაციის ხარისხი α , იონთა კონცენტრაცია იქნება $c \alpha$, იონთა კონცენტრაციას 1 სმ³-ში ტოლია $\frac{c\alpha}{1000}$. ხსნარის კუთრი ელექტროგამტარობა χ იმ მუხტების ჯამის პროპორციულია, რომელიც ორივე იონს დროის ერთეულში გადააქვს.

χ ტოლია 1 სმ³-ში $\frac{c\alpha}{1000}$ იონთა კონცენტრაცია გამრავლებული იონთა მოძრაობის სიჩქარეთა ჯამზე

$$\chi = \frac{c\alpha}{1000} F(U + V) , \quad (5)$$

სადაც F ერთი ეკვივალენტი იონის მუხტია (ფარადეის რიცხვი) და 96500 კულონის ტოლია, U და V კი (+) და (-) იონების მოძრაობის სიჩქარე მათ იონთა ძვრადობასაც უწოდებენ.

გაზომვისას სხვადასხვა რაოდენობის გახსნილი ნივთიერება შეიძლება იყოს, რაც სხვადასხვა ელექტროლიტის შემცველ ხსნარებს კუთრი ელექტროგამტარობების შედარების საშუალებას გამორიცხავს.

ხსნარის თვისებების შესწავლა გამარტივდა მას შემდეგ, რაც განისაზღვრა ერთნაირი კონცენტრაციის ხსნარების ელექტროგამტარობა. ლენცის მიერ შემოტანილ იქნა λ ეკვივალენტური ელექტროგამტარობის ცნება.

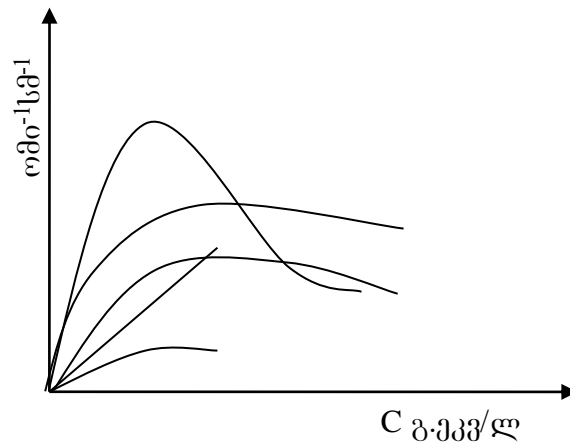
E ეკვივალენტური ელექტროგამტარობა ისეთი ხსნარის ელექტროგამტარობაა, რომელიც შეიცავს ერთ გრამეკვივალენტ გახსნილ ნივთიერებას და მოთავსებულია 1 სმ² ფართობის და 1 სანტიმეტრით დაშორებულ ორ ელექტროდს შორის. მისი განზომილებაა ომი⁻¹სმ²გ.ეკვ⁻¹ ან სიმენსი.მ²/გ.ეკვ.

$$\lambda = \frac{\chi \cdot 1000}{c} \quad \text{ან} \quad \lambda = \chi \cdot 1000 \cdot v , \quad (6)$$

სადაც c ხსნარის კონცენტრაციაა, v განზავება.

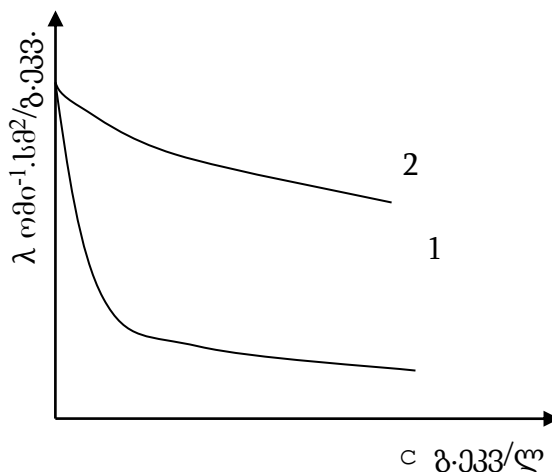
კუთრი და ეკვივალენტური ელექტროგამტარობა დამოკიდებულია ხსნარის კონცენტრაციასა და ტემპერატურაზე. ეკვივალენტური ელექტროგამტარობა გამოსახავს ერთი გრამეკვივალენტი ელექტროლიტის დისოციაციით მიღებული ყველა იონის ელექტროგამტარობის უნარს.

ძლიერ ელექტროლიტებში მცირე კონცენტრაციის საზღვრებში შეიმჩნევა კუთრი ელექტროგამტარობის ზრდა გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად, მიაღწევს რა მაქსიმუმს იგი იწყებს შემცირებას. სხვადასხვა ნიშნის იონების ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედება ხელს უშლის იონთა მოძრაობას.



სურათი 1. კუთრი ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება კონცენტრაციაზე მუდმივი ტემპერატურის დროს

მცირდება მათი გადაადგილების სიჩქარე, დისოციაციის ხარისხი და შესაბამისად ელექტროგამტარობა, ხოლო სუსტი ელექტროლიტების შემთხვევაში კონცენტრაციის გაზრდისას კუთრი ელექტროგამტარობის მკვეთრი ცვლილება არ შეიმჩნევა. წნევის უმნიშვნელო გაზრდით, ელექტროგამტარობა მნიშვნელოვნად არ იცვლება. ხოლო წნევის ძლიერი გაზრდა იწვევს ელექტროგამტარობის მნიშვნელოვან შემცირებას.



სურათი 2. სუსტი (1) და ძლიერი (2) ელექტროლიტების ეკვივალენტური ელექტროგამტარობის დამოკიდებულება კონცენტრაციაზე მუდმივი ტემპერატურის დროს

რაც შეეხება ეკვივალენტურ ელექტროგამტარობას, ძლიერი ელექტროლიტების კონცენტრაციის გაზრდასთან ერთად, იგი უმნიშვნელოდ იცვლება (მცირდება), ხოლო სუსტი ელექტროლიტებისათვის ეს ცვლილება უფრო მნიშვნელოვანია – ჯერ

მკვეთრად მცირდება, ხოლო შემდეგ მიაღწევს რა ზღვრულ მნიშვნელობას, პრაქტიკულად მუდმივია.

ეკვივალენტური ელექტროგამტარობა უსასრულო განზავებისას წარმოადგენს იონების ძვრადობების ჯამს

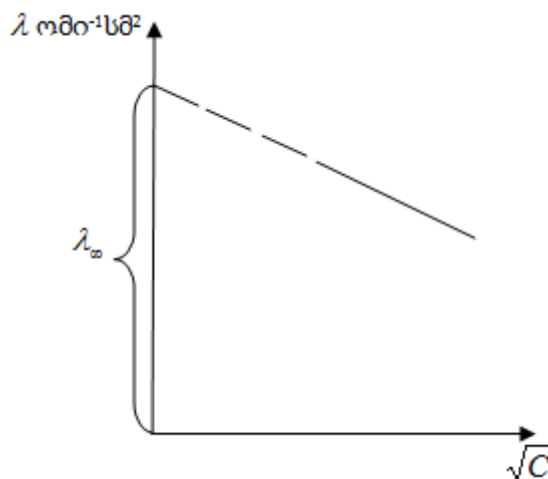
$$\lambda_{\infty} = U + V. \quad (7)$$

იონთა დამოუკიდებელი მოძრაობის კანონი ხსნარის უსასრულო განზავების დროს ექსპერიმენტულად დაადგინა კოლრაუშმა. მან განსაზღვრა ძლიერი ელექტროლიტის განზავებული ხსნარის ეკვივალენტური ელექტროგამტარობის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულება

$$\lambda = \lambda_{\infty} - k\sqrt{c}, \quad (8)$$

სადაც c ხსნარის კონცენტრაციაა; k – გამხსნელის ბუნებასა და ტემპერატურაზე დამოკიდებული ემპირიული მუდმივა.

თუ ავაგებთ გრაფიკს ეკვივალენტურ ელგამტარობასა λ და \sqrt{c} შორის, მივიღებთ წრფეს რომლის აბსცისთა ღერძის მიმართ დახრის კუთხის ტანგენსი რიცხობრივად k -ტოლია, ხოლო წრფის ექსტრაპოლაციით ორდინატთა ღერძზე მოკვეთილი მონაკვეთი შეესაბამება λ_{∞} - ის მნიშვნელობას.



სურათი 3. ეკვივალენტური ელგამტარობის დამოკიდებულება ხსნარის განზავებაზე

ტემპერატურის გაზრდით იონთა მოძრაობის სიჩქარე მატულობს და ხსნარის ელექტროგამტარობა იზრდება.

ეკვივალენტური ელექტროგამტარობა უსასრულო განზავებისას წარმოადგენს იონების ძვრადობების ჯამს

$$\lambda_{\infty} = \lambda_{\infty+} + \lambda_{\infty-} \quad (9)$$

$\lambda_{+} = F U_{+}$, $\lambda_{-} = F V_{-}$; განსხვავება λ_{∞} -სა და λ -ს შორის ელექტროლიტის მცირე დისოციაციით არის გამოწვეული $\lambda = \alpha \lambda_{\infty}$, საიდანაც შეიძლება განვსაზღვროთ დისოციაციის ხარისხი

$$\alpha = \frac{\lambda}{\lambda_{\infty}}. \quad (10)$$

ეს გამოსახულება ძლიერი ელექტროლიტებისათვის არ გამოდგება, ვინაიდან იძლევა საგრძნობ ცდომილებას სხვა გზით გაზომილთან შედარებით, ხოლო სუსტი ელექტროლიტებისათვის მისაღებია. თუ მე-3 განტოლებაში შევიტანთ დისოციაციის ხარისხის მნიშვნელობას მე-10 განტოლებიდან, შესაბამისი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ

$$K = \frac{\lambda^2 \cdot C}{\lambda_\infty (\lambda_\infty - \lambda)} \quad (11)$$

ელექტროგამტარობის გაზომვას იყენებენ:

1. კონდუქტომეტრულ რაოდენობით ანალიზში, ეკვივალენტობის წერტილის განსასაზღვრად, რაც ხსნარის ელექტროგამტარობის ცვლილებით მიიღწევა. ამ მეთოდს მიმართავენ იმ შემთხვევაში, როდესაც გარკვეული ძვრადობის იონი, განსხვავებული ძვრადობის იონით შეიცვლება. მჟავათა ნარევის შედგენილობის განსაზღვრის დროს ან, როდესაც ინდიკატორის გამოყენება რაიმე მიზეზით (მღვრიე, შეფერილი ხსნარები) შეუძლებელია;

2. წყლის დისოციაციის ხარისხის განსაზღვრისათვის. სუფთა წყალს უმნიშვნელო დისოციაციის გამო დაბალი ელექტროგამტარობა აქვს, $\chi = 3,6 \cdot 10^{-8} \text{ომი}^{-1}\text{სმ}^{-1}$, ვინაიდან სუფთა წყლის ელექტროგამტარობა განპირობებულია H^+ და OH^- იონების ძვრადობებით, კუთრი ელექტროგამტარობიდან გამომდინარე, შეიძლება წყლის დისოციაციის ხარისხის განსაზღვრა

$$\chi = 3,6 \cdot 10^{-8} = \frac{c\alpha}{1000} (315 + 174) = 0,484c \alpha; \quad c \alpha = 0,74 \cdot 10^{-7} \text{მოლი/ლ};$$

3. ნივთიერების გახსნის სიჩქარის განსასაზღვრად;

4. ძნელად ხსნადი მარილის გახსნის სიძნელის განსასაზღვრად.

ექსპერიმენტული ნაწილი

სამუშაოს მიზანი: VI.1. 1. ჭურჭლის მუდმივას განსაზღვრა.

VI.1. 2. სუსტი ელექტროლიტების დისოციაციის მუდმივას განსაზღვრა.

VI.1. 3. ძლიერი ელექტროლიტების ზღვრული ეკვივალენტური ელგამტარობის განსაზღვრა.

ხელსაწყო, ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივები.

„P-577“ ცვლადი დენის ბოგირი;

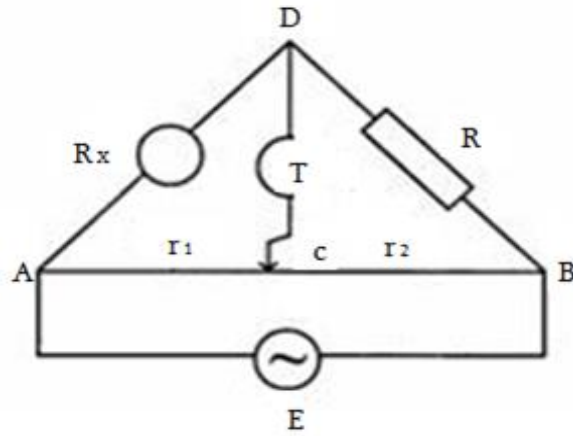
ქიმიური ჭურჭელი; საცობი ჩამაგრებული ორი პლატინის ფირფიტებით;

2 მენზურა (25 მლ);

1/16N ქარვის მჟავა; (0,1N; 0,05N; 0,01N; 0,005N) KCl -ის ხსნარი;

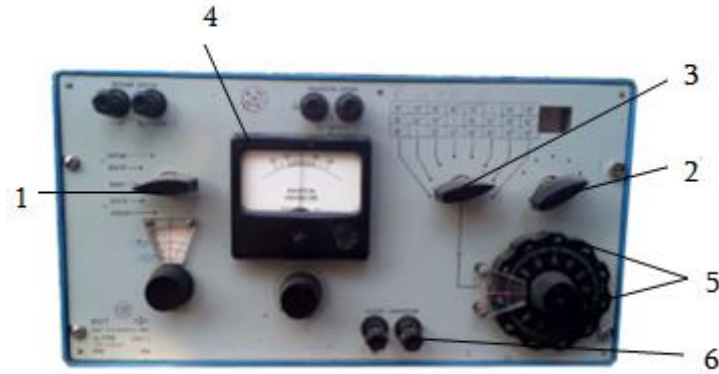
გამოხდილი წყალი.

ელექტროლიტების ხსნარების ელგამტარობის განსაზღვრისათვის ზომავენ ხსნარის წინაღობას ცვლადი დენის ბოგირის „P-577“-ის გამოყენებით, რომელიც აგებულია კოლრაუშის ბოგირის მუშაობის პრინციპზე. კოლრაუშის ბოგირის სქემა მოცემულია სურათ 4-ზე, ხოლო ცვლადი დენის ბოგირის „P-577“-ის წინა ხედი -სურათ 5-ზე.



სურათი 4. კოლრაუშის ბოგირის სქემა.

AB - რეოქორდა; R - წინაღობათა მაღაზია; R_x - საკვლევი ხსნარის უცნობი წინაღობა; E - ცვლადი დენის წყარო (მაღალი სიხშირის ბგერითი გენერატორი „3T-10“); T - ნულ-ხელსაწყო - დაბალი სიხშირის ტელეფონი (ცვლადი დენის გალვანომეტრი ან ოსცილოგრაფი); C- მოძრავი კონტაქტი.



სურათი 5. ცვლადი დენის ბოგირი P-577

1-ცვლადი დენის ქსელში ჩამრთველი; 2-კოლრაუშის სქემის ჩამრთველი; 3-ცნობილი წინაღობის (R) ჩამრთველი; 4-0-ინსტრუმენტი (გალვანომეტრი); 5- რეოქორდის სახელურები დანაყოფებით; 6-უცნობი წინაღობის (R_x) ჩამრთველი.

ცვლადი დენის ბოგირზე მუშაობის მეთოდიკა

- გაზომვის დაწყებამდე აუცილებელია დავაყენოთ ჩამრთველები:
 1. (2) სახელურის საშუალებით „წინაღობის გამზომზე“;
 2. (3) სახელურის საშუალებით „ცნობილი წინაღობის გარკვეულ სიდიდეზე“;
- ქიმიურ ჭურჭელს საკვლევი ხსნარით (6) ვახურავთ საცობს, რომელშიც ჩამაგრებულია პლატინის ფირფიტები, რომელიც დაშორებულია 1 სმ-ით. ფირფიტები დაფარულია პლატინით (პლატინის სევადი), რომლებიც სპილენძის მავთულთან არიან შელღობილი და შეძერწილი მინის მილში;
- პლატინის ფირფიტებს ვაერთებთ „P-577“ ცვლადი დენის ბოგირთან და ხელსაწყოს ვრთავთ ცვლადი დენის ქსელში (1);

- გალვანომეტრის ისრის (4) ნულოვანი მდომარეობიდან გადახრის შემდეგ, რეოქორდას სახელურების (5) მობრუნებით გალვანომეტრის ისარს ვაბრუნებთ კვლავ ნულოვან მდგომარეობაში;
- რეოქორდას დანაყოფებზე (ერთ დანაყოფზე - მთელ რიცხვს, მეორეზე - მესამედებს) ვიღებთ ხსნარის წინაღობის მნიშვნელობას;
- ხელსაწყოს ვრთავთ ცვლადი დენის ქსელიდან.

**ჭურჭლის მუდმივას განსაზღვრა
ცდის მსვლელობა**

მცირე ზომის სუფთა ქიმიურ ჭიქას 2-3 ჯერ გამოავლებენ 0,1N KCl-ის ხსნარს შემდეგ ათავსებენ ამ ხსნარის 20 მლ ჭიქაში, ახურავენ საცობს, რომელშიც ჩამაგრებულია პლატინის ფირფიტები, აერთებენ „P-577“ ცვლადი დენის ბოგირთან, რთავენ ცვლადი დენის ქსელში და ზომავენ ხსნარის წინაღობას. მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილ 1-ში. ცხრილებიდან იღებენ χ -ს მნიშვნელობას შესაბამის ტემპერატურაზე და საზღვრავენ ჭურჭლის მუდმივას $K_{ჭურ} = \chi_{KCl} \cdot R_{KCl}$ ფორმულით.

ცხრილი 1

№	სტანდარ- ტული ელექტრო- ლიტი	ცნობილ ი წინაღობა , R	უცნობი წინაღობა, ომი R_x	უცნობი წინაღობის საშუალო მნიშვნელობა, ომი $R_{x(საშ)}$	კუთრი ელგამ- ტარობა, ომი ⁻¹ სმ ⁻¹ χ	ჭურჭლი ს მუდმივა , $K_{ჭურ}$	შენიშვნა
1	0,1N KCl	10 10 ²					ოთახის ტემპე- რატურა, t ⁰ C

**სუსტი ელექტროლიტის (ქარვის მჟავას) დისოციაციის მუდმივას განსაზღვრა
ცდის მსვლელობა**

მცირე ზომის სუფთა ქიმიურ ჭიქას 2-3 ჯერ გამოავლებენ 1/16N ქარვის მჟავას ხსნარს, შემდეგ, ათავსებენ ამ ხსნარის 20 მლ, ახურავენ საცობს, რომელშიც ჩამაგრებულია პლატინის ფირფიტები, აერთებენ „P-577“ ცვლადი დენის ბოგირთან, რთავენ ცვლადი დენის ქსელში და ზომავენ ხსნარის წინაღობას ორი სხვადასხვა ცნობილი წინაღობისთვის. მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილ 2-ში. საზღვრავენ (R_x) საშუალო მნიშვნელობას. ამის შემდეგ ჭიქიდან პიპეტით იღებენ 10 მლ ხსნარს, უმატებენ ამდენივე რაოდენობის გამოხდილ წყალს და ზომავენ ამ ხსნარის წინაღობას ორი სხვადასხვა ცნობილი წინაღობისთვის. შემდეგ ისევ ორჯერ განაზავებენ ხსნარს და იმავე წესით ზომავენ წინაღობას ორი სხვადასხვა ცნობილი წინაღობისთვის. მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილ 2-ში.

ფორმულების $\chi = \frac{K_{ჭურ}}{R_{x(საშ)}}$ და $\lambda = \frac{\chi \cdot 1000}{c}$ საშუალებით საზღვრავენ აღნიშნული

ხსნარების კუთრ და ეკვივალენტურ ელგამტარობებს. იონთა ზღვრული

ელგამტარობების λ_∞ - ის მნიშვნელობას ვიღებთ ცხრილიდან. შემდეგ ვანგარიშობთ დისოციაციის ხარისხს, $\alpha = \frac{\lambda}{\lambda_\infty}$ ფორმულის გამოყენებით, ხოლო $K = \frac{\alpha^2 \cdot C}{1-\alpha}$ ფორმულით - დისოციაციის მუდმივას; $1/16N$, $1/32N$ და $1/64N$ ხსნარებისათვის. შედეგები შეაქვთ ცხრილ 2-ში.

ცხრილი 2

№	ელექტროლიტის კონცენტრაცია, გექვ./ლ C	ცნობილი წინაღობა, ომი R	უცნობი წინაღობა, ომი R_x	უცნობი წინაღობის საშუალო მნიშვნელობა, ომი, $R_{x(საშ)}$	კუთრი ელგამტარობა, ომი ⁻¹ სმ ⁻¹ χ	ეკვივალენტური ელგამტარობა, ომი ⁻¹ სმ ² გექვ./ლ λ	ზღვრული ეკვივალენტური ელგამტარობა λ_∞	შენიშვნა
1	1/16						374	
2	1/32							
3	1/64							

ძლიერი ელექტროლიტების ზღვრული ეკვივალენტური ელგამტარობის განსაზღვრა ცდის მსვლელობა

მცირე ზომის სუფთა ქიმიურ ჭიქას 2-3 ჯერ გამოავლებენ $0,5N KCl$ -ის ხსნარს, შემდეგ, მასში ათავსებენ ამ ხსნარის 20 მლ, ახურავენ საცობს, რომელშიც ჩამაგრებულია პლატინის ფირფიტები, აერთებენ „P-577“ ცვლადი დენის ბოგირთან, რთავენ ცვლადი დენის ქსელში და ზომავენ ხსნარის წინაღობას ორი სხვადასხვა ცნობილი წინაღობისთვის. მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილ 3-ში. საზღვრავენ (R_x) საშუალო მნიშვნელობას. ანალოგიურად ზომავენ სხვადასხვა კონცენტრაციის ($0,1N$; $0,05N$; $0,01N$; $0,005N$) KCl -ის ხსნარის წინაღობას ორი სხვადასხვა ცნობილი წინაღობისთვის. საზღვრავენ თითოეულის (R_x) საშუალო მნიშვნელობას და მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილ 3-ში.

ფორმულების $\chi = \frac{K_{ჭურ}}{R_{X(საშ)}}$ და $\lambda = \frac{\chi \cdot 1000}{c}$ საშუალებით ანგარიშობენ აღნიშნული

ხსნარების კუთრ და ეკვივალენტურ ელგამტარობებს. აგებენ λ -სა და \sqrt{C} -ს შორის დამოკიდებულების გრაფიკს. მიღებული წრფის ექსტრაპოლაციით საზღვრავენ λ_∞ -ის მნიშვნელობას

ცხრილი 3

№	ელექტროლიტის კონცენტრაცია, გექვ./ლ	ცნობილი წინაღობა, ომი R	უცნობი წინაღობა, ომი R_x	უცნობი წინაღობის საშუალო მნიშვნელობა, ომი, $R_{x(საშ)}$	კუთრი ელგამტარობა, ომი ⁻¹ სმ ⁻¹ χ	\sqrt{C}	ეკვივალენტური ელგამტარობა, ომი ¹ სმ ² გექვ./ლ λ	ზღვრული ეკვივალენტური ელგამტარობა λ_∞	შენიშვნა
1	0,5N	10 10 ²							
2	0,1N	10 ² 10 ³							
3	0,05N	10 ² 10 ³							
4	0,01N	10 ³ 10 ⁴							
5	0,005N	10 ³ 10 ⁴							

საკონტროლო კითხვები:

1. რას ეწოდება ელექტროლიტები?
2. რა არის დისოციაციის ხარისხი?
3. რომელია პირველი გვარის გამტარები, რა განსაზღვრავს მათში დენის მიმართულებას?
4. რომელია მეორე გვარის გამტარები, რა განსაზღვრავს მათში დენის მიმართულებას?
5. რას ეწოდება ხსნარის კუთრი ელექტროგამტარობა?
6. რას ეწოდება ხსნარის ეკვივალენტური ელექტროგამტარობა?
8. როგორი ლავშირია ხსნარის კუთრ ელექტროგამტარობასა და ეკვივალენტურ ელექტროგამტარობას შორის?
9. როგორ გამოითვლება დისოციაციის ხარისხი ეკვივალენტური ელექტროგამტარობის საშუალებით?

VI.2. კონდუქტომეტრია

კონდუქტომეტრია ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის მეთოდია, რომელსაც საფუძვლად უდევს განსხვავება სხვადასხვა ნივთიერებების ელგამტარობებს შორის. „Conductivity“- (ინგლ) ელგამტარობას ნიშნავს.

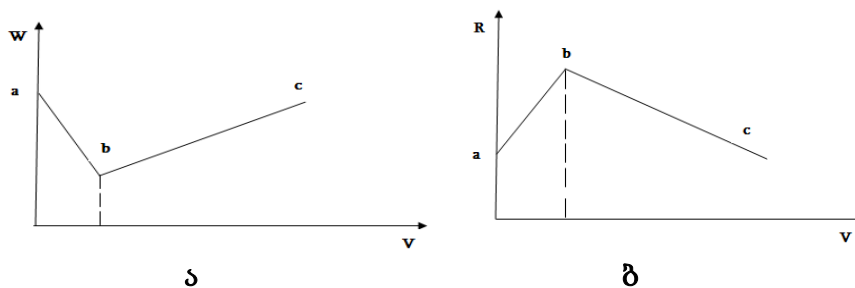
კონდუქტომეტრულ ტიტვრას იყენებენ ნივთიერების/ნივთიერებების კონცენტრაციის დასადგენად. ძლიერი მჟავის ძლიერი ტუტით გატიტვრის დროს მჟავისა და ტუტის იონების განსხვავებული ძვრადობის გამო, შეიმჩნევა ხსნარის ელგამტარობის მკვეთრი შემცირება, ხოლო ეკვივალენტობის წერტილის მიღწევის შემდეგ, მკვეთრი ზრდა.

კონდუქტომეტრული ტიტვრის გამოყენება შესაძლებელია არა მხოლოდ ქიმიურ ანალიზში, არამედ რეაქციის კინეტიკის შესასწავლად, ტიტვრის მთელ პროცესზე დაკვირვებისათვის, ელექტროლიტების დისოციაციის (ასოციაციის) მუდმივას დასადგენად. კონდუქტომეტრული ტიტვრით ხდება უცნობი კონცენტრაციის ხსნარის ეკვივალენტობის წერტილის დადგენა ინდიკატორის გამოყენების გარეშე. ელექტროლიტების ნარევის გატიტვრის წირის გარდატეხათა რიცხვი განსასაზღვრავი კომპონენტების რაოდენობის ტოლია. კონდუქტომეტრულ ტიტვრას წარმატებით იყენებენ შეფერილი, მღვრიე ან ძლიერ განზავებული ხსნარების შემთხვევაში.

გარკვეული რაოდენობის უცნობი კონცენტრაციის HCl-ის ხსნარის ცნობილი კონცენტრაციის NaOH-ის ხსნარით გატიტვრის დროს მაღალი ძვრადობის მქონე H^+ -ის იონები ჩაენაცვლება ნაკლები ძვრადობის მქონე Na^+ -ის იონებით. შედეგად, ხსნარის ელექტროგამტარობა მცირდება, აღწევს მინიმუმს ეკვივალენტობის წერტილში. ტუტის შემდგომი დამატებისას ელექტროგამტარობა იზრდება Na^+ და OH^- იონების სიჭარბის გამო.

მაღალი ძვრადობის მქონე H^+ -ის იონების ჩანაცვლებით ნაკლები ძვრადობის მქონე Na^+ -ის იონებით, ხსნარის წინალობა იზრდება, აღწევს მაქსიმუმს ეკვივალენტობის წერტილში. ტუტის შემდგომი დამატებისას წინალობა მცირდება Na^+ და OH^- იონების სიჭარბის გამო.

თუ აბსცისთა ღერძზე გადავზომავთ NaOH-ის რაოდენობას მლ, ორდინათა ღერძზე ელგამტარობას/წინალობას, მივიღებთ შემდეგ სურათს:



სურათი 1. ა. ელგამტარობის ცვლილება HCl-ის NaOH-ით გატიტვრის დროს;
ბ. წინალობის ცვლილება HCl-ის NaOH-ით გატიტვრის დროს;

წირის გარდატეხის წერიტლის პროექცია აბსცისთა ღერძზე არის მჟავის განეიტრალებაზე დახარჯული ტუტის რაოდენობა, რომლის მიხედვითაც შეგვიძლია ვიანგარიშოთ მჟავის კონცენტრაცია შემდეგი ფორმულის გამოყენებით

$$C_{HCl}V_{HCl} = C_{NaOH}V_{NaOH}$$

ექსპერიმენტული ნაწილი

სამუშაოს მიზანი: VI.2.1. ძლიერი მჟავას კონცენტრაციის დადგენა კონდუქტომეტრიული ტიტვრით

ხელსაწყო, ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივები

ცვლადი დენის ბოგირი;

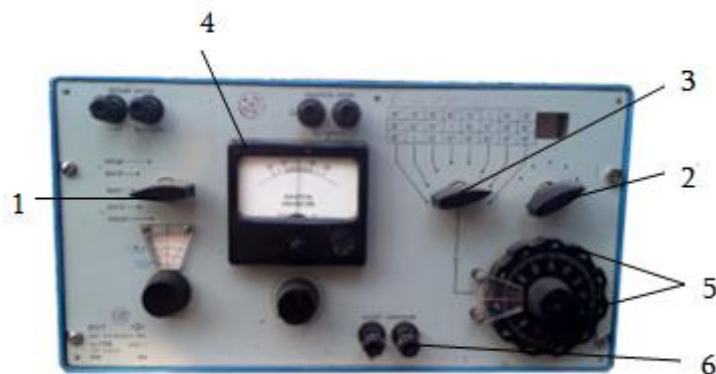
შტატივი; ბიურეტი; პიპეტი (5 მლ); ქიმიური ჭიქა (50 მლ); მენზურა (25 მლ);

საცობი ჩამაგრებული ელექტროდებით;

0,1N NaOH -ის ხსნარი; უცნობი კონცენტრაციის HCl -ის ხსნარი.

ცდის მსვლელობა

50 მლ-იანი ქიმიურ ჭიქაში პიპეტით ახამენ 5 მლ უცნობი კონცენტრაციის HCl-ის ხსნარს, აზავებენ 25 მლ გამოხდილი წყლით და ჭიქას უკეთებენ საცობს, რომელშიც ჩამაგრებულია ერთმანეთისგან 1 სმ-ით დაშორებული ელექტროდები, რომლებიც დაფარულია პლატინის სევადით. ელექტროდები სპილენძის მავთულთან არის შელღობილი და შეპერწილებია მინის მილში. ელექტროდების ბოლოებს აერთებენ „P-577“ ცვლადი დენის ბოგირითან (სურათი 1), რთავენ ხელსაწყოს ელექტრულ ქსელში და ზომავენ ხსნარის წინაღობას.



სურათი 3. ცვლადი დენის ბოგირი P-577

1-ცვლადი დენის ქსელში ჩამრთველი; 2-კოლორაუმის სქემის ჩამრთველი;

3-ცნობილი წინაღობის (R) ჩამრთველი; 4-0-ინსტრუმენტი (გალვანომეტრი);

5- რეოქორდის სახელურები დანაყოფებით; 6-უცნობი წინაღობის (R_x) ჩამრთველი.

ბიურეტიდან ამატებენ 0,1N NaOH-ის ხსნარის 1-2 მლ (სულ 10 მლ), ურევენ და ყოველი დამატების შემდეგ ზომავენ ხსნარის წინაღობას. შედეგები შეაქვთ ცხრილ 1-ში. აგებენ კონდუქტომეტრიული ტიტვრის გრაფიკს: აფსცისთა ღერძზე გადაზომავენ NaOH-ის რაოდენობას, ორდინატაზე - ხსნარის წინაღობას (R_x) ან ელგამტარობას

$\left(W = \frac{1}{R_x} \right)$. წირის მკვეთრი გარდატეხის წერტილი შეესაბამება ეკვივალენტობის წერტილს (მჟავას განეიტრალებას). ამ წერტილიდან აბსცისაზე უშვებენ მართობს და

პოულობენ მჟავას განეიტრალებაზე დახარჯული $NaOH$ -ის მოცულობას, რომლის საშუალებით ითვლიან HCl -ის კონცენტრაციას ხსნარში (გ.ეკვ./ლ):

$$C_{HCl} = \frac{0,1 \cdot V_{NaOH}}{V_{HCl}},$$

სადაც $0,1N NaOH$ -ის კონცენტრაციაა;

V_{NaOH} - გატიტვრაზე დახარჯული ტუტის მოცულობა (მლ) განსაზღვრული ტიტვრის გარაფიკიდან;

V_{HCl} - მჟავას მოცულობა (მლ).

ცხრილი 1

№	გატიტვრაზე დახარჯული $0,1N NaOH$ -ის რაოდენობა, მლ, V_{NaOH}	უცნობი წინალობა, ომი R_x	HCl -ის კონცენტრაცია	შენიშვნა
1	0			ცნობილი წინალობა, $R=100$ ომი; $V_{HCl} - 5$ მლ
2	2			
3	1			
4	1			
5	0,5			
6	0,5			
7	0,5			
8	0,5			
9	1			
10	1			
11	2			

საკონტროლო კითხვები

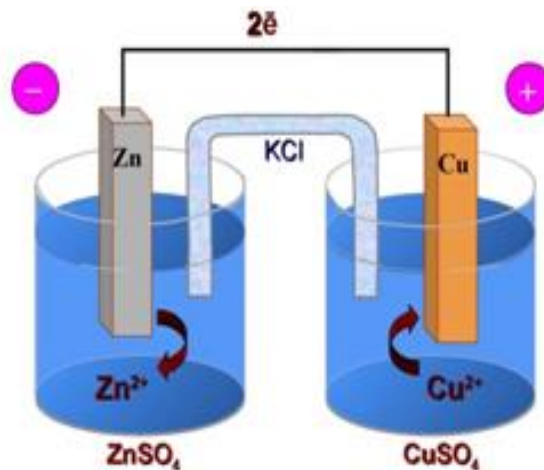
1. რა შემთხვევაში იყენებენ კონდუქტომეტრულ ტიტვრას?
2. კონდუქტომეტრული ტიტვრის დროს რა უნდა გავზომოთ?
3. როგორ ვადგენთ ეკვივალენტობის წერტილს?
4. რომელი სიდიდეებით ვაგებთ გრაფიკს?
5. როგორ ვსაზღვრავთ მჟავის უცნობ კონცენტრაციას?

VI.3. ელექტრომამოძრავებელი ძალები

როგორც აღვნიშნეთ, ელექტროქიმია სწავლობს ქიმიური ენერგიის ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნას და პირიქით. ქიმიური ენერგიის ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნა ხორციელდება გალვანურ ელემენტში.

გალვანურ ელემენტებში მიმდინარე ქიმიური რეაქციის ენერგიის ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნის დროს სამართლიანია ენერგიის მუდმივობის კანონი. გალვანურ ელემენტში ელექტრული დენის მისაღებად საჭიროა ელექტროდებზე მიმდინარე ჟანგვა-აღდგენითი პროცესები ჩავატაროთ სხვადასხვა ელექტროდზე, ცალ-ცალკე. სისტემაში იონთა მუხტის არათანაბარი განაწილებისას ელექტროდებზე განსხვავებული პოტენციალი მიიღება, რაც გალვანურ ელემენტში დენის წარმოქმნს იწვევს.

გალვანური ელემენტი შედგება ორი ნახევარელემენტისაგან. ლითონის ორი ფირფიტა ჩაშვებულია თავისივე მარილის ხსნარებში, ხსნარები გაყოფილია ფოროვანი მემბრანით, ან ელექტროლიტური ბოგირით, რომელიც ხსნარების შერევას ხელს უშლის, ხოლო დენის გავლას არ ეწინააღმდეგება. ლითონის ფირფიტები შეერთებულია გამტარით.

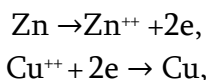


სურ. 1. იაკობ-დანიელის გალვანური ელემენტი

უმარტივესი გალვანური ელემენტია იაკობ-დანიელის გალვანური ელემენტი, იგი შემდეგნაირად გამოისახება:



გალვანური ელემენტის ჩაწერის დროს, მარცხნივ იწერება უარყოფითი ელექტროდი, ხოლო მარჯვნივ - დადებითი. ერთი ხაზი გვიჩვენებს ლითონხსნარის გამყოფ ზედაპირს, ხოლო ორი ხაზი ხსნარების გამყოფ საზღვარს. ელექტროდებზე მიმდინარე ჟანგვა-აღდგენითი პროცესებია:



Zn-ის ფირფიტიდან Zn^{2+} იონები ხსნარში გადადის, იჟანგება. Cu-ის ფირფიტაზე ხდება Cu^{2+} იონების ხსნარიდან აღდგენა. მიმდინარე ქიმიური პროცესების შედეგად ელექტროდებზე აღიძვრება პოტენციალთა სხვაობა. ფირფიტების შემართებულ გამტარში გაივლის დენი. გალვანური ელემენტის ელექტროდებზე პოტენციალთა სხვაობას ეწოდება ელექტრომამოძრავებელი ძალა (E) (ემძ). ელექტრომამოძრავებელი

ძალის განსაზღვრისათვის დადებითი ელექტროდის პოტენციალს აკლდება უარყოფითი ელექტროდის პოტენციალი.

$$E = \varepsilon (+) - \varepsilon (-) . \quad (1)$$

ცალკეული ელექტროდების პოტენციალის ნიშნის და აბსოლუტური მნიშვნელობის გაზომვა შეუძლებელია. პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის უნდა ვიცოდეთ ელექტროდების ფარდობითი პოტენციალები გაზომილი რაიმე სტანდარტული ელექტროდის მიმართ. ხშირად ასეთ შესადარებელ ელექტროდად იყენებენ წყალბადის ელექტროდს, რომელიც ნულის ტოლად მიღებული, იგი შედგება პლატინის ფირფიტისაგან, რომელიც ჩაშვებულია წყალბად იონების შემცველ ხსნარში და შეხებაშია აირად წყალბადთან (101,3 კპა წნევის დროს). საკვლევი და წყალბადის ელექტროდისაგან შედგენილი გალვანური ელემენტის ემ ძალა საკვლევი ელექტროდის პოტენციალის ტოლი იქნება. ცალკეული ელექტროდული პოტენციალი გამოითვლება აგრეთვე ნერნსტის განტოლებით

$$\varepsilon = \varepsilon^0 + \frac{RT}{nF} \ln \alpha , \quad (2)$$

სადაც ε - ცალკეული ელექტროდის პოტენციალი; ε^0 ამ ელექტროდის სტანდარტული პოტენციალი, რომლის მნიშვნელობა სტანდარტული წყალბადის ელექტროდის მიმართ გაზომილი პოტენციალის ტოლია. სტანდარტულ პოტენციალად მიღებულია ის პოტენციალი, რომელიც აქვს ერთის ტოლი აქტიურობის მქონე თავისივე იონების შემცველ ხსნარში ჩაშვებულ ლითონს. მათი მნიშვნელობები მოცემულია ცნობარში. ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შესაძლებელია, გამოვთვალოთ ცალკეული ელექტროდის პოტენციალის მნიშვნელობა, როდესაც ცნობილია გალვანური ელემენტის ელექტრომამოძრავებელი ძალა და მეორე ელექტროდის პოტენციალის მნიშვნელობა.

გალვანური ელემენტის ემ ძალა ელექტროდებზე მიმდინარე ქიმიური რეაქციის მუშაობის ეკვივალენტურია

$$W = -\Delta G = nFE , \quad (3)$$

სადაც - n ელექტრონების გადამტანი ელექტრონების რიცხვია (იონის ვალენტობა), F - ფარადეის რიცხვი (96500 კ/მოლ.), nF - გადამტანილი ელექტრონების საერთო რაოდენობაა.

ელექტრომამოძრავებელი ძალა ყოველთვის დადებითია. გალვანური ელემენტის ელექტრომამოძრავებელი ძალა გამოითვლება ნერნსტის განტოლებით

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \Delta \ln \alpha , \quad (4)$$

სადაც E გალვანური ელემენტის ემ ძალაა; E^0 - ემ ძალა როდესაც იონთა აქტიურობა ხსნარში ერთის ტოლია, მას ელემენტის ნორმალური ან სტანდარტული ემ ძალა ეწოდება; R - აირების უნივერსალური მუდმივა; T - ტემპერატურა; n - ელექტრონების გადამტანი ელექტრონების რაოდენობა; F - ფარადეის რიცხვი; α - იონთა აქტიურობა ხსნარში.

გალვანური ელემენტის ელექტრომამოძრავებელი ძალა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე. ელექტრომამოძრავებელი ძალის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე გამოისახება $\frac{dE}{dT}$ სიდიდით, მას ელექტრომამოძრავებელი ძალის ტემპერატურული კოეფიციენტი ეწოდება. ელექტრომამოძრავებელი ძალის ტემპერატურული

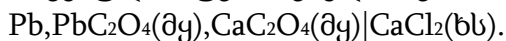
კოეფიციენტის გაზომვით შეიძლება გალვანურ ელემენტში მიმდინარე რეაქციის სითბური ეფექტის, ენტროპიის ცვლილების დადგენა. ემ ძალის ტემპერატურული კოეფიციენტი შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი და ნულის ტოლიც. თუ $\frac{dE}{dT} < 0$ -ზე, გალვანური ელემენტის მუშაობისას სითბო გამოიყოფა ($\Delta H < 0$), ეს ყველაზე გავრცელებული შემთხვევაა. თუ $\frac{dE}{dT} > 0$, სითბო შთაინთქმება ($\Delta H > 0$), ე.ი. ელემენტი გარემოს სითბოს მუშაობად გარდამნის. ეტალონად ისეთ გალვანურ ელემენტს ირჩევენ, რომლისთვისაც $\frac{dE}{dT} \approx 0$.

რადგან გალვანური ელემენტის ემ ძალა გამოითვლება დადებითი ელექტროდისა და განასხვავებენ სხვადასხვა ტიპის ელექტროდებს.

პირველი გვარისაა ელექტროდი თუ ლითონი ჩაშვებულია თავისივე იონების შემცველ ხსნარში და შექცევადობას იჩენს კათიონის მიმართ. მაგალითად, $\text{Ag}|\text{AgNO}_3$; $\text{Zn}|\text{ZnSO}_4$; $\text{Cu}|\text{CuSO}_4$.

მეორე გვარისაა ელექტროდი თუ ლითონი დაფარულია თავისივე ძნელად ხსნადი მარილით და ჩაშვებულია იმავე ანიონის შემცველ ადვილად ხსნადი მარილის ხსნარში, შექცევადობას იჩენს ანიონის მიმართ. მაგალითად: $\text{Hg}, \text{Hg}_2\text{Cl}_2|\text{KCl}$ – კალომელის, $\text{Ag}, \text{AgCl}|\text{KCl}$ – ქლორ-ვერცხლის ელექტროდი.

მესამე გვარის ელექტროდები შედგება ლითონისაგან, რომელიც დაფარულია თავისივე ძნელად ხსნადი მარილით, რომელიც შეხებაშია იმავე ანიონის მქონე სხვა ძნელად ხსნად მარილთან და ჩაშვებულია უკანასკნელის კათიონის მქონე ადვილად ხსნად მარილში.



ეს ელექტროდი შექცევადია Ca^{++} იონების მიმართ.

არსებობს აგრეთვე აირადი, ჟანგვა-აღდგენითი, ამაღამური და სხვა ტიპის

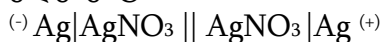
ელექტროდები.

გალვანური ელემენტების ძირითადი ტიპებია

1. ქიმიური გალვანური ელემენტი. თუ გალვანური ელემენტის მოქმედებას საფუძვლად უდვს ქიმიური რეაქცია, რომლის თავისუფალი ენერგიის ხარჯზე სრულდება ელექტრული მუშაობა, მას ქიმიური გალვანური ელემენტი ეწოდება. ქიმიური გალვანური ელემენტია იაკობ-დანიელის ელემენტი



2. კონცენტრაციული გალვანური ელემენტი. თუ ორ ერთნაირ ელექტროდს მოვათავსებთ ერთი ელექტროლიტის სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარებში, მიიღება კონცენტრაციული გალვანური ელემენტი



$$a_1 > a_2$$



$$a_1 > a_2$$

მეტი კონცენტრაციის ხსნარიდან ვერცხლის იონები გადადის ნაკლები კონცენტრაციის ხსნარში.

გალვანური ელემენტის ელექტრომამოძრავებელი ძალის გამოსათვლელად მიმართავენ ნერნსტის განტოლებას (4). ექსპერიმენტულად გალვანური ელემენტის

ელექტრომომძრავებელი ძალის ზუსტი მნიშვნელობის მისაღებად სარგებლობენ კომპენსაციური მეთოდით, რომლის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ გაღვანური ელემენტის უცნობი ე.მ.ძ. კომპენსირდება რომელიმე ელემენტის ცნობილი ე.მ.ძ-ით.

ექსპერიმენტული ნაწილი

სამუშაოს მიზანი: VI.3.1. იაკობ-დანიელის ელემენტის ელექტრომომძრავებელი ძალის გაზომვა და მისი დამოკიდებულების შესწავლა ხსნარში იონთა კონცენტრაციაზე.

VI.3.2. ცალკეული ელექტროდის პოტენციალის განსაზღვრა და მისი შედარება თეორიულად გამოთვლილთან

ხელსაწყო, ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივები.

ვოლტმეტრი (ტესტერი); მინის ბოგირი;

თუთიის, სპილენძის, ქლორვერცხლის ელექტროდები;

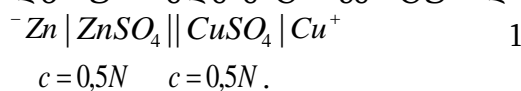
5 ქიმიური ჭიქა; ჭიქების სადგარი; მენზურა (50 მლ);

KCl-ის ნაჯერ ხსნარი; 0,5N და 0,005N ZnSO₄-ის ხსნარები;

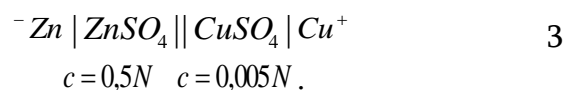
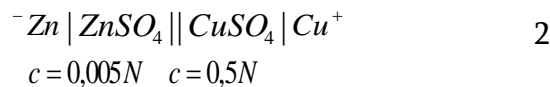
0,5N და 0,005N CuSO₄-ის ხსნარები

იაკობ-დანიელის ელემენტის ელექტრომომძრავებელი ძალის გაზომვა

ქიმიურ ჭიქაში ათავსებენ 0,5N ZnSO₄-ისა და 0,5N CuSO₄-ის ხსნარებს, მათში ჩაუშვებენ შესაბამისად თუთიისა და სპილენძის ელექტროდებს. ხსნარებს ერთმანეთთან აერთებენ KCl-ის ელექტროლიტური ბოგირით. ელექტროდებს უერთებენ ვოლტმეტრს და ზომავენ ელემენტის ელექტრომომძრავებელ ძალას, შედეგები შეაქვთ ცხრილ 1-ში. გაღვანური ელემენტი სქემატურად ასე ჩაიწერება:



ანალოგიურად ზომავენ ელემენტის ემძ-ს 0,005N ZnSO₄-ისა და 0,5N CuSO₄-ის და 0,5N ZnSO₄-ისა და 0,005N CuSO₄-ის ხსნარების შემთხვევაში. გაზომვის შედეგები შეაქვთ ცხრილ 1-ში. გაღვანური ელემენტები სქემატურად ასე ჩაიწერება:



ნერნსტის განტოლებით ვანგარიშობთ სხვადასხვა კონცენტრაციის (0,5N; 0,005N) ხსნარში მოთავსებული თუთიისა და სპილენძის ელექტროდების პოტენციალებს;

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \alpha ; \quad \alpha = \gamma C;$$

სადაც E⁰ - სტანდარტული ელექტროდული პოტენციალია; γ - აქტიურობის კოეფიციენტი; C - ხსნარის კონცენტრაცია; T - ტემპერატურა (T = (273 + t)); R - აირების უნივერსალური მუდმივა (R=8,3143 ჯოული/მოლი.კ, ან R=1,98725 კალ/მოლი.გრად); F - ფარადეის რიცხვი (F = 96000 კულონი); n - იონის მუხტი.

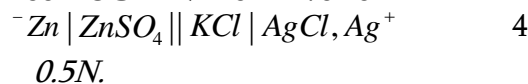
მიღებული შედეგებით ვსაზღვრავთ სამი სხვადასხვა (1,2,3) გალვანური ელემენტის ელექტრომომძრავებელი ძალის მნიშვნელობას, დადებითი და უარყოფითი ელექტროდების პოტენციალების მნიშვნელობების სხვაობით. შედეგები შეგვაქვს ცხრილ 1-ში. ვადარებთ თეორიულად და ექსპერიმენტულად გამოთვლილი ე.მ.ძ-ს მნიშვნელობებს.

ცხრილი 1

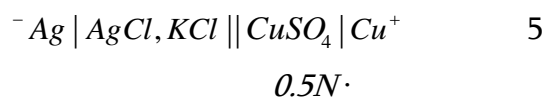
№	გალვანური ელემენტი	ელექტრომომძრავებელი ძალა E , ვოლტი		შენიშვნა
		გაზომილი	თეორიული $E_{\text{თეორ}} = \varepsilon_{(+)\text{თეორ}} - \varepsilon_{(-)\text{თეორ}}$	
1	$^-Zn ZnSO_4 CuSO_4 Cu^+$ 0,5N 0,5N			R=8,3143ჯ./მო ლი.კ; ან R= 1,98725კალ/მო ლი.გრად F=96500 კულონი Z=2
2	$^-Zn ZnSO_4 CuSO_4 Cu^+$ 0,005N 0,5N			
3	$^-Zn ZnSO_4 CuSO_4 Cu^+$ 0,5N 0,005N			

ცალკეული ელექტროდის პოტენციალის განსაზღვრა ცდის მსვლელობა

0,5N $ZnSO_4$ -ისა და KCl -ის ნაჯერ ხსნარებში უშვებენ თუთიის ელექტროდის და ქლორვერცხლის ელექტროდებს, აერთებენ ერთმანეთთან ელექტროლიტური ბოგირით, ზომავენ ელემენტის ემძ-ს (E_1), ვოლტმეტრით და გაზომვის შედეგები შეაქვთ ცხრილ 2-ში. გალვანური ელემენტი სქემატურად ასე ჩაიწერება:



ანალოგიურად ზომავენ ელემენტის ემძ-ს (E_2), 0,5N $CuSO_4$ და KCl -ის ნაჯერ ხსნარების შემთხვევაში ვოლტმეტრით და გაზომვის შედეგები შეაქვთ ცხრილ 2-ში. გალვანური ელემენტი სქემატურად ასე ჩაიწერება:



ვინაიდან, გალვანური ელემენტის ელექტრომომძრავებელი ძალა ტოლია დადებითი და უარყოფითი ელექტროდების პოტენციალების სხვაობის, მიღებული ელექტრომომძრავებელი ძალისა და ქლორვერცხლის სტანდარტული ელექტროდის პოტენციალის მნიშვნელობით ისაზღვრება თუთიის/სპილენძის ელექტროდის პოტენციალის მნიშვნელობა.

$$E_1 = E_{Cl^-, AgCl / Ag} - E_{Zn^{++} / Zn} ; \quad E_2 = E_{Cu^{++} / Cu} - E_{Cl^-, AgCl / Ag},$$

საიდანაც

$$E_{Zn^{++} / Zn} = E_{Cl^-, AgCl / Ag} - E_1 \quad \text{და} \quad E_{Cu^{++} / Cu} = E_{Cl^-, AgCl / Ag} - E_2.$$

მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილ 2-ში.

ცხრილი 2

№	გალვანური ელემენტი	ელექტრო- მამოძრა- ვებელი ძალა E , გაზომილი	საკვლევი ელექტროდის პოტენციალი, ვოლტი			იონთა საშუა- ლო აქტიუ- რობა α_{\pm}	იონთა საშუა- ლო აქტიუ- რობის კოეფი- ციენტი γ_{\pm}	შენიშვნა
			გაზო- მილი	თეო- რიუ- ლი	სტან- დარ- ტული			
1	$^-Zn ZnSO_4 KCl AgCl, Ag^+$ 0,5N				-0,76			ოთახის ტემპერა- ტურა $t^{\circ}C$
2	$^-Ag AgCl KCl CuSO_4 Cu^+$ 0,5N				0,337			

ცხრილი 3

ხსნარის კონცენტრაცია	იონთა საშუალო აქტიურობის კოეფიციენტი, γ_{\pm}	სტანდარტული ელექტროდული პოტენციალი, ვოლტი
$ZnSO_4$		
0,5N	0,062	-0,76
0,005 N	0,477	
$CuSO_4$		
0,5N	0,062	0,337
0,005 N	0,573	
ქლორვერცხლის სტანდარტული პოტენციალი $E_{Cl^-/AgCl/Ag}^0 = 0,2010 - 6,4 \cdot 10^{-4}(t - 20)$		

საკონტროლო კითხვები:

1. რისგან შედგება გალვანური ელემენტი?
2. დაწერეთ იაკობ-დანიელის გალვანური ელემენტის სქემა.
3. რას გვიჩვენებს გალვანური ელემენტის სქემატურ ჩანაწერში ერთი ვერტიკალური ხაზი?
4. რას გვიჩვენებს გალვანური ელემენტის სქემატურ ჩანაწერში ორი ვერტიკალური ხაზი?
5. როგორ გამოითვლება გალვანური ელემენტის ე.მ.ძ. ნერნსტის განტოლებით?
6. როგორ გამოითვლება ცალკეული ელექტროდის პოტენციალი ნერნსტის განტოლებით?
7. რომელია პირველი, მეორე, მესამე გვარის ელექტროდი?
8. ჩამოთვალეთ გალვანური ელემენტის ტიპები.

VII. ქიმიური კინეტიკა

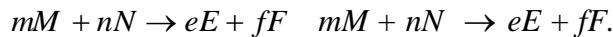
ქიმიური თერმოდინამიკა განსაზღვრავს თავისთავად და არათავისთავად მიმდინარე ქიმიური პროცესების მსვლელობის ალბათობას და თავისებურებას, ასევე ამ პროცესის წონასწორობის პირობებს, მაგრამ იგი არ გვაძლევს წარმოდგენას პროცესის დროსა და მექანიზმზე. პრაქტიკაში სულერთი არ არის წავა პროცესი წამის რაღაც ნაწილში, თუ ასეულობითი წლის განმავლობაში, რა დროში მიიღწევა წონასწორობის პირობები. პროცესის სიჩქარეს, მექანიზმს, მის დამოკიდებულებას სხვადასხვა ფაქტორზე, სწავლობს ქიმიური კინეტიკა.

ქიმიური კინეტიკა არის მოძღვრება ქიმიური რეაქციის სიჩქარისა და მისი მიმდინარეობის მექანიზმის შესახებ. ქიმიური რეაქციის სიჩქარის ცოდნას არსებითი მნიშვნელობა აქვს ქიმიური პროცესის დასახასიათებლად. ამისათვის განსაზღვრავენ რაიმე კომპონენტის რაოდენობის ცვლილებას დროის ერთეულში.

$$V = \pm \frac{dc}{dT}$$

$\frac{dc}{dT}$ -ს ექნება (+) ნიშანი, თუ განისაზღვრება მიღებული ნივთიერების კონცენტრაცია, ხოლო (-) ნიშანი, თუ განისაზღვრება მორეაგირე ნივთიერების კონცენტრაცია. კონცენტრაციის გარდა შეიძლება სხვა სიდიდეების გამოყენებაც (p, f, a).

გულდბერგისა და ვააგეს მოქმედ მასათა კანონის თანახმად, რეაქციის სიჩქარე პროპორციულია მორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაციების ნამრავლისა.



ამ რეაქციის სიჩქარე

$$V = K \cdot c_M^m \cdot c_N^n ,$$

სადაც K პროპორციულობის კოეფიციენტი, იგი ისეთი რეაქციის სიჩქარეა, როდესაც მორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაციები ან მათი ნამრავლი ერთის ტოლია. მას რეაქციის სიჩქარის მუდმივას უწოდებენ.

V რეაქციის სიჩქარეზე გავლენას ახდენს რეაქციის გარემოს ტემპერატურა. ტემპერატურის $10^{\circ}C$ -ით აწევსას რეაქციის სიჩქარე $2 \div 4$ -ჯერ იზრდება. რიცხვს, რომელიც გვიჩვენებს, რამდენჯერ იზრდება რეაქციის სიჩქარე სარეაქციო არის ტემპერატურის $10^{\circ}C$ -ით აწევსას, ეწოდება რეაქციის ტემპერატურული კოეფიციენტი და აღინიშნება - γ -ით

$$V_{T+10} = V_T \cdot \gamma^{\frac{T_2-T_1}{10}} , \quad \gamma = \frac{K_{T+10}}{K_T} .$$

ყოველ რეაქციას განსაზღვრული მნიშვნელობის ტემპერატურული კოეფიციენტი აქვს.

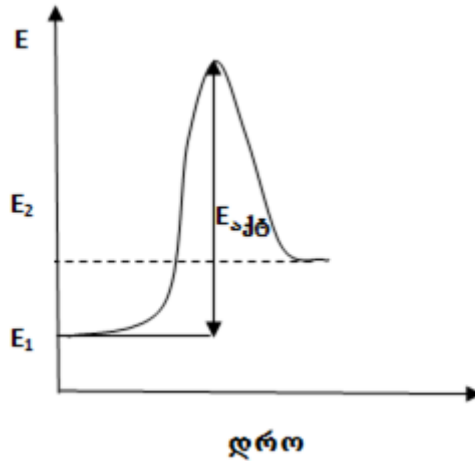
რეაქციის წარმართვისათვის აუცილებელი, მაგრამ არასაკმარისი პირობაა მოლეკულათა დაჯახება. რეაქციაში შედის მხოლოდ აქტიური მოლეკულები (მოლეკულების ნაწილი). რეაქციის მიმდინარეობას განაპირობებს აქტიური მოლეკულების ურთიერთდაჯახება, რომელთა ენერგია მოლეკულათა საშუალო ენერგიაზე მეტია. ამ ჭარბ ენერგიას, რომელიც უნდა ჰქონდეს აქტიურ მოლეკულას მისი სხვა მოლეკულებთან დაჯახებისას, აქტივაციის ენერგია ეწოდება. $E_2 - E_1 = \Delta H$ არის რეაქციის სითბური ეფექტი. აქტივაციის ენერგია გამოითვლება არენიუსის განტოლებით

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{E}{RT^2},$$

სადაც K - რეაქციის სიჩქარის მუდმივაა;

E - რეაქციის აქტივაციის ენერგია. R აირების უნივერსალური მუდმივა
($R=8,314$ ჯოული/მოლი.კ ან $R=1,98725$ კალ/მოლი.გრად)

$$K = Z \cdot e^{-E/RT}$$



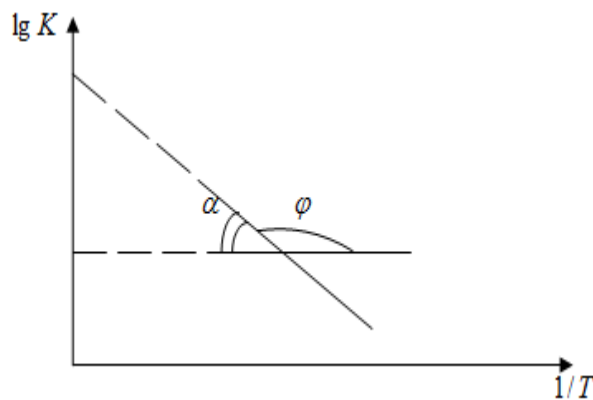
სურათი 1. აქტივაციის ენერგიის გამომსახველი წირი

აქტივაციის ენერგიის გასაანგარიშებლად საჭიროა რეაქციის სიჩქარის მუდმივას განსაზღვრა ორ სხვადასხვა ტემპერატურაზე.

$$\lg \frac{K_2}{K_1} = \frac{E(T_2 - T_1)}{RT_1 T_2},$$

საიდანაც

$$E = \frac{RT_1 T_2}{T_2 - T_1} \lg \frac{K_2}{K_1}.$$

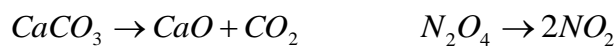


სურათი 2. აქტივაციის ენერგიის განსაზღვრა გრაფიკულად

აქტივაციის ენერგიის განსაზღვრა შეიძლება გრაფიკულადაც (სურ.2); თუ აბსცისათა ღერძზე გადავზომავთ $\frac{1}{T}$ -ს, ხოლო ორდინატაზე - $\lg K$ -ს, მივიღებთ

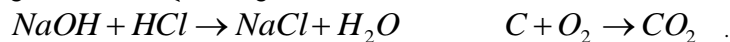
არენიუსის განტოლების გრაფიკულ გამოსახულებას. აბსცისთა ღერძის მიმართ წრფის დახრის კუთხის ტანგენსი წარმოადგენს $\left(\operatorname{tg} \varphi = \frac{E}{R}\right)$ სიდიდეს, საიდანაც შეიძლება აქტივაციის ენერჯიის (E) განსაზღვრა, ხოლო წრფის ორდინატასთან გადაკვეთა გვაძლევს Z -ის მნიშვნელობას ანუ ექსპონენტის წინ მდგომი მამრავლის (Z)-ის სიდიდეს.

ყოველი რთული რეაქცია შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მარტივი რეაქციებისაგან შემდგარი პროცესი, სადაც თითოეულ ელემენტარულ რეაქციაში შედის ერთი, ორი ან სამი მოლეკულა. ქიმიური რეაქციის ელემენტარულ პროცესში მონაწილე მოლეკულების რიცხვის მიხედვით განასხვავებენ რეაქციების სხვადასხვა ტიპს – მონო-, ბი- და ტრიმოლეკულურ რეაქციებს. უფრო მაღალი მოლეკულურობის მქონე რეაქციები არ გვხვდება, რადგან 3-ზე მეტი მოლეკულის ერთდროული დაჯახების ალბათობა მცირეა. როდესაც ელემენტარული ქიმიური რეაქცია ერთი მოლეკულის გარდაქმნით მიმდინარეობს, ქიმიური რეაქცია მონომოლეკულურია.



მონომოლეკულური რეაქციის სიჩქარე $V = Kc$.

ბიმოლეკულურია რეაქცია, როდესაც ელემენტარული აქტი ორი მოლეკულის ერთდროული გარდაქმნით მიმდინარეობს.



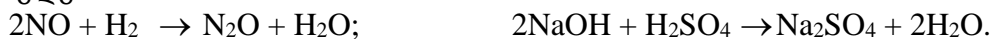
ბიმოლეკულური რეაქციის სიჩქარე ტოლია:

$$V = Kc_1c_2.$$

თუ ორივე კომპონენტი ადებულია ერთნაირი რაოდენობითაა, მაშინ ტრიმოლეკულურია რეაქციის სიჩქარე ტოლია:

$$V = Kc^2.$$

ტრიმოლეკულურია რეაქცია, როდესაც ხდება ერთდროულად სამი მოლეკულის ურთიერთქმედება



ტრიმოლეკულური რეაქციის სიჩქარეა:

$$V = Kc_1c_2c_3.$$

თუ ორი კომპონენტი ადებულია ერთნაირი რაოდენობით, მაშინ ტრიმოლეკულური რეაქციის სიჩქარეა:

$$V = Kc^2c_2.$$

თუ სამივე კომპონენტი ერთნაირი რაოდენობითაა ადებული, მაშინ ტრიმოლეკულური რეაქციის სიჩქარეა:

$$V = Kc^3.$$

კომპონენტების კონცენტრაციაზე რეაქციის სიჩქარის დამოკიდებულების მიხედვით ასხვავებენ ნულოვან, პირველი, მეორე, მესამე და წილადური რიგის რეაქციებს.

ნულოვანი რიგის რეაქციის სიჩქარე არ არის დამოკიდებული მორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაციაზე. ნულოვანი რიგის რეაქციების რაოდენობა მცირეა. მაგალითად, ნულოვანი რიგისაა ხსნარში მიმდინარე ფსევდომონო- და ფსევდობი-მოლეკულური რეაქციები, ასევე ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე მიმდინარე ჰეტეროგენული პროცესები.

I რიგის რეაქციის განტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$K = \frac{1}{t} \lg \frac{a}{a-x},$$

სადაც K - რეაქციის სიჩქარის მუდმივაა;

a - საწყისი ნივთიერების კონცენტრაცია;

$(a-x) - a$ - ნივთიერების კონცენტრაცია t დროის შემდეგ;

$x - t$ დროში a ნივთიერების რაოდენობა.

II რიგის რეაქციებისათვის მართებულია განტოლება

$$K = \frac{1}{t} \frac{1}{a-b} \ln \frac{b(a-x)}{a(b-x)},$$

სადაც K - რეაქციის სიჩქარის მუდმივაა; რეაქციის სიჩქარის მუდმივაა;

a და b - საწყისი ნივთიერებების კონცენტრაციები;

$(a-x)$ და $(b-x)$ - მათი კონცენტრაციები მათი კონცენტრაციები t დროისათვის;

$x - t$ დროში დახარჯული ნივთიერების რაოდენობა.

III რიგის რეაქციებისათვის გვაქვს განტოლება

$$K = \frac{1}{2t} = \left[\frac{1}{(a-x)^2} - \frac{1}{a^2} \right].$$

ქიმიური რეაქციის რიგის დადგენა კინეტიკის ერთ-ერთი მთავარი ამოცანაა.

რიგის დადგენის რამდენიმე ხერხი არსებობს:

1. რეაქციის სიჩქარის განსაზღვრის შედეგად მიღებულ ექსპერიმენტულ მონაცემებს ჩავსვამთ პირველი, მეორე ან მესამე რიგის რეაქციის განტოლებაში, თუ გამოთვლილი K მუდმივა (ცდომილების ფარგლებში), რეაქციის რიგის დასადგენი განტოლება სწორად ყოფილა შერჩეული

$$\tau_1 = \frac{\ln 2}{K}; \quad \tau_2 = \frac{1}{Ka}; \quad \tau_3 = \frac{3}{2Ka^2};$$

n -ური რიგის რეაქციისათვის

$$\tau_n = \frac{1}{a^{n-1}}.$$

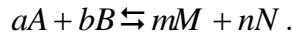
2. ექსპერიმენტულად განსაზღვრავენ საწყისი ნივთიერების ნახევარგარდაქმნის პერიოდს და მიღებულ შედეგებს ჩასვამენ პირველი, მეორე ან მესამე რიგის რეაქციების განტოლებაში.
3. ნახევარგარდაქმნის პერიოდი არის დრო, რომლის განმავლობაშიც გარდაიქმნა საწყისი ნივთიერების ნახევარი.

გრაფიკული მეთოდი - აიგება კონცენტრაციის სხვადასხვა ფუნქციის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი და შეირჩევა წრფივი ფუნქცია: პირველი რიგის რეაქციისათვის - წრფივ დამოკიდებულებას იძლევა $\lg c - t$; მეორე რიგის

რეაქციისათვის - $\frac{1}{c} - t$; ნულოვანი რიგის რეაქციისათვის - კონცენტრაცია თვით

აბსცისათა ღერძის პარალელურია. რთულ რეაქციები. შექცევადი, პარალელური, მიმდევრობითი შეუღლებული და ჯაჭვური რეაქციები რთული რეაქციებია.

შექცევადია რეაქცია, რომელიც ერთსა და იმავე პირობებში ორივე მიმართულებით მიმდინარეობს – პირდაპირი და შექცევადი. რეაქციების უმეტესობა ამა თუ იმ ხარისხით შექცევადია, არ მიმდინარეობს ბოლომდე და დროის რაღაც მომენტში მყარდება წონასწორობა



პარალელურია რეაქცია, რომელშიც საწყისი ნივთიერება ერთდროულად ორი ან რამდენიმე მიმართულებით განიცდის გარდაქმნას.

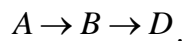
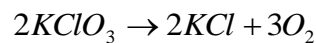


რეაქციის სიჩქარე A ნივთიერების მიმართ

$$V_A = -\frac{dc_A}{dt} = (K_1 + K_2)c_A ,$$

სადაც K_1 და K_2 - პირველი და მეორე რეაქციებს სიჩქარეების მუდმივებია.

პარალელური რეაქციის მაგალითია:



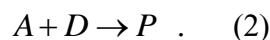
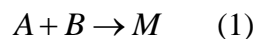
მიმდევრობითი ეწოდება რეაქციას, რომელსაც შუალედური სტადიები აქვს, ანუ ერთი რეაქციის პროდუქტი, მეორის საწყისი ნივთიერებაა.



მიმდევრობითი რეაქციის სიჩქარე განისაზღვრება ნელა მიმდინარე, მალიმიტირებელი სტადის სიჩქარით.



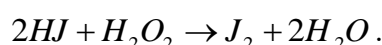
შეუღლებული რეაქციები მიმდინარეობს ერთსა და იმავე გარემოში ერთდროულად. ერთი თავისთავად მიმდინარე რეაქცია იწვევს მეორე რეაქციის წარმართვას, ან ერთი რეაქცია იწვევს მეორის ინიცირებას, რომელიც მის გარეშე არ მიმდინარეობს



პირველი რეაქცია დამოუკიდებლად მიმდინარეობს, მეორე კი, მასთან შეუღლებულია ან ინიცირდება 1 რეაქციით. A ნივთიერებას, რომელიც ორივესათვის საერთოა, ეწოდება აქტორი, D ნივთიერებას აქცეპტორი, ხოლო B -ს, რომელიც აინდუცირებს მეორე რეაქციას - ინდუქტორი. ფარდობას, რომლითაც გამოისახება აქტორის განაწილება ინდუქტორსა და აქცეპტორს შორის ეწოდება ინდუქციის ფაქტორი. შეუღლებული რეაქციის სიჩქარე განისაზღვრება A ნივთიერების ხარჯვის სიჩქარით

$$V = -\frac{dc_A}{dt} .$$

შეუღლებული რეაქციების მაგალითია:

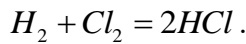


შეუღლებულ რეაქციებს განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ბიოქიმიურ პროცესებში. ისინი მიმდინარეობს კვების პროდუქტების დაჟანგვით, საკვების მონელების დროს. ამ რეაქციების დროს გამოყოფილი ენერგია იხარჯება ორგანიზმისათვის სასიცოცხლო მნიშვნელობის ნივთიერებების, მათ შორის ცილებისა და ნუკლეინის მჟავების სინთეზისათვის.

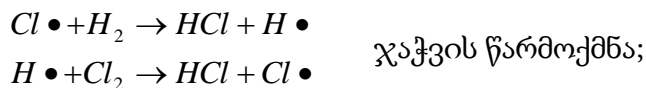
ჯაჭვური რეაქცია რთული რეაქციაა, რომლის მიმდინარეობისას საწყისი ნივთიერება მონაწილეობს გარდაქმნათა ჯაჭვში, შუალედური აქტიური ნაწილაკების (ინტერმედიატორების) მონაწილეობით. ნებისმიერი ჯაჭვური რეაქცია შედგება სამი საფეხურისაგან:

1. ჯაჭვის ჩასახვა; 2. ჯაჭვის წარმოქმნა; 3. ჯაჭვის გაწყვეტა.

განვიხილოთ რეაქცია



ბნელ კამერაში, სადაც მოთავსებულია წყალბადისა და ქლორის ნარევი, რეაქცია არ მიმდინარეობს, მაგრამ საკმარისია მცირე დროით ნარევეზე ვიმოქმედოთ სინათლის სხივით, მდგომარეობა მკვეთრად შეიცვლება, რეაქცია მყისიერად დიდი სიჩქარით წარიმართება. ჯაჭვის ჩასახვა შეიძლება სინათლის სხივის, ან ტემპერატურის მოქმედების შედეგად. ჯაჭვური რეაქციების პროცესი ვითარდება არამდგრადი შუალედური ნივთიერებების წარმოქმნის ხარჯზე, რომლებსაც აქტიური ცენტრები ეწოდება. ჯაჭვურ რეაქციაში ელემენტარული აქტი იწვევს ერთ ან რამდენიმე მომდევნო აქტს. ჯაჭვის წარმოქმნა შეიძლება მიმდინარეობდეს მარტივად ან განშტოებულად. მარტივი ჯაჭვის წარმოქმნისას ერთი ახალი რადიკალი წარმოიქმნება. განშტოებული ჯაჭვის შემთხვევაში ერთი აქტიური ცენტრის ურთიერთქმედებით რამდენიმე ახალი აქტიური ცენტრი წარმოიქმნება. მესამე საფეხურზე ხდება ჯაჭვის გაწყვეტა, აქტიური ცენტრების მოსპობა.



და ა.შ.



ციკლების რიცხვი ჯაჭვის ჩასახვიდან მის გაწყვეტამდე არის ჯაჭვის სიგრძე. წარმოქმნილი მოლეკულის სტაბილიზაციისათვის აუცილებელია მესამე ნაწილაკის არსებობა, რომელიც აიღებს ჭარბი ენერგიის ნაწილს. შეიძლება იყოს ჭურჭლის კედლები ან თვით აირის მოლეკულები. ნივთიერებას, რომლის დამატებაც იწვევს ჯაჭვის სიგრძის შემცირებას ინჰიბიტორი ეწოდება. ცნობილია, რომ მრავალი ქიმიური რეაქცია მათ შორის პოლიმერიზაციის, მიმდინარეობს ჯაჭვური ან განშტოებული ჯაჭვური მექანიზმით. ჯაჭვური რეაქციის მექანიზმით მიმდინარეობს თბური აფეთქებები და აირთა ნარევის წვა.

ექსპერიმენტული ნაწილი

სამუშაოს მიზანი: VII.1.1. ლერწმის შაქრის ინვერსიის სიჩქარის მუდმივას განსაზღვრა.

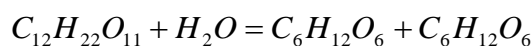
VII.1.2. ლერწმის შაქრის ინვერსიის აქტივაციის ენერჯის განსაზღვრა.

ხელსაწყო, ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივები.

პოლარიმეტრი CY-4, პოლარიმეტრული მილი, წამმზომი, თერმოსტატი; კონტაქტური თერმომეტრი; 3 თერმომეტრი (0-100°C); ანალიზური სასწორი, წონაკები, შპატელი (ფაიფურის ან რკინის); დახურული ელექტროქურა; სამი მინის ჭიქა (500 მლ); ერლენმეიერის კოლბა; 3 კოლბა (50 მლ); მენზურა (25 მლ, 250 მლ); ფილტრი ქაღალდი; მინის წკირი; საქაროზა; 1N HCl .

ლერწმის შაქრის ინვერსიის სიჩქარის მუდმივას განსაზღვრა ცდის მსვლელობა

განზავებულ წყალხსნარში შაქრის ჰიდროლიზურ დაშლას შაქრის ინვერსია ეწოდება.



გლუკოზა ფრუქტოზა

ეს პროცესი ბოლომდე მიდის. იგი ფსევდომონომოლეკულური პირველი რიგის ჰომოგენური რეაქციაა, რომელიც ჩვეულებრივ პირობებში ნელა მიმდინარეობს. რეაქციას აჩქარებს მარილმჟავას დამატება, რომლის H^+ იონები კატალიზატორის როლს ასრულებს.

ლერწმის შაქარი და მისი დაშლის პროდუქტები ოპტიკურად აქტიური ნივთიერებებია. ლერწმის შაქარსა და ინვერსიის პროდუქტებს შესწევს უნარი მათში პოლარიზებული სხივის გავლისას მოაბრუნონ პოლარიზაციის სიბრტყე გარკვეული კუთხით: ლერწმის შაქარი პოლარიზაციის კუთხეს აბრუნებს მარჯვნივ ($\alpha = 66,55^\circ$), ხოლო ინვერსიის პროდუქტები - მარცხნივ: ($\alpha_{\text{გლუკ}} = 52,5^\circ$); ($\alpha_{\text{ფრუქ}} = -91,9^\circ$).

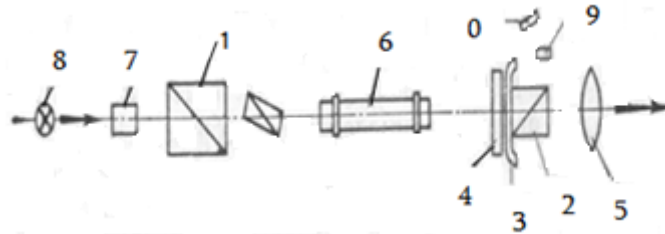
პოლარიზაციის სიბრტყის მობრუნების კუთხის გასაზომად გამოიყენება სპეციალური ხელსაწყო - პოლარიმეტრი (სურ. 2.)



სურათი 2. პოლარიმეტრი

პოლარიმეტრი შედგება ორი ძირითადი ნაწილისაგან (სურ.3) პოლარიზატორისა (1) და ანალიზატორისაგან (2). პოლარიზატორი უძრავია, მასში ხდება სინათლის სხივის პოლარიზება, ხოლო ანალიზატორი ბრუნავს ხელსაწყოს

ოპტიკური ღერძის გარშემო და საზღვრავს სხივის პოლარიზაციის სიბრტყის მობრუნების კუთხის სიდიდეს. ანალიზატორის (8) ოკულარში (საჭვრეტი მილი) განათების ერთგვაროვნების მისაღწევად საჭიროა ანალიზატორის მოძრაობით ისეთი მდგომარეობის დასაფიქსირება, როდესაც ხედვის არე ერთნაირად განათებულია. ეს არის ხელსაწყოს ნულოვანი მდგომარეობა (სურ 4, ბ).



სურათი 3. პოლარიმეტრის სქემა

1. პოლარიზატორი; 2. ანალიზატორი; 3. მაჩვენებელი; 4. ლიმბი; 5. ოკულარი;
6. პოლარიმეტრული მილი; 7. შუქვილტრი; 8. სინათლის წყარო; 9. ლუპა; 10. სარკე.

ანალიზატორის უმნიშვნელო მობრუნებით ერთი ან მეორე მიმართლებით ირღვევა განათების ერთგვაროვნება და ჩნდება ნახევრადჩაბნელებული და ნახევრადგანათებული არეები (სურ 4, ა, გ).



სურათი 4.

ნახევრადჩაბნელებული

პოლარიმეტრის ხედვის არე:

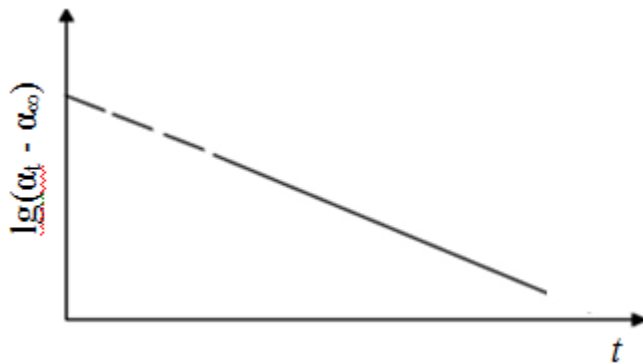
- ა. უკიდურესი მარჯვენა მდგომარეობა; ბ. ნულოვანი მდგომარეობა.
გ. უკიდურესი მარცხენა მდგომარეობა.

ექსპერიმენტს იწყებენ 20%-იანი ლერწმის შაქრის ხსნარის დამზადებით და გაფილტვრით. შაქრის სინვერსიო ნარევის დასამზადებლად იღებენ 25 მლ-ს 20%-იან ლერწმის შაქრის ხსნარს, ათავსებენ 100 მლ-იან კოლბაში, უმატებენ 25 მლ 1N HCl -ს და გახსნის შემდეგ ავსებენ (6) პოლარიმეტრულ მილს ამ ნარევით (სურ. 3). ინიშნავენ რეაქციის დაწყების დროს (შაქრის ხსნარისა და მარილმჟავას შერევის მომენტი). შემდეგ პოლარიზატორსა და ანალიზატორს შორის დგამენ პოლარიმეტრულ მილს და „წითელი“ ღილაკის საშუალებით რთავენ ხელსაწყოს ელექტრულ ქსელში. პოლარიზებული სხივის სიბრტყის შეცვლისა და განათების ერთგვაროვნების (ნახევრადჩაბნელებული და ნახევრადგანათებული არეები) დარღვევის შემდეგ, ანალიზატორის სახელურს ატრიალებენ მანამდე, სანამ მისი მოძრაობით არ მიიღება ერთნაირი განათება (ნულოვანი მდგომარეობა) და ზომავენ ნარევის მობრუნებისკუთხეს. ანათვალს იღებენ ანალიზატორის ნონიუსის ზედა და ქვედა სკალზე. ნონიუსის ქვედა სკალაზე აიღება მობრუნების კუთხის მთელი რიცხვი, ხოლო ზედა სკალაზე - მთელის რიცხვის მეასედი (დანაყოფის ფასი 0,05-ია). ზედა სკალის „0“ (ნული) ქვედა სკალის რომელ რიცხვსაც დაემთხვევა, ქვედა სკალაზე იღებენ იმრიცხვის მთელ მნიშვნელობას. რიცხვის მეასედებს იღებენ სკალაზე. ზედა „0“-დან მარჯვნივ

(მარჯვენა მხარე), პირველად რომელი ხაზიც დაემთხვევა ქვედა ხაზს ზედა სკალაზე აითვლება მთელის რიცხვის მესადი.

პოლარიზატორის მილს ათავსებენ თერმოსტატში $25^{\circ}C$ -ზე ცდის ბოლომდე. პოლარიზაციის სიბრტყის მობრუნების კუთხის ათვლა ხდება ცხრილ 1-ში მითითებული დროის მიხედვით.

α_{∞} -ის განსაზღვრისათვის სარეაქციო ნარევეს 20 წუთის განმავლობაში ათავსებენ თერმოსტატში $70^{\circ}C$ -ზე. ნარევის გაცივების შემდეგ აითვლიან α_{∞} . რაც შეეხება α_0 , რომელიც შეესაბამება რეაქციის დაწყებას, პრაქტიკულად მისი ზუსტი განსაზღვრა შეუძლებელია, რადგან რეაქციის დაწყებიდან გაზომვამდე გარკვეული დრო გადის. ამიტომ, α_0 -ის განსაზღვრას ახდენენ შემდეგნაირად: აგებენ $\lg(\alpha_t - \alpha_{\infty})$ და t -ს შორის დამოკიდებულების გრაფიკს (სურ.6.), $t = 0$ მომენტისათვის ექსტრაპოლაციით საზღვრავენ $\lg(\alpha_0 - \alpha_{\infty})$. შემდეგ ანგარიშობენ α_0 -ს. მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილ1-ში.



სურათი 6. α_{∞} -ის განსაზღვრა

$K = \frac{2,303}{t} \lg \frac{\alpha_0 - \alpha_{\infty}}{\alpha_t - \alpha_{\infty}}$ ფორმულით საზღვრავენ რეაქციის სიჩქარის მუდმივას დროის ყოველი შუალედისთვის. შემდეგ ანგარიშობენ $K_{\text{საშ}}$

ცხრილი 1

№	დროის შუალედი ანათვლებს შორის, წთ	პოლარიზაციის სიბრტყის მობრუნების კუთხე, α_t	$\alpha_t - \alpha_{\infty}$	$\lg(\alpha_t - \alpha_{\infty})$	რეაქციის სიჩქარის მუდმივა, K	$K_{\text{საშ}}$	შენიშვნა
1	0						ოთახის ტემპერატურა $t^{\circ}C$
2	15						
3	20						
4	20						
5	20						
6	20						
7	20						

**ლერწმის შაქრის ინვერსიის აქტივაციის ენერჯიის განსაზღვრა
ცდის მსვლელობა**

პირველი ამოცანის ანალოგიურად მზადდება ორი ლერწმის შაქრის საინვერსიო ხსნარი. ორივეს ათავსებენ თერმოსტატში ერთს - 30°C, მეორეს კი 40°C -ზე, ცხრილ 2-ში მითითებული დროის მიხედვით, პირველი ამოცანის ანალოგიურად საზღვრავენ ორივე ნარევის პოლარიზაციის სიბრტყის მობრუნების კუთხეს (შეცდომის თავიდან ასაცილებლად თითოეული ნარევისათვის სარგებლობენ პოლარიზატორის ერთი და იმავე მილით). შედეგები შეაქვთ ცხრილ 2-ში.

აქტივაციის ენერჯიის გამოსათვლელად საზღვრავენ რეაქციის სიჩქარის მუდმივას K_1 და K_2 მნიშვნელობას ორ სხვადასხვა ტემპერატურაზე. მაგალითად, 30°C და 40°C -ზე აქტივაციის ენერჯიას ანგარიშობენ ფორმულით:

$$E = \frac{4,575 \cdot (\lg K_2 - \lg K_1) \cdot T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1}$$

ამ განტოლებით მიღებული აქტივაციის ენერჯია უნდა შემოწმდეს გრაფიკულად. გრაფიკი იგება კოორდინატებში $\lg K - 1/T$ -ს შორის (ნახ. 2.), რაც იძლევა სწორ ხაზს, რომლის დახრის კუთხის ტანგენსი აბსცისთა ღერძთან ტოლია:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{-E}{2,303 R}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg}(180 - \alpha) = -\operatorname{tg} \alpha, \quad \text{აქედან} \quad E = 4,575 \operatorname{tg} \alpha$$

ცხრილი 2

№	დროის შუალედი ანათვლებს შორის, წთ	პოლარიზაციის სიბრტყის მობრუნების კუთხე, α_t	რეაქციის სიჩქარის მუდმივა, K	აქტივაციის ენერჯია, E	შენიშვნა
1	0				ტემპერატურა $t = 30^\circ C$ აღებულია: 1N HCl, 20%-იანი შაქრის ხსნარი
2	15				
3	15				
4	15				
5	15				
6	15				
7	15				
1	0				ტემპერატურა $t = 35^\circ C$ ან $t = 40^\circ C$ აღებულია: 1N HCl, 20%-იანი შაქრის ხსნარი
2	15				
3	15				
4	15				
5	15				
6	15				
7	15				

საკონტროლო კითხვები:

1. ქიმიური რეაქციის ელემენტარულ პროცესში მონაწილე მოლეკულების რიცხვის მიხედვით რა ტიპის რეაქციაა?
2. ჩამოაყალიბეთ ქიმიური რეაქციის რიგის ხერხები
3. როდის არის რეაქცია შექცევადი და როდის პარალელური?
4. როდის არის რეაქცია მიმდევრობითი და როდის შეუღლებული?
5. რამდენი საფეხურისაგან შედგება ჯაჭვური რეაქცია? დაასახელეთ ისინი.

VIII. კატალიზი

სხვადასხვა ორგანული და არაორგანული პროდუქტების წარმოება, როგორცაა სინთეზური კაუჩუკისა და პლასტიკური მასების მიღება, ცხიმების ჰიდროგენიზაცია, აზოტმჟავასა და გოგირდმჟავას წარმოება და ა.შ. დაფუძნებულია კატალიზურ პროცესებზე.

ქიმიური რეაქციის სიჩქარის ცვლილებას ისეთი ნივთიერების გავლენით, რომელიც რეაქციის დამთავრების შემდეგ უცვლელი რჩება, კატალიზი ეწოდება. ნივთიერებას, რომელიც იწვევს რეაქციის სიჩქარის ცვლილებას, თვითონ კი უცვლელია, კატალიზატორი ეწოდება.

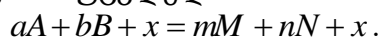
კატალიზი შეიძლება იყოს დადებითი და უარყოფითი. დადებითი კატალიზის დროს კატალიზატორის გავლენით რეაქციის სიჩქარე იზრდება, ხოლო უარყოფითი კატალიზის დროს კატალიზატორის გავლენით რეაქციის სიჩქარე მცირდება. თუ კატალიზატორად რეაქციის ერთ-ერთი პროდუქტია აღებული, მაშინ რეაქცია ავტოკატალიზურია. ხშირად კატალიზატორის ფუნქციას ფერმენტი ეწოდება ასრულებს, მას ფერმენტული კატალიზატორი ეწოდება.

კატალიზატორებს ახასიათებს განსაკუთრებული მგრძობიარობა მინარევების მიმართ, რომლის უმნიშვნელო რაოდენობა ცვლის კატალიზატორის აქტიურობას. ნივთიერებას, რომელიც აქვეითებს დადებითი კატალიზატორის აქტიურობას და იწვევს კატალიზატორის მოწამვლას, კატალიზატორის შხამი ეწოდება. ხოლო ნივთიერებას რომელიც ზრდის კატალიზატორის აქტიურობას - პრომოტორს უწოდებენ. უარყოფით კატალიზატორს ინჰიბიტორს უწოდებენ.

კატალიზატორს შერჩევითობა ახასიათებს. სხვადასხვა კატალიზატორის გამოყენებისას ერთი და იგივე რეაქცია შეიძლება სხვადასხვა გზით წარიმართოს და სხვადასხვა პროდუქტი მივიღოთ. მაგალითად, ეთილის სპირტის ორთქლის ალუმინის ჟანგის თანაობისას დაშლა 200°C -ზე გვამღევს ეთილენს, გოგირდმჟავას თანაობისას - 150°C -ზე მიიღება დიეთილეთერი, ხოლო სპილენძის, რკინისა და ნიკელის თანაობისას 300°C -ზე მიიღება ძმრის ალდეჰიდი.

განასხვავებენ ჰომოგენურ და ჰეტეროგენურ კატალიზს. კატალიზი ჰომოგენურია, როდესაც კატალიზატორი და საკატალიზო ნივთიერებები ერთ ფაზაში იმყოფება და მათ შორის არ არის გამყოფი ზედაპირი. SO_2 -ის SO_3 -ად დაჟანგვა მიმდინარეობს აზოტის ოქსიდების (NO, NO_2) თანაობისას. ჰეტეროგენული კატალიზის დროს, კატალიზატორი ცალკე ფაზას წარმოადგენს და გამოყოფილია საკატალიზო ნივთიერებებისაგან ფაზათა გამყოფი ზედაპირით. მაგალითად, წყალბადის ზეჟანგის დაშლა Pt -ის კატალიზატორის თანაობისას.

კატალიზატორის მეშვეობით შესაძლებელია მხოლოდ თერმოდინამიკურად ნებადართული რეაქციების დაჩქარება, ე.ი. რეაქციებისა, რომელთა მიმდინარეობა დაკავშირებულია სისტემის თავისუფალი ენერჯის შემცირებასთან. შექცევადი რეაქციის წონასწორობაზე კატალიზატორი გავლენას არ ახდენს, იგი თანაბრად ზრდის პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციების სიჩქარეებს, ამცირებს რა აქტივაციის ენერჯიას, კატალიზატორი აჩქარებს წონასწორობის დამყარებას. ამ დროს წონასწორობის მუდმივა K უცვლელია



ამ რეაქციის წონასწორობის მუდმივაა

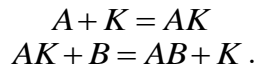
$$K = \frac{c_M^m \cdot c_N^n c_x}{c_A^a c_B^b c_x} = \frac{c_M^m \cdot c_N^n}{c_A^a c_B^b}$$

როგორც ჩანს, წონასწორობის მუდმივას მნიშვნელობაზე კატალიზატორი არ ახდენს გავლენას. როგორც აღვნიშნეთ, რეაქციის წარმართვისათვის აუცილებელი, მაგრამ არასაკმარისია მოლეკულათა ურთიერთშეჯახება. რეაქციაში შედიან მხოლოდ აქტიური მოლეკულები, რომლებიც სხვებისაგან ენერგიის მეტი მარაგით განსხვავდება. არენიუსის განტოლების თანახმად

$$K = Z \cdot e^{-E/RT}$$

რადგან დადებითი კატალიზატორი ზრდის რეაქციის სიჩქარეს, უნდა გაიზარდოს რეაქციის სიჩქარის მუდმივა. ეს მოხდება მაშინ, როდესაც გაიზრდება Z დაჯახებათა რიცხვის შესაბამისი სიდიდე ან $e^{-E/RT}$ აქტიურობის მაჩვენებელი. ეს შესაძლებელია აქტივაციის ენერგიის შემცირებით. კატალიზატორის ფუნქციაა აქტივაციის ენერგიის შემცირება.

კატალიზატორის მოქმედების მექანიზმი აიხსნება აქტივაციის ენერგიის, ენერგეტიკული ბარიერის შემცირებით და შუალედური არამდგრადი ნაერთის წარმოქმნით ერთ-ერთ მორეაგირე ნივთიერებასთან. მაგალითად:



ამ პროცესების აქტივაციის ენერგია მცირეა და რეაქცია მიმდინარეობს სწრაფად.

ამრიგად, კატალიზატორის მოქმედების მექანიზმებია:

1. სარეაქციო სისტემაში აქტიური ნაწილაკების კონცენტრაციის გაზრდა;
2. შუალედური პროდუქტების წარმოქმნა რეაგენტებთან;
3. ქიმიური აქტივაცია.

კატალიზს დიდი მნიშვნელობა აქვს წარმოებაში. ხშირად საჭიროა რეაქციის დაჩქარება, ანუ იმ დროის შემცირება, რომელიც აუცილებელია მზა პროდუქციის გამოსაშვებად, ან პირიქით, რეაქციის სიჩქარის შემცირება, მაგალითად, კოროზიული პროცესების მიმდინარეობის დროს. წარმოების ბევრ დარგში, განსაკუთრებით კი, კვების მრეწველობაში (პურის და საკონდიტრო საცხობებისათვის) მნიშვნელოვანი როლი ეკისრება ფერმენტულ კატალიზს.

ექსპერიმენტული ნაწილი

სამუშაოს მიზანი: VIII.1.1. წყალბადის ზეჟანგის კატალიზური დაშლის სიჩქარის მუდმივას განსაზღვრა ფერმენტული კატალიზატორის თანაობისას

ხელსაწყო, ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივები.

შტატივი; ბიურეტი; წამმზომი; ფილტრის ქაღალდი;

ანალიზური სასწორი, წონაკები; შპატელი (ფაიფურის ან რკინის);

2 ქიმიური ჭიქა (25 მლ); 3 ქიმიური ჭიქა (50 მლ); მინის წკირი;

11 ერლეიმეიერის კოლბა; 2 მენზურა (10 მლ; 25 მლ); პიპეტი (1 მლ);

საფუარი; 3%-იანი წყალბადის ზეჟანგის ხსნარი;

1%-იანი განზავებული გოგირდმჟავსა ხსნარი;

0,1N $KMnO_4$ -ის ხსნარი; გამოხდილი წყალი.

ცდის მსვლელობა

აკვირდებიან კატალიზატორის გავლენას წყალბადის ზეჟანგის დაშლის სიჩქარეზე. ამისათვის იღებენ ორ 50 მლ-იან ქიმიურ ჭიქას. ერთ ჭიქაში ასხამენ 3%-იან წყალბადის ზეჟანგის ხსნარს 30 მლ-ს, მეორე ჭიქაში - 10 მლ-ს. ცდის დაწყებამდე საჭიროა წყალბადის ზეჟანგის საწყისი კონცენტრაციის დადგენა. ამისათვის ერლენმეიერის კოლბაში ასხამენ 25 მლ წყალს, ამატებენ 10 მლ 1%-იან განზავებულ გოგირდმჟავას ხსნარს, 1 მლ 3%-იან წყალბადის ზეჟანგის ხსნარს და ტიტრავენ 0,1N $KMnO_4$ -ის ხსნარით. ამის შემდეგ ორი ჭიქიდან ერთ-ერთს დაუმატებენ წინასწარ აწონილ 0,015 გ საფუარს (ფერმენტი), ხოლო მეორეს ტოვებენ კატალიზატორის გარეშე.

ცხრილში მოცემული დროის შუალედის მიხედვით იღებენ როგორც ერთი, ისე მეორე ჭიქიდან 1 მლ წყალბადის ზეჟანგს და ტიტრავენ კალიუმის პერმანგანატის ხსნარით ისევე, როგორც საწყისი კონცენტრაციის განსაზღვრისას. მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილ 1-ში. წყალბადის ზეჟანგის დაშლის სიჩქარის მუდმივას ანგარიშობენ პირველი რიგის რეაქციის კინეტიკური განტოლებით

$$K = \frac{2.303}{t} \lg \frac{a}{a-x}$$

სადაც a - წყალბადის ზეჟანგის საწყისი კონცენტრაციაა და განისაზღვრება

0,1N $KMnO_4$ -ის დახარჯული რაოდენობით (მლ) რეაქციის დაწყებამდე, ე.ი.

$t = 0$ მომენტში;

$a - x$ - კონცენტრაცია, რომელიც განისაზღვრება 0,1N $KMnO_4$ -ის დახარჯული რაოდენობით t მომენტში.

ცხრილი 1

№	დროის შუალედი ანათვლებს შორის, წთ, τ		0,1N $KMnO_4$ – დახარჯული რაოდენობა, მლ		რეაქციის სიჩქარის მუდმივა, K	
	კატალიზა- ტორის შემთხვევაში	კატალიზა- ტორის გარეშე	კატალიზა- ტორის შემთხვევაში	კატალიზა- ტორის გარეშე	კატალიზა- ტორის შემთხვევაში	კატალიზა- ტორის გარეშე
1	0	0				
2	5	20				
3	10	40				
4	20	60				
5	30					
6	40					
7	60					

სამუშაოს მიზანი: VIII.1.2. წყალბადის ზეჟანგის კატალიზური დაშლის რეაქციის სიჩქარის მუდმივას განსაზღვრა პლატინის კატალიზატორის თანაობისას

ხელსაწყო, ქიმიური ჭურჭელი, რეაქტივები.

შტატივი; ბიურეტი; წამმზომი; ფილტრის ქაღალდი;

2 ქიმიური ჭიქა (25 მლ); 3 ქიმიური ჭიქა (50 მლ);

10 ერლენმეიერის კოლბა; 2 მენზურა (10 მლ; 25 მლ); პიპეტი (1 მლ);

პლატინის ფირფიტა ახლად დაფარული პლატინის შავით;

3%-იანი წყალბადის ზეჟანგის ხსნარი;

1%-იანი განზავებული გოგირდმჟავა ხსნარი;
 0,1N $KMnO_4$ -ის ხსნარი; გამოხდილი წყალი.

ცდის მსვლელობა

აკვირდებიან კატალიზატორის გავლენას წყალბადის ზეჟანგის დაშლის სიჩქარეზე. ამისათვის იღებენ ორ 50 მლ-იან ქიმიურ ჭიქას. ერთ ჭიქაში ასხამენ 3%-იან წყალბადის ზეჟანგის ხსნარს 30 მლ-ს, მეორე ჭიქაში - 10 მლ-ს. ცდის დაწყებამდე საჭიროა წყალბადის ზეჟანგის საწყისი კონცენტრაციის დადგენა. ამისათვის ერლენმეიერის კოლბაში ასხამენ 25 მლ წყალს, ამატებენ 10 მლ 1%-იან განზავებულ გოგირდმჟავას ხსნარს, 1 მლ 3%-იან წყალბადის ზეჟანგის ხსნარს და ტიტრავენ 0,1N $KMnO_4$ -ის ხსნარით. ამის შემდეგ ორი ჭიქიდან ერთ-ერთში ჩაუშვებენ წვრილ მავთულზე დამაგრებულ პლატინის ფირფიტას, რომელიც დაფარულია პლატინის შავით, ხოლო მეორეს - ტოვებენ კატალიზატორის გარეშე. ამის შემდეგ 9 ერლენმეიერის კოლბაში, ასხამენ (თითოეულში) 25 მლ წყალს და 10 მლ 1%-იან განზავებულ გოგირდმჟავას ხსნარს.

ცხრილში მოცემული დროის შუალედის მიხედვით იღებენ თითოეული ჭიქიდან (კატალიზატორით და კატალიზატორის გარეშე) 1 მლ წყალბადის ზეჟანგს და ტიტრავენ კალიუმის პერმანგანატის ხსნარით ისევე, როგორც საწყისი კონცენტრაციის განსაზღვრის შემთხვევაში. მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილ 1-ში. წყალბადის ზეჟანგის დაშლის სიჩქარის მუდმივას ანგარიშობენ პირველი რიგის რეაქციის კინეტიკური განტოლებით

$$K = \frac{2.303}{t} \lg \frac{a}{a-x}$$

სადაც a - წყალბადის ზეჟანგის საწყისი კონცენტრაციაა და განისაზღვრება 0,1N $KMnO_4$ -ის დახარჯული რაოდენობით (მლ) რეაქციის დაწყებამდე, ე.ი. $t = 0$ მომენტში;
 $a - x$ - კონცენტრაცია, რომელიც განისაზღვრება 0,1N $KMnO_4$ -ის დახარჯული რაოდენობით t მომენტში.

ცხრილი 1

№	დროის შუალედი ანათვლებს შორის, წთ, τ		0,1N $KMnO_4$ - დახარჯული რაოდენობა, მლ		რეაქციის სიჩქარის მუდმივა, K	
	კატალიზატორის შემთხვევაში	კატალიზატორის გარეშე	კატალიზატორის შემთხვევაში	კატალიზატორის გარეშე	კატალიზატორის შემთხვევაში	კატალიზატორის გარეშე
1	0	0				
2	5	20				
3	10	40				
4	20	60				
5	30					
6	40					
7	60					
8	80					

საკონტროლო კითხვები:

1. რას ეწოდება კატალიზი?
2. რა არის კატალიზატორი?
3. როგორი კატალიზატორები არსებობს?
4. როდის არის კატალიზი ჰომოგენური და როდის ჰეტეროგენული ?
5. რა ხდება დადებითი და უარყოფითი კატალიზის დროს?
6. რა განსხვავებაა კატალიზატორის მოწამვლასა და უარყოფით კატალიზს შორის?
7. რას ეწოდება ავტოკატალიზი?

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ბიბილეიშვილი დ., ორმოცაძე ნ., თეორიული ფიზიკური ქიმია, თბილისი, „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2016 წ, 288 გვ.
2. ბერეჟიანი ლ., ფიზიკური ქიმიის კურსი, მეორე გადამუშავებული გამოცემა, თბილისი, 1997 წ, 539 გვ.
3. ბიბილეიშვილი დ., ბერძენიშვილი ი., ბოკუჩავა ნ., ტესტები ფიზიკურ და კოლოიდურ ქიმიაში, I ნაწილი, თბილისი, „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2009 წ, 94 გვ.
4. ბერეჟიანი ლ., კახაძე ა., ცინაური თ., კაჭახიძე თ., რაზმაძე მ., თავართქილაძე მ., ნაჭყებია ც., ბოკუჩავა ნ., გალუაშვილი ჟ., რატიანი ნ., აბულაძე ნ., ხუგაშვილი ც., ლაბორატორიულ დამუშაოთა კრებული ფიზიკურ ქიმიაში, თბილისი 1989წ 142გვ.
5. კოკოჩაშვილი ვ., ფიზიკური ქიმიის ლაბორატორიული სახელმძღვანელო, თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ბილისი, 1980 წ, 452 გვ.
6. ელიზბარაშვილი ე., გელიაშვილი ზ., ჭირაქაძე გ., სპექტრომეტრული მეთოდების გამოყენება ორგანულ ქიმიაში, თბილისი, „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2005 წ, 162 გვ.
7. Практикум по физич еской химии под общей редакцией Н.К.Воробьева, М. Издательство «Хмия» 1975 г. Стр. 368.

ს ა რ ჩ ე ვ ი

წინასიტყვაობა -----	5
I. ნივთიერების აღნაგობა და თვისებები -----	6
I.1. რეფრაქტომეტრია -----	6
I.2. სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა -----	13
I.3. სპექტროფოტომეტრია -----	17
II. ქიმიური თერმოდინამიკა -----	24
II.1. თერმოქიმია -----	24
III. ქიმიური წონასწორობა ჰომოგენურ სისტემებში -----	33
III.1. წონასწორობის მუდმივას განსაზღვრა -----	33
IV. წონასწორობა ჰეტეროგენურ სისტემებში -----	37
IV. 1. შეუზღუდავად ხსნადი სითხეების მდგომარეობის დიაგრამის აგება -----	37
IV. 2. განაწილების კოეფიციენტის განსაზღვრა -----	44
V. კრიომეტრია -----	45
VI. ელექტროქიმია -----	54
VI.1. ელექტროლიტების ხსნარების ელგამტარობა -----	54
VI.2. კონდუქტომეტრია -----	63
VI.3. ელექტრომამოძრავებელი ძალები -----	66
VII. ქიმიური კინეტიკა -----	72
VIII. კატალიზი -----	83
გამოყენებული ლიტერატურა -----	88

redaqtori v. maRraZe

gadaeca warmoebas 21.09.2018. xelmowerilia dasabeWdad 26.09.2018. qaRaldis zoma
60X84 1/8. pirobiTi nabeWdi Tabaxi 6,5.

sagamomcemlo saxli `teqnikuri universiteti~, Tbilisi, kostavas 77



Verba volant,
scripta manent