

რეზო კლდიაშვილი, ხათუნა დიდიკე

**ბიოარაოროგანული**

**და**

**ბიოფიზიკური**

**ქ ი მ ი ა**

თბილისი

2006

უკ (UDC) 543.9  
კ 588

რედაქტორი ქიმიის მეცნიერებათა კანდიდატი,  
დოცენტი შაკა ალექსიშვილი

რეცენზენტები: ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი,  
პროფესორი გიორგი შრეფლიშვილი  
ბიოლოგიის მეცნიერებათა კანდიდატი,  
დოცენტი ნუნუ შეტრეველი

დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ პეტრე შოთაძის სახელობის  
თბილისის საშუალო საკლასო საშუალო-პედაგოგიური საბჭოს მიერ

ISBN 99940-37-74-9

## წინასიტყვაობა

სახელმძღვანელო შედგენილია სამედიცინო-ბიოლოგიური პროფილის სასაწავლებლების სტუდენტებისათვის. მასში ნაჩვენებია, რომ მეცნიერების ისეთი დარგები, როგორცაა ქიმია და მედიცინა, მჭიდრო კავშირშია ერთმანეთთან და ნებისმიერ მათგანში მიღწეული სამეცნიერო წარმატება სასიკეთოდ მოქმედებს მეორის განვითარებაზე.

ადამიანის ორგანიზმში წარმოადგენს ერთგვარ ქიმიურ ლაბორატორიას, რომელშიც ერთდროულად მიმდინარეობს ცხოველქმედებისათვის აუცილებელი პროცესები (ბიოქიმიური, ჟანგვა-აღდგენითი, ფიზიოლოგიური და სხვა). თანამედროვე სტუდენტს, ხოლო შემდგომ სამედიცინო სფეროს მუშაკს, გარდა ღრმა სამედიცინო ცოდნისა, უნდა გააჩნდეს უნარ-ჩვევები, რათა სხვა საბუნებისმეტყველო დარგების მეცნიერული მიღწევების საფუძველზე მიღებული ცოდნა განავრცოს და გამოიყენოს მიზანდასახულად.

სწორედ ამ მიზანს ემსახურება ავტორთა მიერ შემოთავაზებული სახელმძღვანელო – **ბიოარაორგანული და ბიოფიზიკური ქიმია**. მასში განხილულია თითქმის ყველა ძირითადი თეორიული საკითხი, რომლის ცოდნა მაღალკვალიფიციური ექიმისთვის აუცილებელია, რათა გაერკვეს ცოცხალ ორგანიზმში მიმდინარე მეტაბოლურ პროცესებში როგორც ნორმალური, ისე პათოლოგიური მდგომარეობის დროს. გარდა ამისა, ორგანიზმზე გარე ფაქტორებისა და ქიმიური და ფიზიოთერაპიული საშუალებების მოქმედებისას.

სახელმძღვანელო შედგება 9 თავისაგან, რომლებშიც წარმოდგენილია შემდეგი საკვანძო საკითხები: ატომის ელექტრონული აღნაგობის თეორია, ატომის ძირითადი თვისებები, s-, p-, d- ელემენტების ატომების ელექტრონული სტრუქტურები და სხვა. ამავე დროს, ახსნილია ბიოსისტემაში არსებული ქიმიური ბმების ბუნება, იონური ურთიერთქმედება ცილებში და ა.შ.

ქიმიური თერმოდინამიკა წარმოდგენილია თერმოდინამიკის I და II კანონისა და ქიმიური წონასწორობის განხილვით. ნაჩვენებია, რომ ენერჯის სხვადასხვა ფორმების ურთიერთგარდაქმნა, რომელიც ცოცხალ ორგანიზმში მიმდინარეობს, ემორჩილება არაწონასწორული თერმოდინამიკის პრინციპებს.

ცოცხალ ორგანიზმში მთელი რიგი პროცესები მიმდინარეობს თხევად ფაზაში. აქედან გამომდინარე, სახელმძღვანელოში საკმაოდ ყურადღება დაეთმო ისეთ საკითხებს, როგორცაა ხსნარები და ოსმოსური მოვლენები, ელექტროლიტები და მათი როლი ცოცხალ ორგანიზმში, pH-მაჩვენებელი და ბუფერული ხსნარები, ორგანიზმის ფუძემყარე წონასწორობა, მიოგლობინისა და ჰემოგლობინის გაჯერება უანგბადით და ორგანიზმის სუნთქვის პროცესის თავისებურებანი.

ცოცხალ ორგანიზმში, თხევად ფაზაში მყოფი ნივთიერებები უმეტესად წარმოდგენილია კოლოიდური სისტემის სახით. ამიტომ ე.წ. კოლოიდები ცალკე თავშია განხილული. გარდა ამისა, ნაჩვენებია სხვადასხვა სახის კოლოიდურ სისტემასა და ორგანიზმში არსებულ თხევად ფაზაში მყოფ სისტემებს შორის ურთიერთკავშირი (მსგავსება).

ცოცხალ ორგანიზმში მიმდინარე მეტაბოლური და სხვა პროცესები იგივე ქიმიური პროცესებია, რომლებსაც წარმართავს კატალიზური მოქმედების მქონე ფერმენტები. აქედან გამომდინარე, ცალკე თავი ეძღვნება ქიმიური კინეტიკისა და კატალიზის, ფერმენტებისა და ფერმენტული რეაქციის კინეტიკის საკითხებს.

სახელმძღვანელოში განხილულია ცოცხალ ორგანიზმში მიმდინარე და სამკურნალო პრეპარატების ტექნოლოგიაში გამოყენებული ელექტროქიმიური პროცესები. ისინი საფუძვლად უდევს ნივთიერებათა კვლევისა და ანალიზის თანამედროვე მეთოდებს, რაც ნაჩვენებია მინის ელექტროდის მაგალითზე (pH-მაჩვენებლის გაზომვა, საკვლევი ხსნარში  $\text{CO}_2$ -ის შემცველობის განსაზღვრა და ა.შ.); წარმოდგენილია ქსოვილებისა და უჯრედების ელგამტარობა.

ბიოლოგიურად აქტიური კომპლექსური ნაერთების აღნაგობა, ლითონფერმენტები, ლითონ-ლიგანდის ჰომეოსტაზის დარღვევა ორგანიზმში, ასევე, ხელატოთერაპიის ქიმიური საფუძვლები მეტად მნიშვნელოვანი საკითხებია და ცალკე თავშია განხილული.

ბოლო თავი ეძღვნება s-, p-, d- სასიცოცხლო ელემენტებს. ნაჩვენებია, თუ რა პათოლოგიურ პროცესებს იწვევს ორგანიზმში მათი დასაშვები კონცენტრაციის დარღვევა.

## ატომის ელექტრონული აღნაგობის თეორია

1913 წელს ნილს ბორმა შეიმუშავა ატომის ელექტრონული აღნაგობის მოდელი, რომლის მიხედვით ატომი შედგება დადებითად დამუხტული ბირთვის და მის გარშემო მბრუნავი ელექტრონებისაგან.

ბორის თეორიას საფუძვლად უდევს სამი პოსტულატი:

- 1) ბირთვის გარშემო ელექტრონი ბრუნავს არა ნებისმიერი, არამედ განსაზღვრული წრიული ორბიტების გარშემო, მათ უწოდეს სტაციონარული ორბიტები.
- 2) სტაციონარულ ორბიტაზე მოძრაობისას ელექტრონი არ გამოასხივებს ელექტრომაგნიტურ ენერგიას.
- 3) გამოსხივება ხდება ელექტრონის ნახტომისებრი გადასვლის დროს ერთი სტაციონარული ორბიტიდან მეორეზე. ამ დროს გამოიყოფა ან შთაინთქმება ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ქვანტი, რომლის ენერგია ტოლია, ატომის საბოლოო და საწყისი მდგომარეობების ენერგიების სხვაობის.

ელექტრონები ბირთვის გარშემო განლაგებულია შრეებად. ქიმიურ თვისებებს უმთავრესად განსაზღვრავს გარე შრე. ქიმიური რეაქციების დროს ადგილი აქვს გარე შრის ელექტრონების გაცემას ან მიერთებას.

ამ საკითხებში გარკვევის მიზნით, შეგახსენებთ, რომ არსებობს – ქვანტური რიცხვები  $n, l, m, S$ , რომლითაც ხასიათდება ელექტრონის მდგომარეობა ატომში.

***n*-მთავარი ქვანტური რიცხვია**, რომელიც ღებულობს დადებით, მთელ მნიშვნელობებს: 1, 2, 3, . . . ა.შ. როცა  $n=1$ , ელექტრონს გააჩნია უმცირესი ენერგია.  $n$ -ის გაზრდით იზრდება ელექტრონის ენერგიაც. ამიტომ ელექტრონის მდგომარეობას, განსაზღვრულს მთავარი ქვანტური რიცხვით, უწოდებენ ატომში ელექტრონის ენერგეტიკურ დონეს. ვთქვათ  $n=1$ , ეს ნიშნავს, რომ ელექტრონი მდებარეობს პირველ ენერგეტიკულ დონეზე; თუ  $n=2$ , მაშინ მეორეზე და ა.შ.

*l* – **ორბიტალური ქვანტური რიცხვია**. ის ლებულობს მთელ რიცხვით მნიშვნელობებს 0-დან  $(n-1)$ -მდე, სადაც  $n$ -მთავარი ქვანტური რიცხვია. თუ  $n=1$ , მაშინ  $l=0$  და ა.შ.

*m* – **მაგნიტური ქვანტური რიცხვია**, რომელიც განსაზღვრავს ელექტრონული ღრუბლის ორიენტაციას სივრცეში. ის ლებულობს მთელ რიცხვით მნიშვნელობებს, როგორც დადებითს, ისე უარყოფითს, ზღვრებში  $(+l)$ -დან  $(-l)$ -მდე. ამგვარად,  $l$ -ის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის  $m$  ლებულობს სხვადასხვა მნიშვნელობებს. ასე მაგალითად,  $S$  – ელექტრონებისათვის ( $l=0$ ), შესაძლებელია  $m$ -ს ჰქონდეს მხოლოდ ერთი მნიშვნელობა ( $m=0$ );  $P$ -ელექტრონებისათვის ( $l=1$ ), შესაძლებელია  $m$ -ს ჰქონდეს სამი სხვადასხვა მნიშვნელობა  $m(-1, 0, +1)$  და ა.შ.

ელექტრონების მდგომარეობას ატომში განსაზღვრულს  $n, l, m$  – ქვანტური რიცხვებით და ამ უკანასკნელის შესაბამისად განსაზღვრულს ზომებით, ფორმით და ორიენტაციით, ეწოდება ატომური ელექტრონული ორბიტალი.

ატომის სპექტრების შესწავლისას დაადგინეს, რომ გარდა  $n, l, m$  ქვანტური რიცხვებისა, ელექტრონი ხასიათდება კიდევ ერთი ქვანტური სიდიდით, ეს არის სპინი ( $S$ ), რაც ინგლისურად ნიშნავს დახვევას, ბრუნვას. სპინი არ არის დაკავშირებული ელექტრონის გადაადგილებასთან ბირთვის გარშემო. იგი განსაზღვრავს თავის საკუთარ მდგომარეობას. ელექტრონის სპინს შეიძლება ჰქონდეს მხოლოდ ორი მნიშვნელობა:  $+1/2$  და  $-1/2$ .

პაულის პრინციპის მიხედვით, ატომში არ შეიძლება იყოს ორი ისეთი ელექტრონი, რომელთაც ოთხივე ქვანტური რიცხვი აქვთ ტოლი.

აქედან გამომდინარე, ყოველი ატომური ორბიტალი ხასიათდება გარკვეული  $n, l, m$  – სიდიდეებით; მასზე შეიძლება მოთავსდეს არა უმეტეს ორი ელექტრონისა, რომელთა სპინებს აქვთ საწინააღმდეგო ნიშანი.

ერთ ორბიტალზე მოთავსებულ ორ ელექტრონს, რომელთა სპინები

ურთიერთსაწინააღმდეგოდ არის მიმართული, ეწოდება შეწყვილებული. იმ შემთხვევაში, თუ ორბიტალზე მოთავსებულია ერთი ელექტრონი, მას შეუწყვილებელი ეწოდება.

პაულის პრინციპის გამოყენებით, შესაძლებელია გამოვთვალოთ ატომში ელექტრონების მაქსიმალური რაოდენობა განსხვავებულ ენერგეტიკულ დონეებზე და ქვედონეებზე.

როცა  $l=0$ , გვაქვს S-ქვედონე და ამ შემთხვევაში  $m=0$ . შესაბამისად S-ქვედონეზე გვექნება მხოლოდ ერთი ორბიტალი, რომელიც მიღებულია პირობითად აღინიშნოს უჯრედის სახით („ქვანტური უჯრედი“):  $\square$ . ვიცით, რომ ყოველ ატომურ ორბიტალზე მოთავსდება არაუმეტეს ორი ელექტრონისა, რომელთა სპინები ურთიერთსაწინააღმდეგოდაა მიმართული. სიმბოლურად ეს შეიძლება გამოისახოს შემდეგი სქემით:  $\begin{array}{|c|} \hline \uparrow \\ \downarrow \\ \hline \end{array}$

როცა  $l=1$  (P – ქვედონე), მაშინ უკვე  $m=3$ . შესაბამისად, P-ქვედონეზე გვაქვს სამი ორბიტალი, რომელთაგან თითოეული მათგანი შეიცავს არაუმეტეს ორ ელექტრონს. ამგვარად, P-ქვედონეზე მოთავსდება სულ 6 ელექტრონი:



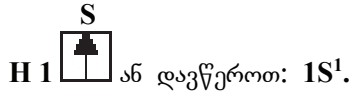
d-ქვედონე ( $l=2$ ), შედგება ხუთი ორბიტალისაგან, რომლებიც შეესაბამებიან  $m$ -ის ხუთ სხვადასხვა მნიშვნელობას. ამ შემთხვევაში, ელექტრონების მაქსიმალური რიცხვი არის 10:



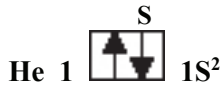
ბოლოს f-ქვედონე ( $l=3$ ), რომელზეც შეიძლება განლაგდეს 14 ელექტრონი.

ატომში ელექტრონს ყველაზე სტაბილური მდგომარეობა აქვს მაშინ, როცა მისი ენერჯიის მნიშვნელობა მინიმალურია. ელექტრონის ნებისმიერი სხვა მდგომარეობა ითვლება აგზნებულად, არასტაბილურად. ელექტრონი თვითნებურად გადადის ამ მდგომარეობიდან, გაცილებით ნაკლები ენერჯიის მქონე მდგომარეობაში.

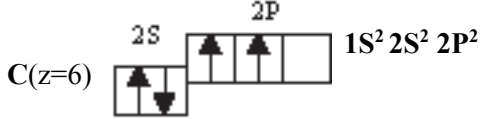
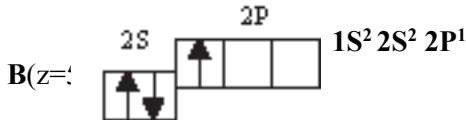
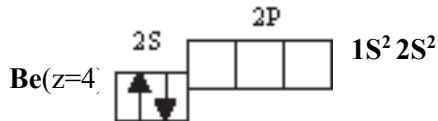
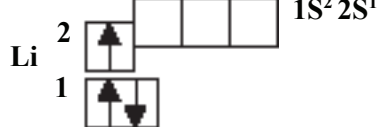
განვიხილოთ, წყალბადის ატომი ჩვეულებრივ მდგომარეობაში. მისი ბირთვის მუხტი  $Z=1$ , ერთადერთი ელექტრონი იმყოფება შედლებისდაგვარად ყველაზე დაბალ ენერგეტიკულ მდგომარეობაში, ანუ  $1s$ -ქვედონე. წყალბადის ატომის ელექტრონული სტრუქტურა შეიძლება გამოვსახოთ სქემით:



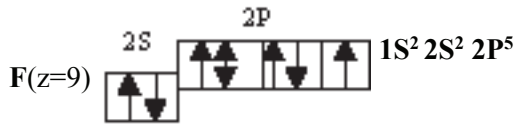
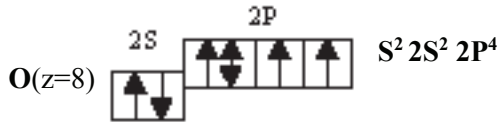
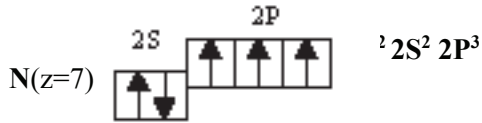
ამ პრინციპით გამოვსახოთ ზოგიერთი ელემენტის ატომის ელექტრონული სტრუქტურები:



ნახშირბადის ატომის S P ტრუქტურაში ელექტ-



**2. იონიზაციის ენერგია.** ატომიდან ელექტრონის მოსაწყვეტად დახარჯულ ენერგიას იონიზაციის ენერგია ეწოდება. იგი გამოისახება ელექტრონ ვოლტებში. ჯგუფებში იონიზაციის ენერგია ზემოდან ქვემოთ მცირდება. იონიზაციის ენერგია რადიუსის გაზრდასთან დაკავშირებით პერიოდებში მარცხნიდან მარჯვნივ იზრდება.



რონების ასეთი განლაგება ყოველთვის უნდა იყოს. ამავდროულად წესის თანახმად გამოისახება შემდეგი ელემენტის – აზოტის ელექტრონული სტრუქტურა:

ბოლოს, ნეონის ატომთან ( $Z=10$ ) მთავრდება  $2p$  – ქვედონის შევსება და ამით მეორე ენერგეტიკული დონის შევსებაც.

ამგვარად, დაწყებული ბორიდან ( $Z=5$ ) და დამთავრებული ნეონით ( $Z=10$ ) ხდება  $P$ -ქვედონის გარე ელექტრონული შრის შევსება. გამომდინარე აქედან, მეორე პერიოდის ამ ნაწილის ელემენტები მიეკუთვნებიან  $P$ -ელემენტების ოჯახს.

### ატომთა ძირითადი თვისებები

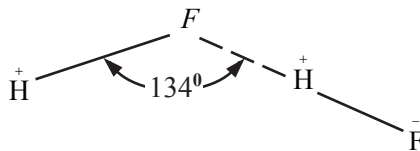
1. **ატომის რადიუსი.** თუ წარმოვიდგინოთ კრისტალური აგებულების მქონე მარტივი ნივთიერების სტრუქტურას, მაშინ ატომის ბირთვებს შორის მანძილი საშუალებას მოგვცემს განვსაზღვროთ ატომთა რადიუსი. მაგ.: სპილენძის კრისტალში ბირთვებს შორის მანძილი  $0,256$  ნმ-ის ტოლია, თუ ამ რადიუსს გავყოფთ ორზე, მივიღებთ სპილენძის რადიუსს  $r_{cu} = 0,128$  ნმ.

3. უდუღეკაწთოფჳქშ თცკაფამფ. ენერგიას, რომელიც გამოიყოფა ატომთან ელექტრონის მიერთებისას, ეწოდება ელექტრონისადმი სწრაფვა.

4. უდუღეკაწგფგნწაშქწოფ. ეს არის ატომის უნარი თავისკენ გადასწიოს საერთო ელექტრონული წყვილი. ჯგუფებში ზემოდან ქვემოთ ელექტროუარყოფითობა მცირდება, ხოლო პერიოდში მარცხნიდან მარჯვნივ იზრდება, გარე შრეზე ელექტრონთა რიცხვის ზრდის გამო.

ყველაზე ელექტროუარყოფითი ელემენტებია ჟანგბადი და ფტორი.

5. ცნფდიფგჳკაშ იქფ ვფ ქშთშ იგტუიფ. წყალბადური ბმა ეწოდება ბმას, რომელიც წარმოიქმნება წყალბადსა და მეზობელი მოლეკულის ელექტროუარყოფით ატომს შორის, მაგ.: O, F, N. წყალბადური ბმა შეიძლება გვქონდეს, როგორც მოლეკულის შიგნით, მაგ.: ბიოპოლიმერებში, ასევე მოლეკულათაშორის. მაგალითად, განვიხილოთ წყალბადური ბმის წარმოქმნა ორი მოლეკულა HF ურთიერთქმედებისას, შემდეგი სქემის მიხედვით:



ნიშნის ნაწილებით ურთიერთქმედებენ.

### მოლეკულური ორბიტალების მეთოდი — „მომ“

ამ მეთოდის მიხედვით მოლეკულაში ელექტრონთა მდგომარეობა აიწერება ელექტრონული ორბიტალების ერთობლიობით.

„მომ“-ის ამოხსნის მრავალი მიახლოებითი მეთოდი არსებობს; ყველაზე მარტივი და პოპულარულია ატომური ორბიტალების წრფივი კომბინაციის მეთოდი, რომლის მიხედვით მოლეკულურ ორბიტალებს იხილავენ, როგორც ატომური ორბიტალების წრფივ კომბინაციას.

ძირითადად განასხვავებენ მოლეკულური ორბიტალების ორ სახეს:

აქ პუნქტირით აღნიშნულია წყალბადური ბმის წარმოქმნა, ხოლო (+) და (-) ნიშნები ეკუთვნის ატომის მუხტებს.

წყალბადური ბმის ენერგია გაცილებით ნაკლებია ჩვეულებრივი კოვალენტური ბმის ენერგიაზე. ის ტოლია 2 კკალ/მოლ-ის აზოტის ნაერთებთან და ~10 კკალ/მოლ-ის ფთორის ნაერთებთან.

მიუხედავად იმისა, რომ წყალბადური ბმის ენერგია დაბალია, მას მაინც შესწევს უნარი მოახდინოს მოლეკულების ასოციაცია დიმერებში ან ბიოპოლიმერებში, რომლებიც რიგ შემთხვევაში არსებობენ არა მარტო თხევადი ნივთიერებების სახით, არამედ ორთქლის მდგომარეობაშიც. სწორედ ასოცირებული მოლეკულები განაპირობებენ ანომალიურად მაღალი დუღილის და ლღობის ტემპერატურებს ისეთ ნივთიერებებში, როგორიცაა HF, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, სპირტები და სხვა.

მნიშვნელოვანია აგრეთვე წყალბადური ბმების არსებობა ცილების მესამეული სტრუქტურის წარმოქმნისა და დაკავების ფაქტორებს შორის. დაკავების ფაქტორებს შორის იგულისხმება: დისულფიდური ხიდები —S—S—, მარილისებრი ხიდები ამინოჯგუფებისა და კარბოქსილისაგან და ა.შ.

**6. ქვდულგდფმფმწკშთშ მფტ-გუკ-მფფდოგკშ ჭფდუიშ.** ეს ძალები განაპირობებს მოლეკულათა ურთიერთმიზიდვას. ისინი ვლინდებიან მყარ და თხევად ნივთიერებებში. ვან-დერ-ვაალსურ ძალებს მიეკუთვნება ორიენტაციული, ინდუქციური და დისპერსიული ძალები.

- 1) ორიენტაციულ ურთიერთქმედებას ადგილი აქვს პოლარულ მოლეკულებში, სადაც დიპოლები ორიენტირდებიან ერთმანეთის მიმართ საწინააღმდეგოდ დამუხტული პოლუსებით.
- 2) ინდუქციური ურთიერთქმედება თავს იჩენს ისეთ არაპოლარულ მოლეკულებში, რომელთაც აქვთ პოლარიზაციის უნარი. ამ შემთხვევაში ერთი მოლეკულის ატომი თავისი ელექტრონული ველის საშუალებით აწარმოებს მეზობელი მოლეკულის უახლოესი ატომის პოლარიზაციას.
- 3) დისპერსიულ ურთიერთქმედებას განაპირობებს მყისიერი დიპოლების წარმოქმნა ატომებში ელექტრონების მოძრაობის გამო. ამასთან, მეზობელი მოლეკულები ერთმანეთთან საწინააღმდეგოდ

1. შემაკავშირებელი, მისი ენერგია ნაკლებია მათი წარმოქმნილი ატომური ორბიტალების ენერგიაზე;

2. გამთიშავი, რომლის ენერგია აღემატება წარმოქმნილი ატომური ორბიტალების ენერგიას.

„მო“-ის შევსების დროს დაცული უნდა იყოს შემდეგი წესები:

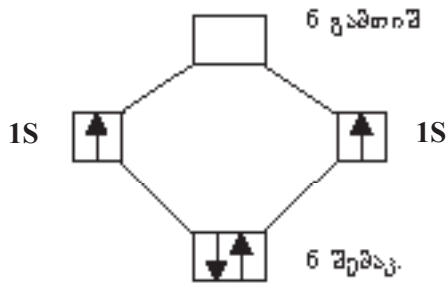
1) თითოეულ „მო“-ზე შეიძლება მოთავსდეს მაქსიმუმ ორი ელექტრონი;

2) „მო“-ს შევსება მიმდინარეობს უმცირესი ენერგიების პრინციპის მიხედვით.

განვიხილოთ  $H_2$  წარმოქმნა „მომ“-ის მიხედვით.

წყალბადის ორი ელექტრონული ორბიტალისაგან წარმოიქმნება ორი მოლეკულური ორბიტალი: ერთი შემაკავშირებელი და მეორე გამთიშავი, რადგან შემაკავშირებელი ორბიტალის ენერგია ნაკლებია გამთიშველებზე ორივე ელექტრონი განლაგდება შემაკავშირებელ ორბიტალზე და წარმოიქმნება  $\sigma$  ბმა (იხ. ნახ. 1)

„მომ“-ის თანახმად, მოლეკულა მაშინ წარმოიქმნება, როცა ელექტრონთა რაოდენობა შემაკავშირებელ ორბიტალზე მეტია, ვიდრე გამთიშავზე. თუ ელექტრონთა რაოდენობა ტოლია, მაშინ მოლეკულა



ნახ. 1. წყალბადის მოლეკულის წარმოქმნის სქემა.

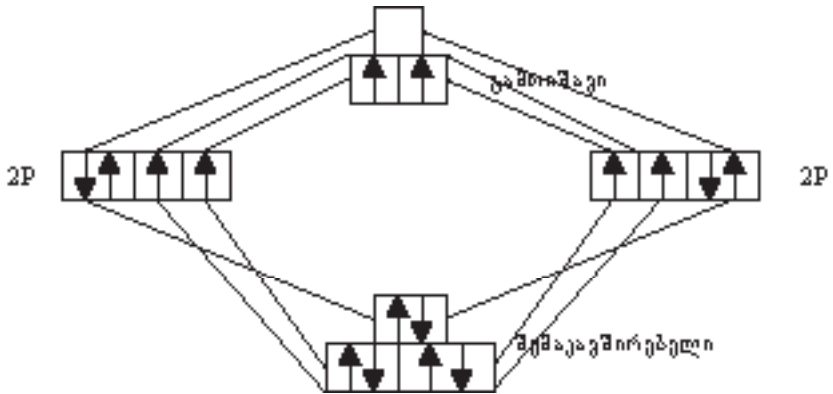
ამება ორმაგ ბმას.

### **ბიოსისტემებში არსებული ქიმიური ბმები**

ბიოლოგიურად აქტიურ მოლეკულას იძლევა წყალბადის ატომის და ხუთი ელემენტის: C, N, O, P, S ერთობლიობა. დღეისათვის ბიოლო-

არ წარმოიქმნება.

განვიხილოთ ჟანგბადის მოლეკულის წარმოქმნა „მომ“-ის მიხედვით. ჟანგბადის 8 ელექტრონიდან 6 ელექტრონი დაიკავებს შემაკავშირებელ ორბიტალებს, დანარჩენი 2 მოთავსდება გამთიშავ ორბიტალზე. მათ შორის სხვაობა არის 2 ელექტრონი, რაც შეესაბ-



ნახ. 2. ჟანგბადის მოლეკულის წარმოქმნის სქემა

გიურად აქტიურ მოლეკულებში მიკვლეულია 5 ორცენტრიანი და 15 სამცენტრიანი მრავალჯერ განმეორებადი ბმები. როგორც ორ-, ისე სამცენტრიანი ბმის შემთხვევაში გვაქვს ერთმაგი  $\sigma$  ბმა და ორმაგი  $\pi$  ბმები (იხ. ცხრ.)

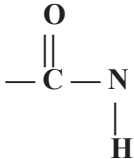
**ზუსემფეკშ იქე.** ეს ბმები დამახასიათებელია ცილების რთული სტრუქტურის მქონე მოლეკულებისათვის. ცილები წარმოადგენენ  $\alpha$ -ამინომჟავებისაგან აგებულ რთულ, მაღალმოლეკულურ, აზოტშემცველ ბუნებრივ პოლიმერებს. თანამედროვე წარმოდგენებით ცილებში  $\alpha$ -ამინომჟავები ერთმანეთთან შეერთებულია პეპტიდური, ანუ ამიდური ბმებით, რომლებიც ცილების ჰიდროლიზის დროს იხლიჩება და წარმოიქმნება ცალკეული  $\alpha$ -ამინომჟავა.

ჰიდროლიზის რეაქციის დროს იხლიჩება ბმა ნახშირბადსა და

შესხ ნახეზ			
ორცენტრიანი	ხამცენტრიანი		
C-C	C-C=C	H-C=N	
C-N	C-C=N	H-C=O	O-C=O
C-O	C-C=O	H-C=S	O-C=S
C-S	C-C=S	H-P=O	O-P=O
C-P	C-P=O	H-S=O	O-S=O
	C-S=O		

აზოტს შორის, რის შედეგად მიიღება: 2, 3 . . . n ამინომჟავა.

**ჰიდროფობური ბმა.** ამ ბმების ხარჯზე წყალხსნარებში ერთმანეთს უკავშირდებიან ერთი ან სხვადასხვა მოლეკულის არაპოლარული ნაწილები. ყოველი ასეთი ურთიერთქმედება ძალზე სუსტია, თუმცა



ატომთა ამ დაჯგუფებას ეწოდება პეპტიური, ანუ ამიდური ბმა.

ლიზაციას.

რენტგენოსტრუქტურული ანალიზით დადგენილია ცილებში იონური წყვილების არსებობა. ფაქტია, რომ ცილებში არსებობს „მარილოვანი ხიდები“ და მათი სიმტკიცე უნდა გაიზარდოს გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობის შემცირებით.

ცილოვან სტრუქტურაში ჰიდროფობური ურთიერთქმედება უფრო მნიშვნელოვანია ელექტროსტატიკურზე.

## ელექტრონის დუალისტური ბუნება. დე-ბროილის განტოლება

გრძელი ალიფატური ჯაჭვის ურთიერთმოქმედებისას საკმაოდ სტაბილური სისტემა წარმოიქმნება. ჰიდროფობური ურთიერთქმედება დიდ როლს ასრულებს ბიოპოლიმერების სტაბილიზაციისა და ბიოლოგიური მემბრანების სტრუქტურის წარმოქმნაში.

**მაკროერგული ბმაც** ცოცხალ სისტემებში მაკროერგული ბმები ეწოდება ისეთ კოვალენტურ ბმებს, რომელთა ჰიდროლიზის დროს გამოიყოფა მნიშვნელოვანი ენერგია.

ტერმინი „მაკროერგული ბმები“ იხმარება ისეთი ბმების დასახასიათებლად, რომელთა ენერგია გამოიყენება მეტაბოლიზმში. ნებისმიერი მაკროერგული ბმის გახლეჩვა ყოველთვის მოითხოვს ენერგიის დახარჯვას.

**მოლეკულური ბმის ბუნება ბიოსისტემებში.** ბიოსისტემებში არსებული კომპლექსის ცნება გაცილებით უფრო ფართოა, ვიდრე კლასიკურ კომპლექსნაერთთა ქიმიაში გამოყენებული. ორგანული იონების ურთიერთქმედება ბიოპოლიმერებთან განიხილება, როგორც კომპლექსის წარმოქმნა, რომლის დროს შესაძლებელია ოთხი სახის ურთიერთქმედება.

1. წყალბადური ბმის წარმოქმნა – ეგზოთერმული პროცესია.
2. ვან-დერ-ვაალსური ურთიერთქმედება – ეგზოთერმულია პროცესია.
3. ჰიდროფობური ურთიერთქმედება – ენდოთერმულია პროცესია.
4. ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედება – თავისი ბუნებით ეგზოთერმული პროცესია, თუმცა ზოგიერთი მკვლევარი ამტკიცებს მის ენდოთერმულობას.

**იონური ურთიერთქმედება ცილებში.** ცილებში იონიზირებული გვერდითი მრავალი ჯაჭვისათვის დამახასიათებელია „მარილოვანი ხიდები“. აგრეთვე ანიონური ბმების წარმოქმნა, რომელიც ასრულებს დამატებითი ბმის როლს და ახდენს ცილის სტრუქტურის სტაბი-

ნებისმიერი მიკრონაწილაკის მოძრაობა განიხილება, როგორც ტალღური პროცესი – ეს ჰიპოთეზა გამოთქვა დე-ბროილმა 1924 წელს.

დე-ბროილის განტოლება შემდეგნაირად მიიღება: პლანკის მიხედვით, ფოტონის ენერჯია ასე გამოიხატება:

$$E = h\gamma \quad (1), \quad \text{სადაც } \gamma - \text{ არის ტალღის სიხშირე,} \\ h - \text{ პლანკის მუდმივა}$$

მეორე მხრივ, აინშტაინის განტოლების მიხედვით:

$$E = mc^2 \quad (2), \quad \text{სადაც } m - \text{ ფოტონის მასაა,} \\ c - \text{ სინათლის სიჩქარე}$$

გავუტოლოთ (1) და (2) განტოლებები ერთმანეთს,

$$mc^2 = h\gamma \quad (3) \quad \text{აქედან}$$

$$\frac{h}{m} = \frac{c}{\gamma} \quad (4), \quad \text{ცნობილია, რომ} \quad \lambda = \frac{c}{\gamma} \quad (5), \text{ სადაც}$$

$\gamma$  - ტალღის სიგრძეა. შევიჯანოთ (5) განტოლება (4)-ში:

$$\lambda = \frac{h}{m} \quad (6)$$

თუ სინათლის სიჩქარეს ( $c$ ) შევცვლით ელექტრონის სიჩქარით ( $V$ ), მივიღებთ დე-ბროილის განტოლებას:

$$\lambda = \frac{h}{M} \quad (7)$$

აქედან ჩანს, რომ ელექტრონს გააჩნია როგორც ნაწილაკის ( $mV$ ), ისევე ტალღის ( $\lambda$ ) თვისებები.

### ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპი

ერთდროულად შეუძლებელია ზუსტად განვსაზღვროთ ელექტრონის მდებარეობა სივრცეში და იმპულსის მნიშვნელობა. ამაში

მდგომარეობს ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპი, რომელიც მათემატიკურად ასე გამოისახება:

(8), სადაც  $\Delta p$  არის იმპულსის განუზღვრელობა,  $\Delta X$  - არის სივრცეში ნაწილაკის მდებარეობის განუზღვრელობა. (8) გამოსახულებიდან ვასკვნით, რაც უფრო ზუსტად იზომება ელექტრონის იმპულსი, მით ნაკლები სიზუსტით გამოისახება მისი მდებარეობა სივრცეში  $\Delta X \propto \frac{h}{\Delta p}$ , რაც უფრო ზუსტად განვსაზღვრავთ იმპულსს, მით უფრო განუზღვრელი იქნება მისი მდებარეობა. ეს პრინციპი მიუთითებს იმაზე, რომ მიკრონაწილაკების აღწერისათვის კლასიკური მექანიკის კანონები გამოუსადეგარია, ანუ ტრაექტორიის ცნება კარგავს აზრს და იცვლება ელექტრონის ყოფნის ალბათობით ატომბირთვის გარშემო, სივრცის გარკვეულ ნაწილში.

რაც შეეხება დიდი ზომის ობიექტებს, აქ განუზღვრელობის პრინციპის მოქმედება შეუმჩნეველია: იმპულსის ან კოორდინატის განუზღვრელობა შეუდარებლად ნაკლებია ამ სიდიდეების ექსპერიმენტული განსაზღვრის ცდომილებებზე.

## **შრედინგერის განტოლება**

როგორ გამოვსახოთ ელექტრონის მდგომარეობა ატომში?

1926 წელს ავსტრიელმა მეცნიერმა შრედინგერმა ტალღის განტოლებაში ტალღის სიგრძე გამოსახა დე-ბროილის განტოლების

მიხედვით:

$$\lambda = \frac{h}{M} \quad (1), \text{ სადა } V = \sqrt{\frac{2}{m}(E - V)} \quad (9),$$

E არის ელექტრონის სრული ენერგია, ხოლო V – პოტენციალური ენერგია, საბოლოოდ მიიღება შრედინგერის განტოლება:

$$(10),$$

წყალბადის ატომისათვის პოტენციალური ენერგია

$$V = -\frac{e^2}{r} = -\frac{e^2}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

სადა r არის მანძილი ელექტრონიდან ბირთვამდე. შრედინგერის განტოლება წყალბადის ატომისათვის ასეთ სახეს იღებს:

$$(12),$$

ამ განტოლების ამოხსნით მიიღება  $\Psi$ , როგორც ელექტრონის კოორდინატთა ფუნქცია. განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს  $\Psi^2$ -ს, კერძოდ  $\Psi^2 dV$  (სადაც dV არის მოცულობის ელემენტი  $dx dy dz$ ) წარმოადგენს იმის ალბათობას, რომ ელექტრონი იმყოფება dV მოცულობაში, ანუ მისი კოორდინატები არის x და  $x+dx$ , y და  $y+dy$ , z და  $z+dz$  –ს შორის.

შესაძლებელია ელექტრონის dV მოცულობაში ყოფნის ალბათობის ორგვარი ინტერპრეტაცია. ვთქვათ  $\Psi^2 dV = 1/20$  :

- 1) მოძრაობის დროს ელექტრონი დროის 1/20 ნაწილს ატარებს (იმყოფება) dV მოცულობაში.
- 2) წარმოვიდგინოთ, რომ ელექტრონი განთხეულია ბირთვის გარშემო სივრცეში, მაშინ  $\Psi^2 dV = 1/20$  ნიშნავს, რომ dV მოცულობაში მუდმივად იმყოფება ელექტრონული ღრუბლის

სიმკვრივის 1/20 ნაწილი.

ზემოთქმულიდან ცხადია, რომ კლასიკურ და ტალღურ მექანიკას შორის არსებობს მეტად მნიშვნელოვანი განსხვავება. კლასიკური მექანიკის საშუალებით შესაძლებელია დროის ნებისმიერი მომენტისათვის ნაწილაკის კოორდინატებისა და იმპულსის ზუსტად დადგენა. ტალღური მექანიკის გამოყენებით ამის გაკეთება შეუძლებელია. იგი იძლევა მხოლოდ ატომბირთვის გარშემო სივრცის გარკვეულ მონაკვეთში ნაწილაკის ყოფნის ალბათობის განსაზღვრის შესაძლებლობას.

## **ქიმიური თერმოდინამიკა და ბიოენერგეტიკა**

ჩვენ გარშემო და ჩვენს ორგანიზმში ყველა პროცესი მიმდინარეობს ენერგიის სხვადასხვა ფორმის ურთიერთგარდაქმნით. ეს ფორმებია სითბო და მუშაობა. ნიუთონებთანა ცვლა, ანუ მეტაბოლიზმი,

რომელიც ცოცხალ ორგანიზმში მიმდინარეობს, წარმოუდგენელია ორგანიზმსა და გარემოს შორის ენერჯის მიმოცვლის გარეშე.

თერმოდინამიკა არის მეცნიერების ის დარგი, რომელიც სწავლობს ენერჯის სხვადასხვა სახის ურთიერთგარდაქმნას. თერმოდინამიკის დახმარებით შესაძლებელია გავიანგარიშოთ პროცესის სითბური ეფექტი, ვიწინასწამეტყველოთ ამა თუ იმ პროცესის განხორციელების შესაძლებლობა, განვიხილოთ ქიმიური და ფაზური წონასწორობის პირობები. ამავე დროს, თერმოდინამიკა ვერ აღწერს ქიმიური რეაქციის სიჩქარეს და მექანიზმს.

პროცესების ერთიანობას, რომელიც ხელს უწყობს ორგანიზმში დიდი მარაგის მქონე სხვადასხვა მაღალმოლეკულური ნივთიერების დაგროვებას, ასიმილაცია, ანუ ანაბოლიზმი ეწოდება. ასიმილაციის პროცესთან ერთად განუწყვეტლივ მიმდინარეობს საწინააღმდეგო პროცესი – დისიმილაცია, ანუ კატაბოლიზმი, რომელიც იწვევს რთული ნივთიერებების დაშლას, რასაც თან ახლავს ენერჯის გამოყოფა.

ისმება კითხვა: – რა ახდენს ცოცხალ ორგანიზმებში ენერჯის აკუმულირებას? ცოცხალი ორგანიზმები გარე სამყაროდან ითვისებენ სხვადასხვა ნივთიერებებს საკვების, წყლის, ჟანგბადის სახით. ამის შედეგად წარმოიქმნება ახალი ნივთიერებები, რომლებიც ახდენენ ენერჯის აკუმულირებას.

ზემოთ ვახსენეთ ასიმილაცია და დისიმილაცია. უნდა გვახსოვდეს, რომ ცოცხალ ორგანიზმებში, განვითარების ადრეულ პერიოდში, ასიმილაცია სჭარბობს დისიმილაციას, სიბერის მოახლოვებისას დომინირებს დისიმილაციის პროცესები. ამ დროს ორგანიზმის ენერჯის მარაგი მცირდება.

XVIII საუკუნეში ლავუაზიემ დაამტკიცა, რომ ადამიანისა და ცხოველურ ორგანიზმებში ადგილი აქვს ორგანული ნივთიერებების განუწყვეტლივ წვას ჰაერის ჟანგბადში, რის შედეგად მიიღება  $\text{CO}_2$  და ე.წ. “ცხოველური სითბო”. ის ცდილობდა დაედგინა რა რაოდენობრივი კავშირია ჟანგბადსა და  $\text{CO}_2$  –ს შორის, როგორ მოქმედებს ამ პროცესზე კვებისა და მუშაობის რეჟიმის დაცვა, გარემოს

ტემპერატურა. XIX ს-ის შუა პერიოდში აღმოჩენილ იქნა ენერჯის მუდმივობის და შენახვის კანონი, რომლის კერძო სახეა თერმოდინამიკის პირველი კანონი.

ბიოენერგეტიკა მეცნიერების ის ნაწილია, რომელიც შეისწავლის ენერჯის ტრანსფორმაციას ცოცხალ სისტემებში. ის შეისწავლის ცოცხალი ორგანიზმის ერთ-ერთ უნივერსალურ ფუნქციას – გარეგანი ენერგეტიკული რესურსების გამოყენებით მოამარაგოს ორგანიზმი ცხოველმყოფელობისათვის აუცილებელი ენერჯით. ამ პროცესს საფუძვლად უდევს მოლეკულური მექანიზმები, სადაც მთავარ როლს ასრულებს ფერმენტები. ამ ფერმენტებით კატალიზებული პროცესები იყოფა ორ ჯგუფად – ერთი მოიცავს გარეგანი ენერგეტიკული რესურსების გარდაქმნას ენერჯიად, რომელიც უკეთესს აკუმულირებას  $H^+$  და  $Na^+$  იონებს, ტრანსმემბრანული ელექტროქიმიური პოტენციალების სხვაობით  $-\Delta\mu$ . პროცესების მეორე ჯგუფი აერთიანებს “ატფ” ან  $\Delta\mu$  ენერჯიების გამოყენების მრავალრიცხოვან შესაძლებლობებს, სხვადასხვა ტიპის მუშაობის შესრულებისას, მაგ.: “ატფ”-ის ენერჯია განაპირობებს ბიოსინთეზს,  $\Delta\mu$  ოსმოსურ მუშაობას.

თერმოდინამიკის კანონების შესწავლისა და განხილვისათვის აუცილებელია შესაბამისი ტერმინების ცოდნა.

სისტემა არის სხეული ან სხეულთა ერთობლიობა, რომელიც გარემოსაგან გამოყოფილია რეალური ან წარმოსახვითი სასაზღვრო ზედაპირით.

გარემო არის ძალიან დიდი ზომის რეზერვუარი, რომელიც თერმულ წონასწორობაშია სისტემასთან და რომლის მოცულობა არ იცვლება სისტემის მიერ გარემოზე ან გარემოს მიერ სისტემაზე შესრულებული მუშაობის შედეგად.

სისტემა შეიძლება იყოს: იზოლირებული, დახურული და ღია.

იზოლირებული სისტემა გარემოსთან არ ურთიერთქმედებს არც მასით და არც ენერჯით;

დახურული სისტემა გარემოსთან ურთიერთქმედებს მხოლოდ ენერჯით;

ღია სისტემა გარემოსთან ურთიერთქმედებს, როგორც მასით, ისევე ენერგიით.

ცოცხალი ორგანიზმი ღია თერმოდინამიკური სისტემაა.

სისტემა შეიძლება იყოს ჰომოგენური და ჰეტეროგენული.

ჰომოგენური ეწოდება სისტემას, რომლის ყოველი კომპონენტი ერთ ფაზაშია.

ჰეტეროგენული სისტემა შედგება ორი ან მეტი ფაზისაგან.

ფაზა – სისტემის ნაწილია, რომელიც ხასიათდება ერთნაირი ფიზიკური და ქიმიური თვისებებით.

სისტემის დამახასიათებელი ძირითადი პარამეტრებია: წნევა, მოცულობა და ტემპერატურა; ხსნარებისათვის – კონცენტრაციაც. თუ სისტემაში იცვლება პარამეტრების მნიშვნელობა, მასში მიმდინარეობს თერმოდინამიკური პროცესი. თუ პარამეტრების მნიშვნელობა არ იცვლება, სისტემის მდგომარეობა წონასწორულია.

## თერმოდინამიკის I კანონი

თერმოდინამიკის I კანონის გამოსახულებაა:

$$\Delta U = q + A \quad (1)$$

სადაც  $q$  – სისტემასა და გარემოს შორის მიმოცვლილი სითბოს რაოდენობაა;  $\Delta U$  – შიგა ენერგიის ცვლილება;  $A$  – სისტემის მიერ შესრულებული ან სისტემაზე შესრულებული მუშაობა.

შიგა ენერგია წარმოადგენს სისტემის შემადგენელი ყველა ნაწილაკის ყველა სახის ენერგიის ჯამს. შიგა ენერგია მდგომარეობის ფუნქციაა. ეს ნიშნავს, რომ იგი ცალსახად განსაზღვრავს სისტემის მდგომარეობას და მისი ცვლილება ( $\Delta U$ ) არ არის დამოკიდებული პროცესის გზაზე.

თერმოდინამიკაში არჩევენ შემდეგი სახის პროცესებს:

1. იზოქორული, როდესაც  $V = \text{const}$ ;

2. იზობარული, როდესაც  $p = \text{const}$ ;
3. იზოთერმული, როდესაც  $T = \text{const}$ ;
4. ადიაბატური, როდესაც  $q = \text{const}$ .

ორგანიზმში მიმდინარე პროცესები ხორციელდება მუდმივი წნევის პირობებში. ამ დროს შესრულებული მუშაობა ტოლია:

$$A = p\Delta V \quad (2)$$

შიგა ენერჯიასთან მჭიდროდ არის დაკავშირებული ენთალპია (H), რომელიც აგრეთვე მდგომარეობის ფუნქციას წარმოადგენს;

$$H = U + pV \quad (3)$$

ქიმიური რეაქციების უმრავლესობას თან სდევს სითბოს გამოყოფა ან შთანთქმა. ამ სითბოს დასახასიათებლად შემოღებულია სითბური ეფექტის (Q) ცნება.

იზობარული ( $p = \text{const}$ ) პირობებში რეაქციის სითბური ეფექტი ტოლია სისტემის ენთალპიის ცვლილებისა:

$$Q_p = \Delta H \quad (4)$$

ხოლო იზოქორული პროცესის ( $V = \text{const}$ ) პირობებში – შიგა ენერჯიის ცვლილებისა:

$$Q_v = \Delta U \quad (5)$$

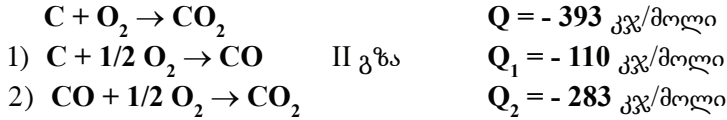
ეგზოთერმული ეწოდება რეაქციას, რომელიც მიმდინარეობს სითბოს გამოყოფით. ეს იწვევს სისტემის ენერჯიის შემცირებას და ამიტომ სითბურ ეფექტს ვანიჭებთ უარყოფით ნიშანს:

$$Q_p = \Delta H < 0 \text{ და } Q_v = \Delta U < 0$$

ენდოთერმული ეწოდება რეაქციას, რომელიც მიმდინარეობს სითბოს შთანთქმით, რასაც თან სდევს სისტემის ენერჯიის ზრდა, ამიტომ სითბური ეფექტი დადებითია:

$$Q_p = \Delta H > 0 \text{ და } Q_v = \Delta U > 0$$

თერმოქიმიის ძირითად კანონს წარმოადგენს ჰესის კანონი, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს: რეაქციის სითბური ეფექტი დამოკიდებულია მორეაგირე სისტემის საწყის და საბოლოო მდგომარეობაზე და არა პროცესის მიმდინარეობის გზაზე. მაგალითად,



II გზა

როგორც ვხედავთ  $Q = Q_1 + Q_2$

## თერმოდინამიკის I კანონის გამოყენება ღია სისტემებში

ყველა ცოცხალი ორგანიზმის ზრდის, განვითარებისა და ფუნქციონირებისათვის საჭიროა ენერჯია. მცენარეები და ბაქტერიები იყენებენ მზის ენერჯიას ფოტოსინთეზის პროცესების საშუალებით. ცოცხალი ორგანიზმები იღებენ კვების პროდუქტების ჟანგვის შედეგად გამოყოფილ ენერჯიას.

ორგანიზმის ენერგეტიკული ბალანსის შესწავლა ხდება პირდაპირი და არაპირდაპირი კალორიმეტრიის მეთოდით. ეს ექსპერიმენტული მეთოდია და გამოიყენება თერმოქიმიამში.

გამოკვლევები ცხადყოფენ, რომ ცოცხალი ორგანიზმი ენერჯიას არ აწარმოებს, არ ქმნის. თერმოდინამიკის I კანონს ცოცხალი ორგანიზმებისთვის შეიძლება ასეთი ფორმულირება მივცეთ: ორგანიზმში ყველა სახის მუშაობა სრულდება იმ ენერჯიის ხარჯზე, რომელიც გამოიყოფა საკვები ნივთიერებების ჟანგვის შედეგად; ენერჯიის სხვადასხვა ფორმების ურთიერთგარდაქმნა ექვივალენტური რაოდენობით ხდება.

კვების პროდუქტები, როგორც ფიზიოლოგიური საწვავი, იყოფა სამ ჯგუფად: ნახშირწყლები, ცილები და ცხიმები. ხშირ შემთხვევაში კვების პროდუქტები ბოლომდე არ იჟანგება.

## თერმოდინამიკის II კანონი

თერმოდინამიკის II კანონი განსაზღვრავს პროცესის მიმართულებას და წონასწორობის პირობებს. მისი ერთ-ერთი ფორმულირებაა: სითბო თავისთავად არ გადადის ცივი სხეულიდან ცხელ სხეულზე, თუ იმავდროულად სისტემაში ან გარემოში არ მოხდა რაიმე ცვლილება.

ეს კანონი იძლევა ინფორმაციას პროცესის წარმართვის შესაძლებლობასა და მიმართულებაზე. იგი ადგენს სითბოსა და მუშაობის ურთიერთგარდაქმნის ზღვარს.

სისტემა მიისწრაფვის წონასწორული მდგომარეობისაკენ და როდესაც ეს მდგომარეობა მიიღწევა, პროცესი შეწყდება. კაცობრიობის გამოცდილება ამის უამრავ მაგალითს იძლევა. ბუნებაში ყველა პროცესი მიმდინარეობს ერთი გარკვეული მიმართულებით. საწინააღმდეგო მიმართულებით პროცესი თავისთავად არ წარიმართება, მაგ.: წყალი მიედინება ზევიდან ქვევით, სითბო გადაეცემა ცხელი სხეულიდან ცივ სხეულს, აირი თავისთავად ფართოვდება, სითხეში გახსნილი ნივთიერება თანაბრად ნაწილდება მთელ მოცულობაში. ყველა აღწერილი პროცესი შეუქცევადია, ე.ი. ყველა რეალური, თავისთავად მიმდინარე პროცესი შეუქცევადია. პროცესის თავისთავად მიმდინარეობა განპირობებულია ორი ფაქტორით:

1. სისტემის სწრაფვით ენერჯის შემცირებისაკენ.

2. სისტემის სწრაფვით მოუწესრიგებლობისაკენ.

პროცესის თავისთავად მიმდინარეობის დასახასიათებლად კლაუზიუსმა თერმოდინამიკაში შემოიტანა ახალი სიდიდე – ენტროპია (S), რომელიც, შიგა ენერჯისა (U) და ენთალპიის (H) მსგავსად, წარმოადგენს მდგომარეობის ფუნქციას.

იზოლირებულ სისტემაში თავისთავად მიმდინარე პროცესებში ენტროპია იზრდება:  $\Delta S_{\text{იზოლ.}} > 0$ . წონასწორობის დამყარების მომენტში ენტროპია აღწევს მაქსიმუმს და ამის შემდეგ არ იცვლება.

არაიზოლირებულ სისტემაში პროცესის თავისთავად მიმდინარეობას განსაზღვრავს ე.წ. “სამყაროს” ენტროპიის ზრდა;

“სამყარო” = არაიზოლირებული სისტემა + გარემო.

$$\Delta S_{\text{„სამყ.“}} = \Delta S_{\text{არაიზ. სისტ.}} + \Delta S_{\text{გარემო}} \geq 0$$

ენტროპია წარმოადგენს სისტემის უწესრიგობის ზომას. რაც მეტია სისტემის უწესრიგობა, მით მეტია მისი ენტროპიის მნიშვნელობა. ყველა თავისთავად მიმდინარე პროცესის შედეგად იზრდება

“სამყაროს” უწესრიგობა და ამ უწესრიგობის საზომის – ენტროპიის მნიშვნელობა. მაგრამ “სამყაროს” ენტროპიის განსაზღვრა გარკვეულ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. ამიტომ, ცალკე არაიზოლირებული სისტემის დასახასიათებლად, გამოიყენება გიბსისა და ჰელმჰოლცის ფუნქციები:  $G$  და  $F$ . მათ აგრეთვე თერმოდინამიკურ პოტენციალებს უწოდებენ. ეს სიდიდეები,  $U$ ,  $H$ ,  $S$ -ის მსგავსად, მდგომარეობის ფუნქციებს წარმოადგენენ:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \leq 0 \text{ (როცა } p, T = \text{const)}$$

$$\Delta F = \Delta U - T\Delta S \leq 0 \text{ (როცა } V, T = \text{const)}$$

თავისთავად მიმდინარე პროცესებში (შესაბამის პირობებში) სისტემის თერმოდინამიკური პოტენციალების მნიშვნელობა მცირდება:  $\Delta Q < 0$  და  $\Delta F < 0$ .

თერმოდინამიკური პოტენციალების მნიშვნელობა არ იცვლება წონასწორობის დროს:

$$\Delta G = 0 \text{ და } \Delta F = 0$$

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, თავისთავად მიმდინარე ყველა პროცესი ხასიათდება თერმოდინამიკური პოტენციალების შემცირებით. მაგ:



რაც მიგვითითებს იმაზე, რომ გლუკოზის დაჟანგვა თავისთავად მიმდინარე პროცესია, მაგრამ რატომ არ იჟანგება გლუკოზა ჰაერზე, ამას თერმოდინამიკა ვერ ხსნის. სწორედ ამაში მდგომარეობს თერმოდინამიკის შეზღუდულობა. ის მიგვითითებს რეაქციის შესაძლო მიმართულებაზე, მაგრამ არ იძლევა ინფორმაციას რეაქციის მიმდინარეობის მექანიზმსა და სიჩქარეზე.

## ქიმიური წონასწორობა

თერმოდინამიკის II კანონი საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ არა მარტო რეაქციის მიმართულება, არამედ დავადგინოთ თერმოდინამიკური წონასწორობის პირობებიც. თერმოდინამიკური წონასწორობის დროს არ იცვლება სისტემის მდგომარეობის პარამეტრებისა და თერმოდინამიკური პოტენციალების მნიშვნელობები:  $\Delta G = 0$  და  $\Delta F = 0$

ქიმიური წონასწორობის აღწერა ხდება მოქმედ მასათა კანონის

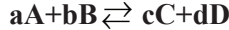
საშუალებით, რომელიც 1867 წელს ჩამოაყალიბეს გულდბერგმა და გააგემ.

ქიმიური წონასწორობის დროს რეაქციის პროდუქტების კონცენტრაციების ნამრავლის ფარდობა რეაგენტების კონცენტრაციების ნამრავლთან, სტექიომეტრიული კოეფიციენტების გათვალისწინებით, მოცემულ ტემპერატურაზე მუდმივი სიდიდეა და მას უწოდებენ წონასწორობის მუდმივას –  $K_{\text{წონ.}}$ . განვიხილოთ ქიმიური რეაქციის სქემა:

თუ რეაქცია აირად ფაზაში მიმდინარეობს წონასწორობის მუდმივა გამოისახება წონასწორული პარციალური წნევების საშუალებით:

წონასწორობის მუდმივა რეაქციის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია. მისი მნიშვნელობის მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ მორეაგირე ნივთიერებათა ერთეულოვანი კონცენტრაციების პირობებში პროცესის მიმართულებაზე, რეაქციის პროდუქტების მაქსიმალურად შესაძლებელ გამოსავალზე და სხვა.

ქიმიური წონასწორობა დამოკიდებულია რეაგენტების ბუნებასა და ტემპერატურაზე. ის გიბსის სტანდარტული ენერჯის ცვლილებასთან



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

დაკავშირებულია განტოლებით:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_{\text{წონ.}}$$

$$K_P = \frac{P_C^c \times P_D^d}{P_A^a \times P_B^b}$$

მოყვანილი განტოლება საშუალებას იძლევა  $\Delta G^0$ -ის სიდიდის გათვალისწინებით გამოვთვალოთ  $K_{\text{წონ.}}$ , ხოლო შემდეგ რეაგენტების წონასწორული კონცენტრაციები (პარციალური წნევები). მაშინ როცა  $K_{\text{წონ.}}$  გაცილებით მეტია ერთზე ( $K_{\text{წონ.}} \geq 1$ ), წონასწორულ ნარევეში ჭარბობს რეაქციის პროდუქტები, ხოლო როცა  $K_{\text{წონ.}}$  გაცილებით

ნაკლებია ერთზე ( $K_{\text{წონ.}} \leq 1$ ), ტემპერატურის ზრდა ენდოთერმულ პროცესებში იწვევს წონასწორობის მუდმივას მნიშვნელობის ზრდას, ხოლო ეგზოთერმულ პროცესებში მის შემცირებას.

## **ღია სისტემების თერმოდინამიკა**

ენერჯის სხვადასხვა ფორმების ურთიერთგარდაქმნა, რომელიც მიმდინარეობს ცოცხალ ორგანიზმში (მხედველობაშია ნივთიერებათა ცვლის პროცესები) ხორციელდება თერმოდინამიკის I და II კანონთან სრულ შესაბამისობაში. ამავე დროს, ცოცხალი ორგანიზმი, როგორც თერმოდინამიკური კვლევის ობიექტი, ხასიათდება რიგი თავისებურებებით:

1. ბიოლოგიური სისტემა წარმოადგენს ღია სისტემას, რომელიც გარემოსთან ურთიერთქმედებს მასითა და ენერჯით;
2. პროცესი ცოცხალ ორგანიზმში შეუქცევადია;
3. ცოცხალ ორგანიზმში სისტემები წონასწორულ მდგომარეობაში არ არიან;
4. ყველა ბიოლოგიური სისტემა ჰეტეროგენულია;
5. ბიოლოგიური პროცესები მიმდინარეობს მუდმივი T, p, V პირობებში და კონცენტრაციის უმნიშვნელო ცვლილებისას.

ადამიანის ორგანიზმისათვის ენერჯის წყაროს წარმოადგენს ენერჯია, რომელიც აკუმულირებულია საკვებ პროდუქტებში. ამ ენერჯის ნაწილი იხარჯება:

- 1) მუშაობის შესრულებაზე;
- 2) ჩასუნთქული ჰაერის, მიღებული წყლის და საკვების შეთბობაზე. საკვების ძირითადი კომპონენტებია – ნახშირწყლები, ცილები, ცხიმები. ამ ნივთიერებების გარდაქმნა ორგანიზმში ხდება სხვადასხვა ფერმენტების მონაწილეობით.

ადამიანის ნორმალური შრომითი მოღვაწეობისათვის ენერჯეტიკული დანახარჯი იფარება ნახშირწყლებით (55-56%), ცხიმებით (20-25%), ცილებით (15-20%). დღე-ღამეში მოზრდილი ადამიანი-

სათვის ცილის მოხმარების ნორმა არის 80-100გ. მისი სისტემატური დარღვევა იწვევს პათოლოგიას. ცხიმების დღეღამური მოხმარების ნორმა 4-5-ჯერ უნდა აღემატებოდეს ცილების ნორმას. გასათვალისწინებელია, რომ ნაწმირწყლების საერთო რაოდენობის მხოლოდ მცირე ნაწილი უნდა იქნეს მიღებული საქაროზის სახით. ადამიანისათვის დღეღამური ენერჯის ხარჯი შემდეგია:

1. მსუბუქი მუშაობის დროს 8400 კჯ;
2. ზომიერი მუშაობის დროს 12500 კჯ;
3. მძიმე ფიზიკური მუშაობის დროს 16700-20900 კჯ;
4. განსაკუთრებული მძიმე მუშაობის დროს 30100 კჯ.

დიეტოლოგიის მეცნიერულ საფუძველს წარმოადგენს კვების რეჟიმის შეთანხმება დახარჯულ ენერჯიასთან, რაც, პირველ რიგში, დამოკიდებულია შესრულებული მუშაობის ხასიათზე. ამ ენერჯის გამოთვლა წარმოებს თერმოდინამიკის I კანონის საფუძველზე.

ცოცხალი ორგანიზმი შეიძლება განვიხილოთ როგორც სტაციონარულ მდგომარეობაში მყოფი ღია სისტემა; მისთვის დამახასიათებელია პარამეტრთა მნიშვნელობების მუდმივობა, ნივთიერებათა მიწოდებისა და გამოყოფის სიჩქარის უცვლელობა.

ცოცხალი ორგანიზმი ყოველთვის არ იმყოფება სტაციონარულ მდგომარეობაში, მაგრამ თუ განვიხილავთ მისი პარამეტრების საშუალო მნიშვნელობას დროის დიდ მონაკვეთში (იგულისხმება დაბადებიდან სიბერემდე), შეგვიძლია ისინი ჩავთვალოთ მუდმივად და დავახასიათოთ ორგანიზმი სტაციონარული სისტემის კანონებით.

ღია სისტემის სტაციონარული მდგომარეობა მსგავსია დახურული სისტემის თერმოდინამიკური წონასწორობისა. ორივე ამ სისტემისათვის დამახასიათებელია პარამეტრების მნიშვნელობის მუდმივობა (უცვლელობა) დროში.

თუ სტაციონარულ სისტემაში შევცვლით რომელიმე პარამეტრის ტემპერატურის, წნევის, კონცენტრაციის მნიშვნელობას, მაშინ სისტემაში აღიძვრება პროცესები, რომლებიც ეწინააღმდეგებიან ამ ცვლილებებს. ეს მოვლენა გვაგონებს ლე-შატელიეს პრინციპს დახურული

წონასწორული სისტემებისათვის.

ღია სისტემებში ენტროპიის მახასიათებლებად შემოღებულია ენტროპიის წარმოქმნის სიჩქარის ცნება  $\Delta S/\Delta\tau$ , სადაც  $\Delta\tau$  არის დრო,  $\Delta S/\Delta\tau$  ტოლია ორი შესაკრების: 1) ენტროპიის ცვლილება სისტემის შიგნით  $\Delta S_{\text{სის.}}/\Delta\tau$ ; 2) ენტროპიის ცვლილება დაკავშირებულია გარემოსთან  $\Delta S_{\text{გ.}}/\Delta\tau$  არის ცვლილება კვების პროდუქტების მიღების და გამოყოფის დროს.

$$\frac{\Delta S}{\Delta\tau} = \frac{\Delta S_{\text{სის.}}}{\Delta\tau} + \frac{\Delta S_{\text{გ.}}}{\Delta\tau}$$

ეს განტოლება გვევლინება თერმოდინამიკის II კანონის ამსახველად ღია სისტემებში, რადგან ორგანიზმში მიმდინარეობს შეუქცევადი პროცესები, ამიტომ ორგანიზმში ენტროპიის ცვლილების სიჩქარე  $\Delta S/\Delta\tau > 0$ -ზე.

სტაციონარულ მდგომარეობაში ენტროპიის წარმოქმნის სიჩქარე მინიმალურია. ეს თეორემა ეკუთვნის ნობელის პრემიის ლაურეატს ი. პრიგოჟინს.

## ხსნარები

ადამიანის, ცხოველების და მცენარეების ფიზიოლოგიური პროცესები ხსნარებში მიმდინარეობს. სწორედ ხსნარების თვისებებზეა დამოკიდებული ცოცხალ ორგანიზმში მიმდინარე ყველა სასიცოცხლო პროცესი. ამ პროცესების რეგულირება ხდება სამკურნალო პრეპარატების მეშვეობით და რა თქმა უნდა კვების, სუნთქვის და სხვა პროცესით. ხსნართა თვისებების შესწავლა მნიშვნელოვანია როგორც ქიმიკოსებისათვის, ასევე მედიკოსებისათვის, რადგან მთელი რიგი პროცესები ორგანიზმში მიმდინარეობს თხევად ფაზაში.

სისტემას, რომელიც შედგება სადისპერსიო ფაზისა და სადისპერსიო არისაგან, ხსნარი ეწოდება. ხსნარი შეიძლება იყოს ჭეშმარიტი, კოლოიდური და უხემდისპერსიული (სუსპენზიები, ემულსიები). ხსნარი ჭეშმარიტია, თუ სადისპერსიო ფაზა დისპერგირებულია (დაწილადებულია) მოლეკულის ან იონის ზომამდე; მაშინ სადისპერსიო ფაზასა და არეს შორის არ არსებობს გამყოფი ზედაპირი, ამიტომ ჭეშმარიტი ხსნარი ჰომოგენურია.

ხსნარების შედგენილობა სხვადასხვანაირად გამოისახება:

1.  $X^x$  – მოლური წილი:

$$X_i^x = \frac{n_i}{\sum n}$$

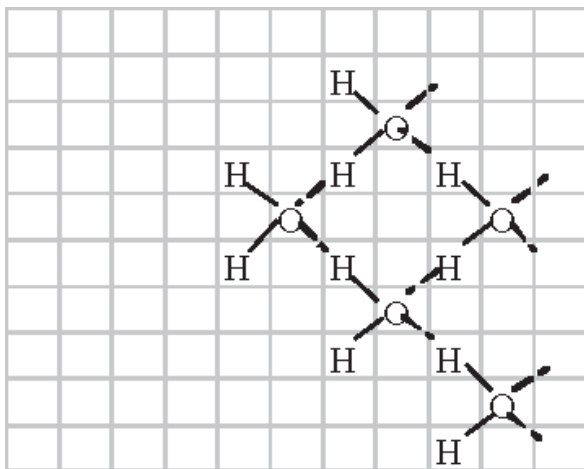
სადაც  $n_i$  – კომპონენტის მოლთა რიცხვია,  $\sum n$  – სისტემაში არსებული კომპონენტების მოლთა ჯამი ხსნარებში  $n < 1$

2. მოლური კონცენტრაცია (ნივთიერების მოლების რაოდენობა 1 ლ ხსნარში)
3. ნორმალური კონცენტრაცია (ნივთიერების ექვივალენტების რაოდენობა 1 ლ ხსნარში);
4. მოლალობა (ნივთიერების მოლების რაოდენობა 1 კგ გამხსნელში);

ნივთიერების მასა  
 5. მასური წილი (—————)  
 ხსნარის მასა

წყალი ერთ-ერთი საუკეთესო გამხსნელია, მას გააჩნია უნიკალური ფიზიკური და ქიმიური თვისებები, მაგ., მაღალი ლღობის და დუდილის ტემპერატურა, ანომალიურად დიდი სითბოტევადობა და სხვა. თხევადი წყლის სიმკვრივე ( $4^{\circ}\text{C}$ -მდე) მეტია, ვიდრე ყინულისა. ყინული წარმოადგენს შრეობრივ სტრუქტურას, რომელშიც წყლის მოლეკულები წყალბადური ბმებით დაკავშირებულია სხვა მოლეკულებთან (ნახ. 1). ამასთან, წყლის თითოეული მოლეკულა უფრო მეტ მოლეკულას უკავშირდება თავისივე ფენაში, ვიდრე მეზობელ ფენაში. ასეთი სტრუქტურის სიმკვრივე მცირეა; ლღობის დროს იწყება ყინულის რღვევა. წარმოქმნილი თხევადი წყლის სიმკვრივე  $4^{\circ}\text{C}$ -მდე მეტია ყინულის სიმკვრივეზე, მაგრამ  $4^{\circ}\text{C}$ -დან უკვე მნიშვნელოვან როლს თამაშობს სითბური გაფართოება და წყლის სიმკვრივე მცირდება.

განსაკუთრებით არის აღსანიშნავი, რომ წყალი ბიოლოგიური



ნახ. 1. ყინულის სტრუქტურა

სისტემის ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტია. ორგანიზმში წყლის ძირითადი ფუნქციები შემდეგია:

1. წყალი კანონზომიერად ანაწილებს გახსნილ ნივთიერებას მთელ ორგანიზმში;
2. წყალი არის არე, სადაც მიმდინარეობს ფიზიკური და ქიმიური პროცესები;
3. წყალი მონაწილეობს მრავალ ქიმიურ რეაქციაში, მაგ., ჰიდროლიზში;
4. ბიოლოგიურ მაკრომოლეკულებთან წარმოქმნის სპეციფიკურ სტრუქტურებს, რომლებიც აუცილებელია ამ მაკრომოლეკულების ბიოლოგიური აქტივობის გამოვლენისათვის;
5. ასრულებს მექანიკურ ფუნქციას, კერძოდ, ავსებს ნაერთის სტრუქტურებში არსებულ თავისუფალ სივრცეებს და ახდენს ნივთიერების ტრანსპორტირებას სისხლის მიმოქცევის სისტემაში.

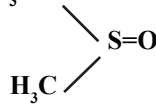
უჯრედში წყალს აქვს წყლის სტრუქტურისაგან განსხვავებული და არაერთგვაროვანი სტრუქტურა. არსებობს აზრი, რომ ლიპოპროტეინული ხასიათის მემბრანაზე და მემბრანის შიგნით წყალს აქვს ყინულისებრი სტრუქტურა და მემბრანის შელწვევადობის ცვლილება დაკავშირებულია მემბრანის გარკვეულ ადგილებში წყლის სტრუქტურის “დნობასთან”. ექსპერიმენტული მონაცემები, რომლებიც არსებობს უჯრედში წყლის განაწილების დასადგენად, საკმარისი არ არის და ამიტომ კვლევა ამ მიმართულებით გრძელდება.

ცალკე განხილვის საგანს წარმოადგენენ გამხსნელები, რომლებიც ზოგადად იყოფა – ჩვეულებრივ გამხსნელებად და ზეგამხსნელებად.

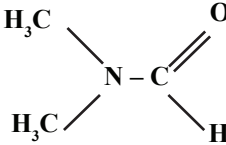
ჩვეულებრივ გამხსნელებში ადგილი აქვს, როგორც კათიონის, ისე ანიონის სოლვატაციას, მაშინ, როცა ზეგამხსნელებში მხოლოდ კათიონი სოლვატირდება. აქედან გამომდინარე, ზეგამხსნელებში რეაქციები უფრო სწრაფად მიმდინარეობს, ვიდრე ჩვეულებრივ გამხსნელებში. ყველაზე გავრცელებული ზეგამხსნელება:

(დმსო) გააჩნია დიპოლური მომენტი (4,6) და მაღალი დიელექტ-

დიმეთილსულფოქსიდი (დმსო)  $\text{I}_3\text{C}$



დიმეთილფორმამიდი (დმფა)  $\text{H}_3\text{C}$



რიკული შეღწევადობა. ამ თვისებებით არის განპირობებული, რომ იგი ითვლება საუკეთესო გამხსნელად. მისი თანაობისას იზრდება მრავალი სამკურნალო პრეპარატის ეფექტურობა, მაგ., ანტიბიოტიკების. მას იყენებენ თავისუფალი სახით და ასევე სხვა პრეპარატებთან კომბინაციაში (ჰეპარინთან, ჰიდროკორტიზონთან, ასკორბინის მჟავასთან).

გამხსნელები შეიძლება იყოს პროტონული და აპროტონული.

პროტონული გამხსნელები ხასიათდება თვითიონიზაციის უნარით – პროტონის გაცემით; აქვთ მეტად ან ნაკლებად გამოხატული მჟავა თვისებები ძლიერ ფუძეებთან. ეს გამხსნელებია, მაგ:  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ .

აპროტონული გამხსნელები არ დისოცირდებიან – პროტონს არ გაცემენ. აპროტონული გამხსნელებია:

- ა) არადისოცირებადი, მცირედ პოლარული, მცირედ მასოლვა-ტირებელი სითხეები, მაგ.,  $\text{CCl}_4$ ;
- ბ) პოლარული, ძლიერ მასოლვატირებელი არადისოცირებადი გამხსნელები: დიმეთილსულფოქსიდი, დიმეთილფორმამიდი, ტეტრაჰიდროფურანი და სხვა;
- გ) ძლიერ პორალური გამხსნელები ხასიათდება თვითიონიზაციის უნარით.

გამხსნელების კლასიფიკაცია შეიძლება აგრეთვე ფუძე-მჟავური თეორიის მიხედვით. გამხსნელი შეიძლება ხასიათდებოდეს ღონორული და აქცეპტორული ბუნებით.

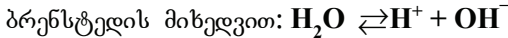
**დონორულია** – ლუისის ფუძეები. მათ შეუძლიათ გასცენ გაუზიარებელი ელექტრონული წყვილი.

**აქცეპტორულია** – ლუისის მჟავები. მათ აქვთ უნარი, მიიერთონ ელექტრონული წყვილები.

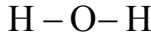
დონორული და აქცეპტორული გამხსნელები ერთად წარმოქმნიან ე.წ. კოორდინაციის უნარის მქონე გამხსნელებს, რომლებიც განსაკუთრებულ როლს ასრულებენ კოორდინაციულ ნაერთთა ქიმიაში.

მნიშვნელოვანია გამხსნელები, რომლებიც ხასიათდებიან როგორც დონორული, ისე აქცეპტორული თვისებებით, მაგ.: წყალი და ზოგიერთი სპირტი.

რა თვალსაზრისით არის წყალი და სპირტი დონორიც და აქცეპტორიც? რისი დონორი და რისი აქცეპტორი?



წყალი არის დონორი პროტონის.  $\text{OH}^-$  იონი არის მასთან შეუღლებული აქცეპტორი (ფუძე).



ლუისის მიხედვით:  $\overset{\cdot\cdot}{\text{O}}$  არის წყვილის დონორი (ლუისის ფუძე); არის  $\text{H}^+$ -ის აქცეპტორი (მაგრამ არა წყვილის აქცეპტორი).

ცილის სტრუქტურაზე გამხსნელი უდიდეს გავლენას ახდენს, გამხსნელს შეუძლია განაპირობოს ცილოვანი მოლეკულების უნიკალური სტრუქტურული ცვლილებები.

## ხსნარების თერმოდინამიკა

ხსნარები არსებობს იდეალური და არაიდეალური. A და B კომპონენტისაგან წარმოქმნილი თხევადი ხსნარები იდეალურია, თუ მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედების ძალები ერთნაირია:

$$F_{A-A} = F_{B-B} = F_{A-B}$$

იდეალურ ხსნარებს წარმოქმნიან სითხეები, რომლებიც ერთმანეთთან ახლოს არიან შედგენილობით, აღნაგობით, პოლარობის ხარისხით;

მაგ.: ბენზოლი და ტოლუოლი, დიბრომპროპანი და დიბრომმეთანი და სხვა. ამგვარი კომპონენტების შერევისას ადგილი არა აქვს მოცულობის ცვლილებებს:

$$\Delta H = V_{\text{სსნ}} - (V_A + V_B) = 0$$

პროცესის სითბური ეფექტი ნულის ტოლია:

$$\Delta H_{\text{შერევ.}} = 0$$

ხსნარის წარმოქმნის დროს ენტროპია იზრდება:  $\Delta S_{\text{შერევ.}} > 0$ , ხოლო სისტემის თავისუფალი ენერგია მცირდება:

$$\Delta G_{\text{შერევ.}} < 0$$

შერევის პროცესის დასრულებისთანავე ენტროპია აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ხოლო გიბსის ენერგია – მინიმალურია.

არაიდეალური ეწოდება ისეთ ხსნარს, რომელშიც A-A, B-B, A-B ურთიერთქმედებები ერთმანეთისაგან განსხვავდება. ამის შედეგად  $\Delta H_{\text{შერევ.}} \neq 0$  თუ A-B ურთიერთქმედება ენერგეტიკულად უფრო მომგებიანია, ვიდრე A-A და B-B ურთიერთქმედებები, მაშინ ადგილი აქვს ხსნარის წარმოქმნას და  $\Delta H_{\text{შერევ.}} < 0$ .

ხსნარის არაიდეალურობის მიზეზია A და B კომპონენტთა სხვადასხვა სახის ურთიერთქმედებები: დისპერსიული, დიპოლ-დიპოლური, სოლვატაცია, ასოციატებისა და კომპლექსების წარმოქმნა და სხვა.

ძლიერ დაბალი კონცენტრაციების პირობებში არაიდეალური ხსნარებიც კი შეიძლება იდეალურად ჩაითვალოს. ამგვარ ხსნარებს ეწოდება ზღვრულად განზავებული ხსნარები. მათში გახსნილი მოლეკულები იმდენად დაშორებული არიან ერთმანეთისაგან, რომ მათ შორის ურთიერთქმედებას ადგილი არა აქვს. გარდა ამისა, B მოლეკულების რაოდენობა იმდენად მცირეა, რომ შეიძლება უგულებელვყოთ მათი ურთიერთქმედება გამხსნელის (A) მოლეკულებთან. ამგვარად, იდეალურად (ზღვრულად) განზავებულ ხსნარებში არსებობს მხოლოდ ურთიერთქმედება ერთი სახის გამხსნელის მოლეკულებს შორის: A-A. ამიტომ ასეთი ხსნარები თავისი თვისებებით ძალიან ახლოს დგანან იდეალურ ხსნარებთან.

დახურულ ჭურჭელში თხევადი ნივთიერების ზევით ყოველთვის არსებობს მისი ორთქლი, რომელიც წონასწორობაშია სითხესთან. თხევადი ნივთიერების გარკვეული რაოდენობის აორთქლება განპირობებულია ნებისმიერი სისტემის სწრაფვით ენტროპიის გაზრდისაკენ:

$$S_{\text{ორთქ.}} > S_{\text{თხევ.}}$$

ხსნარის ზევით არსებობს როგორც გამხსნელის (A), ისევე გახსნილი ნივთიერების (B) ორთქლი, რომელიც წონასწორობაშია ხსნარში მყოფ ამავე კომპონენტების მოლეკულებთან.

თუ ხსნარი იდეალურია, მაშინ მისი ორივე კომპონენტი ემორჩილება რაულის კანონს:

$$P_A = \chi_A P_A^*$$

$$P_B = \chi_B P_B^*$$

სადაც,  $P_A^*$  და  $P_B^*$  არის ორთქლის წნევა სუფთა A და B ნივთიერებების ზევით, (კაპა)  $\chi_A$  და  $\chi_B$  – A და B ნივთიერებების მოლური წილი ხსნარში;  $P_A$  და  $P_B$  – A და B კომპონენტების ორთქლის წნევა ხსნარის ზევით (მათი  $\chi_A$  და  $\chi_B$  შემცველობის პირობებში).

არაიდეალური ხსნარები იჩენენ დადებით და უარყოფით გადახრას რაულის კანონიდან. რაც შეეხება ზღვრულად განზავებულ ხსნარებს, იქ გამხსნელი ემორჩილება რაულის კანონს:

$$P_A = \chi_A P_A^* \quad (1)$$

ხოლო გახსნილი ნივთიერება ჰენრის კანონს:

$$P_A = \chi_B K_B \quad (2)$$

სადაც  $K_B$  - მუდმივია, რომელსაც გააჩნია წნევის განზომილება.

რაულის კანონი წარმოადგენს ხსნარის კოლიგატიური თვისებების გამოვლინებას. “კოლიგატიური” ნიშნავს “კოლექტიურს”, ანუ თვისებას, რომელიც დამოკიდებულია ნაწილაკთა რაოდენობაზე და არა მათ ბუნებაზე.

კოლიგატიური თვისებების გამოვლენის მაგალითია აგრეთვე ხსნარის დუღილის ტემპერატურის აწევა და გაყინვის ტემპერატურის დაწევა სუფთა გამხსნელთან შედარებით.

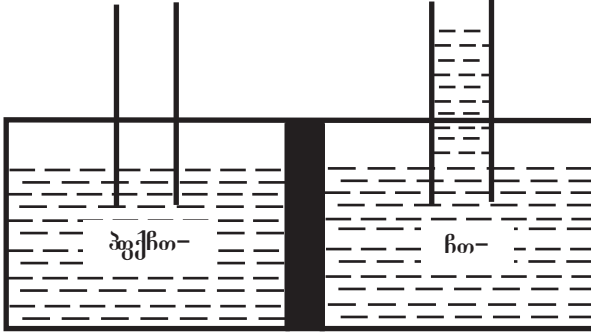
$$\Delta T_{\text{დუღ.}} \approx (RT^{*2}/\Delta H_{\text{ორთქ.}})\chi_B \text{ და}$$

$$\Delta T_{\text{გაყ.}} \approx (RT^{*2}/\Delta H_{\text{დნ.}})\chi_B$$

სადაც  $\chi_B$  (კაპა) არის გამხსნელის მოლური წილი;  $T^*$  – ხსნარის დუღილის (ან გაყინვის) ტემპერატურა.

კოლიგატიური თვისებებით არის განპირობებული აგრეთვე ოსმოსის მოვლენა, რომლის გამოვლენისთვის აუცილებელია სისტემაში ნახევრად შეღწევადი მემბრანის არსებობა. ნახევრად შეღწევადი მემბრანის ფორებში ზომის მიხედვით ზოგი ნივთიერების მოლეკულები გაივლის, ზოგი კი არა. არსებობს ისეთი მემბრანები, რომლებშიც შესაძლებელია გააღწიოს წყალმა, მაგრამ არა მარილებმა. უფრო დიდი ფორების მქონე მემბრანები ატარებს წყალს, მარილებს და სხვა შედარებით მცირე ზომის მოლეკულებს, მაგრამ აკავებს ცილებს და სხვა მაკრომოლეკულებს. ამჟამად შესაძლებელია ისეთი მემბრანების დამზადებაც, რომლებიც ახდენს ცილების დაყოფას მათი ზომების მიხედვით.

წარმოვიდგინოთ ორი ჭურჭელი, ერთმანეთისაგან გამოყოფილი ნახევრად შეღწევადი მემბრანით, რომელიც ატარებს გამხსნელის (წყლის) მოლეკულებს და არ ატარებს გახსნილი ნივთიერების (შაქრის) მოლეკულებს. ასეთი ნახევრად შეღწევად მემბრანად შეიძლება გამოვიყენოთ ხარის ბუშტი, ცელოფანი, კოლოდიუმის აფსკი და სხვა. ერთ ჭურჭელში მოთავსებულია სუფთა გამხსნელი (წყალი), მეორეში – შაქრის წყალხსნარი. გამხსნელი შევა მემბრანაში გარკვეული წნევით და გამოიწვევს მილში ხსნარის სვეტის აწევას. ოსმოსის მოვლენა შეწყდება მაშინ, როცა ხსნარის ზევით არსებული სვეტის ჰიდროსტატიკური წნევა მიაღწევს გარკვეულ მნიშვნელობას. იმ წნევას, რომელზეც ოსმოსი წყდება, ოსმოსური წნევა ( $P_{\text{ოსმ.}}$ ) ეწოდება.



(ნახ. 2).

$$P_{\text{ოსმ.}} = C_{\text{გამხს.}} RT$$

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ რაც მეტია გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაცია, მით მეტია ოსმოსური წნევა.

ამგვარად, ოსმოსის მოვლენა, ხსნარის დუდილის ტემპერატურის და გაყინვის ტემპერატურის დაწვევის მსგავსად, კოლიგატიური თვისებებით არის განპირობებული.

საინტერესოა ოსმოსის მოვლენის თერმოდინამიკური ახსნა. ცნობილია, რომ ყველა სისტემა მიისწრაფვის ენტროპიის მაქსიმალური მნიშვნელობისაკენ, რასაც ადგილი აქვს წონასწორობის დროს. ზემოთ აღწერილ სისტემაში წონასწორობა შეიძლება დამყარდეს მხოლოდ გამხსნელის (წყლის) მოლეკულებს შორის, რადგან გახსნილი ნივთიერების (შაქრის) მოლეკულას საერთოდ არა აქვს უნარი გააღწიოს მემბრანაში. წყლის მოლეკულებს შორის წონასწორობის დამყარება ნიშნავს იმას, რომ დროის ერთეულში წყლის რამდენი მოლეკულაც გადავა გამხსნელიდან ხსნარში, იმდენივე გადმოვა ხსნარიდან გამხსნელში. პროცესის დასაწყისში (მთლიანად პროცესის განმავლობაში და წონასწორობის დამყარების დროსაც) წყლის კონცენტრაცია სისტემის მარცხენა მხარეს, რა თქმა უნდა, აღემატება წყლის კონცენტრაციას შაქრის წყალხსნარში. ამიტომ ადგილი ექნება წყლის გადასვლას მარცხნიდან მარჯვნივ კურორტელში; (ამავდროულად, მიმდინარეობს

საპირისპირო პროცესი, მაგრამ ბევრად ნაკლები ინტენსივობით).

ეს პროცესი აიწერება დიფუზიის (ფიკის) კანონით;

$$\frac{dh}{dt} = -D \frac{d}{dx}$$

სადაც  $D$  – დიფუზიის  $dh$  ეფექციენტია,  $q$  – სასაზღვრო ზედაპირის ფართობი;  $dx$  – ნივთიერების რაოდენობა, რომელიც დროის  $dt$  პერიოდში დიფუნდირდება სასაზღვრო ზედაპირზე,  $dx$  – კონცენტრაციის გრადიენტი.

წყლის გადასვლა მარცხნიდან მარჯვნივ, ბუნებრივია, იწვევს მარცხენა მხარეს წყლის რაოდენობის და, აქედან გამომდინარე, იმ წნევის შემცირებას, რომლითაც წყალი აწევა მემბრანას და შედის ხსნარში. მარჯვენა მხარეს ადგილი აქვს საწინააღმდეგო მოვლენას: ხსნარში იზრდება წყლის რაოდენობა და იმ ჰიდროსტატიკური წნევის მნიშვნელობა, რომლითაც სვეტი აწევა ხსნარის ზედაპირს. საბოლოოდ, მემბრანაზე ორივე მხრიდან მოქმედი წნევა გათანაბრდება და დამყარდება წონასწორობა: დროის ერთეულში მემბრანის ორივე მხრიდან გადასული წყლის მოლექულების რიცხვი ერთნაირი გახდება. ამ მომენტისათვის ოსმოსის მოვლენა წყდება.

ოსმოსურმა წნევამ შეიძლება მიაღწიოს საკმაოდ დიდ მნიშვნელობებს, მაგ., 6% შაქრის წყალხსნარის  $P_{osm} = 0,6$  ატმ; ზღვის წყლის  $P_{osm} = 28$  ატმ და სხვა. საინტერესოა უკუოსმოსის მოვლენა, რომელსაც წყლის განმტკნარებისათვის იყენებენ. მარილის წყალხსნარს (მაგ., ზღვის წყალს) ნახევრადშელწევადი მემბრანის საშუალებით გამოჰყოფენ მტკნარი წყლისგან და მასზე მოქმედებენ ამ ხსნარის ოსმოსურ წნევაზე უფრო მაღალი წნევით. შედეგად ადგილი აქვს მარილის წყალხსნარიდან წყლის გადასვლას მტკნარი წყლის ფაზაში.

## ოსმოსის როლი ბიოლოგიურ სისტემებში

ადამიანის სისხლი, ლიმფა და სხვა სითხეები წარმოადგენს მრავალი ნივთიერების, მოლეკულის, იონის წყალხსნარს. მათი ჯამური წნევა 770 კპა. ასეთ წნევას ავითარებს 0,9% NaCl-ის ხსნარი. სამედიცინო პრაქტიკაში იზოტონური ხსნარების გარდა გამოიყენება ჰიპერტონიული ხსნარები.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ჰიპერტონიული ხსნარია. გამოიყენება, როგორც სასაქმებელი ნივთიერება. ეფექტური ოსმოსური აპარატია ცხოველთა თირკმელი, მისი ძირითადი ფუნქციაა – ნივთიერებათა ცვლის საბოლოო პროდუქტების გამოყოფა სისხლიდან, რაც ხორციელდება ოსმოსის საშუალებით. წყლის გამოყოფის რეგულირება ხდება ანტიდიურეტიკული ჰორმონის მეშვეობით, რომელსაც ჰიპოფიზი გამოიმუშავებს.

ოსმოსის როლის შესახებ ბიოლოგიურ სისტემებში ბევრი სხვა მაგალითის მოყვანა შეიძლება.

### **აირთა ხსნადობა სითხეებში**

ცოცხალ ორგანიზმში ფიზიოლოგიური პროცესების ნორმალურად წარმართვისათვის დიდი მნიშვნელობა ენიჭება სხვადასხვა აირების და, პირველ რიგში, ჟანგბადის ( $\text{O}_2$ ), ნახშირბადის დიოქსიდის ( $\text{CO}_2$ ), აზოტის ( $\text{N}_2$ ) ხსნადობას ორგანიზმის თხევად ფაზაში.

ხსნადობა არის მოცემული ნივთიერების უნარი გაიხსნას მეორე ნივთიერებაში, მოცემული ტემპერატურისა და წნევის პირობებში. ხსნადობა დამოკიდებულია ნივთიერების ბუნებაზე, ტემპერატურასა და წნევაზე.

სითხეებში აირის ხსნადობა განისაზღვრება ჰენრის კანონით, რომლის მიხედვით აქროლადი ნივთიერების ხსნადობა მისი პარციალური წნევის პროპორციულია.

$$C=KP$$

სადაც C – ნაჯერ ხსნარში გაზის მასური კონცენტრაციაა; P – აირის პარციალური წნევა; K – ჰენრის კოეფიციენტი.

ჰენრის კანონი სამართლიანია არა ძლიერ მაღალი წნევებისათვის და იმ სისტემებში, სადაც ადგილი არა აქვს აირის ქიმიურ ურთიერთქმედებას გამხსნელთან.

მაგალითად, ჟანგბადის ხსნადობა სისხლში იზრდება ჰემოგლობინისა და მიოგლობინის არსებობის გამო. ცნობილია კესონური დაავადება, რომლითაც ავადდებიან მყვინთავები წყლის სიღრმიდან სწრაფი ამოსვლისას. ამ დროს სისხლში იზრდება გახსნილი აზოტის ბუშტუკების სახით გამოყოფა, რომლებიც დაეცობა სისხლძარღვს. ამის შედეგად ვითარდება თავბრუს ხვევა და ზოგ შემთხვევაში სიკვდილი. აგრეთვე ცნობილია მთის დაავადება – ალკალოზი. მას იწვევს შემდეგი ფაქტორები: მთაში წნევა დაბალია, რაც განაპირობებს სისხლში ნაკლები ჟანგბადის შემცველობას,  $\text{CO}_2$ -ის კონცენტრაცია მცირდება, სამაგიეროდ იზრდება სისხლის pH და ვითარდება ალკალოზი. მის სამკურნალოდ გამოიყენება ლიმონმჟავა.

განვიხილოთ პარციალური წნევის რეჟიმი ადამიანის სუნთქვის პროცესში. ჟანგბადი ფილტვებში ალვეოლის თხელი აფსკის (ბრონქების დაბოლოების) და ვენურ კაპილარებში შთაინთქმება ვენური სისხლით, რის შედეგადაც მასში არსებულ ჰემოგლობინის ნაწილს გადაიყვანს ოქსიჰემოგლობინში. ვენური სისხლიდან, ალვეოლში ქსოვილებიდან ეწოდება  $\text{CO}_2$  – საკვები პროდუქტების დაჟანგვის პროდუქტი. აქედან გასაგებია ამოსუთქულ ჰაერში ჟანგბადის ნაკლებობა და  $\text{CO}_2$  –ის მეტობა.

რა აიძულებს ჟანგბადს, გაიაროს ასეთი რთული გზა ალვეოლის კედლებიდან (ბრონქებიდან) და ვენური კაპილარებიდან გადავიდეს ვენურ სისხლში, მაშინ, როცა  $\text{CO}_2$  გადის უკუეზას.

ჟანგბადი დიფუნდირებს ამ მიმართულებით იმიტომ, რომ პარციალური წნევა ალვეოლურ ჰაერში უფრო მაღალია, ვიდრე მისი წონასწორული წნევა ვენურ სისხლში, ხოლო  $\text{CO}_2$  –ის შემთხვევაში პარციალური წნევა ვენურ სისხლში უფრო მაღალია, ვიდრე ალვეოლურ ჰაერში.

## ელექტროლიტი

XIX საუკუნეში, რაულისა და ვანტ-ჰოფის კანონების აღმოჩენის შემდეგ, ითვლებოდა, რომ ხსნარების ე.წ. კოლიგატიური თვისებები, კერძოდ, დულილის ტემპერატურის მატება, ლღობის ტემპერატურის შემცირება, ოსმოსური წნევის მნიშვნელობა არ არის დამოკიდებული გამხსნელი ნივთიერების ბუნებაზე და დამოკიდებულია ამ ნივთიერების კონცენტრაციაზე, მოცემულ გამხსნელში. შემდგომში აღმოჩნდა, რომ თუ ზოგიერთი ნივთიერების, მაგალითად, გლუკოზის, გლიცერინის, საქაროზის ხსნარები ემორჩილებიან აღნიშნულ კანონებს, ზოგიერთი (მაგ., მჟავათა, ფუძეთა და მარილთა) ხსნარებისათვის შეინიშნება გადახრა ამ კანონებიდან. ასეთი გადახრა ახასიათებს იმ ნივთიერებებს, რომელთა ხსნარები ან ნალღობები ატარებენ ელექტრულ დენს.

თეორიას, რომელიც ელექტროლიტების განსაკუთრებულ თვისებებს მათი იონებად დაშლით ხსნის, ელექტროლიტური დისოციაციის თეორია ეწოდება.

ამ თეორიის ფუძემდებელია შვედი სვანტე არენიუსი (1887წ.).

ელექტროლიტური დისოციაციის თეორიის ძირითადი დებულებებია:

1. ელექტროლიტები წყალხსნარებში თავისთავად იშლება იონებად;

2. იონები წონასწორობაში არიან დაუშლელ მოლეკულებთან:



ეს წონასწორობა ხასიათდება დისოციაციის მუდმივას საშუალებით:

$$K_{\text{დისოც.}} = \frac{[M]^+ [A]^-}{[MA]} \quad (1)$$

$K_{\text{დისოც.}}$  მნიშვნელობა უცვლელია მოცემულ ტემპერატურაზე. გარდა  $K_{\text{დისოც.}}$ -სა ელექტროლიტის დახასიათებისათვის იყენებენ დისოციაციის ხარისხს ( $\alpha$ ) სიდიდეს:

$$\alpha = \frac{\text{გშლულ მოლეკულაში წყალხსნარში}}{\text{საწყის მოლეკულაში წყალხსნარში}} \quad (2)$$

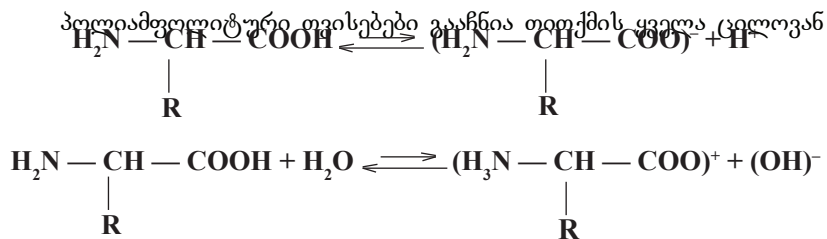
$K_{\text{დისოც.}}$  შეიძლება გამოვსახოთ  $\alpha$  -ს საშუალებით. ბინარული ელექტროლიტისთვის, მაგ: NaCl

$$K_{\text{დისოც.}} = \frac{\alpha^2}{1 - \alpha} \quad (3)$$

(3) გამოსახულებას ოსტვალდის განზავების კანონი ეწოდება. მის მიხედვით, კონცენტრაციის ზრდა იწვევს დისოციაციის ხარისხის შემცირებას, (რადგან  $K_{\text{დისოც.}} = \text{const}$  მუდმივ ტემპერატურაზე).

ცოცხალ ორგანიზმებში მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ პოლიელექტროლიტები, ანუ მაღალმოლეკულური ნაერთები, რომლებიც ელექტროლიტური დისოციაციის დროს წარმოქმნიან პოლიმერულ მრავალბირთვიან მაკროიონებს და მათი მუხტების შესაბამის საწინააღმდეგო ნიშნის მქონე დაბალმოლეკულურ იონებს.

COOH - ჯგუფის შემცველი პოლიელექტროლიტის მოლეკულები ამჟღავნებენ მჟავა თვისებებს, ხოლო ამინოჯგუფის ( $\text{NH}_2$ ) შემცველი – ფუძე თვისებებს (მაგ., პირიმიდინის ნარჩენი). გარდა ამისა, არსებობენ პოლიამფოლიტები, რომლებიც შეიცავენ როგორც მჟავა, ისე ფუძე ჯგუფებს. განვიხილოთ მათი დისოციაცია წყალხსნარში:



ლებელია კულონური ურთიერთქმედების და, აქედან გამომდინარე, მოწესრიგებული სტრუქტურის არსებობის უგულვებელყოფა.

მაგრამ ძლიერი ელექტროლიტების ხსნარებში, სადაც მაღალი იონთა კონცენტრაციები და მცირე მანძილი მათ შორის, ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედების იგნორირება შეუძლებელია. ამ ურთიერთქმედების შედეგად თითოეული იონი (ე.წ. ცენტრალური იონი)

ნივთიერებას, მაგალითად, ისეთებს, როგორცაა ალბუმინი, ჰემოგლობინი, გლობულინები და სხვა.

ელექტროლიტები არსებობს ძლიერი და სუსტი. ძლიერ ელექტროლიტებს მიეკუთვნება – ძლიერი მჟავები, ძლიერი ფუძეები და მარილთა უმეტესობა. სუსტი ელექტროლიტებია – სუსტი მჟავები, სუსტი ფუძეები და ზოგიერთი მარილი. მაგ., ორგანულ მჟავათა უმეტესობა, ფენოლები, ამინები, ნახშირმჟავა, ციანწყალბადმჟავა და სხვა.

მიუხედავად ელექტროლიტური დისოციაციის თეორიის დიდი წარმატებისა, დროთა განმავლობაში დაგროვდა მრავალი ფაქტი, განსაკუთრებით, ძლიერ ელექტროლიტებთან დაკავშირებით, რომელთა ახსნა არენიუსის თეორიის საფუძველზე შეუძლებელი შეიქმნა. კერძოდ, ძლიერი ელექტროლიტებისათვის არ არის სამართლიანი ოსტვალდის განზავების კანონი – დისოციაციის მუდმივას მნიშვნელობა იცვლება განზავებასთან ერთად, ელგამტარობის მიხედვით გაანგარიშებული დისოციაციის ხარისხის მნიშვნელობა არ ემთხვევა იზოტონური კოეფიციენტის საშუალებით გამოთვლილს; მარილთა ხსნარების კომბინაციური განხვევის სპექტრებში არ არის არადისოცირებული მოლეკულებისათვის დამახასიათებელი ხაზები და ზოლები და მრავალი სხვა. დღეისათვის მიღებულია, რომ არენიუსის ელექტროლიტური დისოციაციის თეორია სამართლიანია მხოლოდ სუსტი ელექტროლიტებისათვის.

## **ძლიერი ელექტროლიტების თეორია**

არენიუსის მიხედვით, ხსნარში იონები უწყსრივოდ მოძრაობენ, აირის მოლეკულების ანალოგიურად. მათ განლაგებაში არ შეიმჩნევა არანაირი წესრიგი და მათ შორის არ არსებობს ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედება. ეს წარმოდგენები სამართლიანია სუსტი ელექტროლიტებისათვის, რადგან, მათ ხსნარებში იონთა კონცენტრაციის სიმცირის და იონთა შორის დიდი მანძილების არსებობის გამო, შესაძ-

გარშემორტყმულია საწინააღმდეგო ნიშნის იონებით, რომლებიც მის გარშემო იონურ ღრუბელს ქმნიან. ამასთან, იონურ ატმოსფეროში შემავალი თითოეული იონი თვითონაც წარმოადგენს ცენტრალურ იონს, რომელსაც თავისი იონური ატმოსფერო გააჩნია. შედეგად მიიღება მოწესრიგებული სტრუქტურა, ანალოგიური კრისტალურ მესერში იონთა განლაგებისა. კრისტალური მესრისაგან განსხვავებით, ხსნარის იონები განუწყვეტლივ მოძრაობენ – შეედინებიან და გაედინებიან იონური ატმოსფეროდან. მაგრამ, მაინც, საშუალოსტატისტიკურად, თითოეული იონი მუდმივად გარშემორტყმულია ნიშნით საწინააღმდეგო იონური ღრუბლით.

იონთა შორის ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედება იწვევს მათი ქიმიური პოტენციალის შემცირებას. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ძლიერი ელექტროლიტის ხსნარის თვისებების რაოდენობრივი გამოხატვა არ შეესაბამება მის კონცენტრაციას.

ეს აისახება გამოსახულებაში:

$$a_i = \gamma_i C_i,$$

სადაც  $C_i$  – იონის კონცენტრაციაა,  
 $a_i$  – იონის აქტივობა  
 $\gamma_i$  – იონის აქტივობის კოეფიციენტი

ძლიერი ელექტროლიტებისათვის  $\gamma_i < 1$ , რაც იმას ნიშნავს, რომ  $a_i < C_i$ , რაც უფრო კონცენტრირებულია ხსნარი, მით მეტია განსხვავება  $a_i$  და  $C_i$  შორის. არაიდეალური სისტემების (რომელსაც მიეკუთვნება ძლიერი ელექტროლიტური ხსნარები) თერმოდინამიკურ გამოსახულებაში კონცენტრაცია შეცვლილია აქტივობით.

ძლიერი ელექტროლიტების თეორიის ავტორები არიან დებაი და ჰიუკელი. თეორიის ძირითადი დებულებებია:

- 1) ძლიერი ელექტროლიტები ხსნარში სრულად არიან დისოცირებული იონებად;
- 2) იონებს შორის არსებობს ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედება, რის გამოც იონთა განლაგებაში შეიმჩნევა გარკვეული წესრიგი: თითოეული იონი გარშემორტყმულია თავისი საწინააღმდეგო ნიშნის იონების სფერული ღრუბლით (იონური

ატმოსფერო);

- 3) ცენტრალური იონის ქიმიური პოტენციალი შემცირებულია იონურ ატმოსფეროსთან ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედების შედეგად;
- 4) ცენტრალური იონის კულონური პოტენციალი ეკრანირებულია იონური ატმოსფეროს მიერ;
- 5) იონური ატმოსფეროს მუხტის სიმკვრივე ემორჩილება პუანსონ-ბოლცმანის განაწილებას და ექსპონენტურად მცირდება ცენტრალური იონიდან დაშორების კვადრატზე.

დებაი-ჰიუკელის თეორიის ძირითადი გამოსახულებაა:

$$\kappa \gamma^\pm = A |Z_+ Z_-| \sqrt{I} \quad (2)$$

სადაც  $\gamma^\pm$  ხსნარის საშუალო იონური აქტივობის კოეფიციენტია,  $Z_+$  და  $Z_-$  შესაბამისად, დადებითი და უარყოფითი იონის მუხტებია,  $I$  იონური ძალაა.

$$I = \frac{1}{2} (C_+ Z_+^2 + C_- Z_-^2) \quad (3)$$

სადაც  $C_+$  და  $C_-$  დადებითი და უარყოფითი იონების კონცენტრაციაა ხსნარში.

ტემპერატურის, გამხსნელის სიმკვრივისა  $\rho$  და დიელექტრიკული შეღწევადობის  $D$  გავლენა ხსნარის აქტივობის კოეფიციენტზე ასახულია წევრში

$$(4)$$

სადაც  $\rho$  გამხსნელის სიმკვრივეა,  $e$  – ელექტრონის მუხტი,  $D$  – გამხსნელის დიელექტრიკული შეღწევადობა.

(3) და (2) განტოლებებიდან, რაც მეტია ხსნარის იონური ძალა, ანუ მისი კონცენტრაცია და იონთა მუხტების მნიშვნელობა, მით ნაკლები იქნება  $\gamma^\pm$ , ე.ი. მით უფრო არაიდეალური იქნება ხსნარი. ეს ასეც უნდა იყოს, რადგან ელექტროლიტის ხსნარის იდეალურობისაგან გადახრის ზომას განსაზღვრავს ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედება; ეს უკანასკნელი კი მით მეტია, რაც მეტია ხსნარის კონცენტრაცია და იონთა მუხტი.

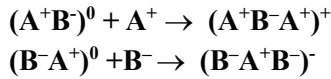
(4) და (2) გამოსახულების მიხედვით, რაც უფრო მაღალია ტემპერატურა, მით მეტია  $\gamma$ -ს მნიშვნელობა და მით უფრო ნაკლებად არის გადახრილი ელექტროლიტის ხსნარის თვისებები იდეალური-საგან. მართლაც, რაც მეტია ტემპერატურა, მით უფრო ინტენსიურია სითბური მოძრაობა, მით უფრო ფაშარი იქნება იონური ღრუბელი და აქედან, ნაკლები იქნება ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედება ცენტრალურ იონსა და იონურ ატმოსფეროს შორის. საერთოდ, სითბური მოძრაობა წარმოადგენს იმ გადამწყვეტ ფაქტორს, რომელიც ხელს უშლის იონების შეერთებას მოლეკულებად.

საინტერესოა გამხსნელის როლიც. (4) და (2) გამოსახულებების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ: ა) რაც მეტია გამხსნელის სიმკვრივე  $\rho$ , მით ნაკლებია  $\gamma$ ; ანუ მით უფრო არაიდეალურია ხსნარი. მართლაც, გამხსნელის სიმკვრივის ზრდამ უნდა გამოიწვიოს იონთა მოძრაობის შეზღუდვა და ამით ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედების გაძლიერება; ბ) რაც მეტია გამხსნელის დიელექტრიკული შეღწევადობა, მით მეტი იქნება გამხსნელსა და ელექტროლიტის იონებს შორის იონ-დიპოლური ურთიერთქმედება. ეს შეამცირებს ელექტროლიტის იონებს შორის კულონურ ურთიერთქმედებას და გამოიწვევს  $\gamma$  ზრდას.

(2) გამოსახულებას ეწოდება დებაი-ჰიუკელის ზღვრული კანონი, რადგან იგი სამართლიანია მხოლოდ ძლიერ განზავებული ხსნარებისათვის. ეს გამოწვეულია იმით, რომ თეორიაში არსებობს რიგი დაშვებები და მიახლოებები. შემდგომში ავტორთა მიერ შეტანილ იქნა გარკვეული შესწორებები. კერძოდ, მათ გაითვალისწინეს იონთა ზომები, მათი სოლვატაცია და ამით გააფართოვეს თეორიის გამოყენების არე.

მიუხედავად ამისა, არსებობს მრავალი ექსპერიმენტული ფაქტი, რომელიც არ აიხსნება დებაი-ჰიუკელის წარმოდგენებით, კერძოდ, იონური ატმოსფეროს არსებობით. მაგალითისათვის შეიძლება განვიხილოთ ზოგიერთი ელექტროლიტის სვედრითი ელგამპტარობის ანომალიური დამოკიდებულება კონცენტრაციაზე, რასაც ადგილი აქვს ელექტროლიტთა კონცენტრირებულ ხსნარებში. თანამედროვე

წარმოდგენების მიხედვით, ასეთი ანომალიური ელგამტარობა აიხსნება კონცენტრირებულ ხსნარებში იონთა ასოციაციების წარმოქმნით. კონცენტრაციის გარკვეულ ინტერვალში, ხსნარში წარმოიქმნება ელექტრონიტრალური იონური წყვილები [+ , -], რომლებიც არ მონაწილეობენ ელგამტარობაში. ამის გამო, კონცენტრაციის ამ ინტერვალში, ელექტროლიტის კონცენტრაციის ზრდისას ელგამტარობა მცირდება; მაგრამ კონცენტრაციის შემდგომი ზრდისას ადგილი აქვს იონურ წყვილთან მესამე იონის დაკავშირებას:



ეს ასოციაციები დამუხტულია და მონაწილეობენ ელგამტარობაში. კონცენტრაციის ამ ინტერვალში ელგამტარობა იზრდება.

იონური ასოციაციების თეორიაში მიღებულია, რომ იონური ასოციაციები წარმოიქმნება, როდესაც მათ შორის მანძილი ისეთია, რომ იონთა ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედების ენერგია არ არის ნაკლები  $2kT$ -ზე.

ბიერუმის მიხედვით, ორი იონისაგან მაშინ წარმოიქმნება იონური წყვილი, როდესაც იონთა ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედების ენერგია გაუტოლდება ნაწილაკების სითბური მოძრაობის ენერგიას:

$$(5)$$

სადაც  $Z_+$ ,  $Z_-$  - იონთა მუხტებია,  $e$  - ელექტრონის მუხტი,  $D$  - გამხსნელის დიფუზიური კოეფიციენტი,  $r$  - მანძილი იონებს შორის,  $k$  - ბოლცმანის მუდმივა.

$$\text{აქედან} \quad (6)$$

როგორც (6) გამოსახულების ანალიზი გვიჩვენებს, მანძილი,

რომელზეც წარმოიქმნება იონური წყვილი, იზრდება იონთა მუხტის ზრდისა და დიელექტრიკული შეღწევადობის შემცირებისას; ე.ი. დიდი მუხტის მქონე იონებისათვის, რომლებიც დისოცირებულია დაბალი დიელექტრიკული შეღწევადობის გამხსნელში, ასოციაციის ხარისხმა (იონური წყვილების წარმოქმნამ) შეიძლება მნიშვნელოვან სიდიდეს მიაღწიოს.

## ელექტროლიტების როლი ცოცხალ ორგანიზმში

ფიზიოლოგიურ ხსნარებში ელექტროლიტების არსებობა მნიშვნელოვნად მოქმედებს ცილების, ამინომჟავებისა და სხვა ორგანული ნაერთების ხსნადობაზე. ელექტროლიტების რაოდენობის გაზრდას სითხეებში მიყვავართ ჰემოგლობინის, კარბოქსიჰემოგლობინის და ცისტინის უკეთ გახსნაზე. ელექტროლიტების დიდი რაოდენობის გახსნა ამცირებს ამ ნივთიერებათა გახსნის უნარს. ელექტროლიტებს აქვს უნარი, წყალი მიიზიდოს ჰიდრატის სახით, რაც იცავს ორგანიზმს გაუწყლოებისგან.

ნორმალურ მდგომარეობაში ორგანიზმის სისხლის პლაზმა შეიცავს  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  და  $\text{Mg}^{2+}$  კათიონებს. მათი საერთო რაოდენობა 154 მმოლ/ლ. ანიონთა შემცველობა სისხლის პლაზმაში შეადგენს საშუალოდ 154 მმოლ/ლ. ანიონებიდან აღსანიშნავია ქლორიდ- და კარბონატ-იონები და აგრეთვე ცილების მრავალმუხტიანი მაკროიონები.

ადამიანის ორგანიზმში წყლის რაოდენობა შეადგენს მთელი მასის 60%-ს. ამასთან, წყლის 2/3 თავმოყრილია უჯრედის შიგნით - ერთროციტები, კუნთის ქსოვილის უჯრედი და ა.შ., ხოლო 1/3 უჯრედის გარეთ - სისხლის პლაზმა, უჯრედის სითხე, ლიმფა და სხვა.

უჯრედის გარეთ მყოფი წყლის 1/3-ის დაკარგვა საშიშია, ხოლო მისი 2/3-ის დაკარგვა სასიკვდილოა. ამიტომ ორგანიზმის ნორმალური ელექტროლიტური ბალანსის შენარჩუნება ძალიან მნიშვნელოვანია. ადამიანის მიერ კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის და თირკმელების მოქმედების

შედეგად დაკარგული ელექტროლიტები უნდა ანაზღაურდეს საკვებით და სასმელი წყლით.

კათიონების ბალანსის დარღვევა იწვევს ადამიანის კუნთების სისუსტეს.  $\text{Na}^+$  და  $\text{K}^+$  კათიონები ყველაზე მნიშვნელოვანია (თუ  $\text{H}^+$ -ს გამოვრიცხავთ).

$\text{Na}^+$  კათიონი უჯრედის გარეთაა,  $\text{K}^+$  კი უჯრედის შიგნით გვხვდება.  $\text{Na}$ -ის საერთო მასა შეადგენს 150 გ. ნორმალურ ნივთიერებათა ცვლისათვის აუცილებელია დღე-ღამეში საკვებით 10-15 გ  $\text{NaCl}$ -ის მიღება. უმარილო დიეტის შემთხვევაში აუცილებელია – 2 გ.  $\text{Na}^+$ -ის ნაკლებობა იწვევს ოსმოსური წნევის შემცირებას (ჰიპოსმია) უჯრედის გარეთ სითხეში და ამასთან დაკავშირებით სითხე შეაღწევს ერითროციტებში, თავის ტვინის უჯრედებში; იწვევს ჰემოლიზს და აგრეთვე სისხლის შედედებას. ამ დროს შეინიშნება – სისხლის სიბლანტის მომატება, არტერიული წნევის დაცემა, გულის ნორმალური რიტმის დარღვევა (ტაქიკარდია), გლუვი მუსკულატურის სპაზმები, ცენტრალური ნერვული სისტემის მოშლა.  $\text{Na}$ -ის მარილები ტუტე რეზერვის სახით არის დაგროვილი და მისი ნაკლებობა იწვევს მჟავის დაგროვებას ორგანიზმში (აციდოზი). ამან კი შეიძლება გამოიწვიოს ახალგაზრდა ორგანიზმის ზრდისა და განვითარების შეფერხება.

$\text{Na}^+$ -ის სიჭარბე იწვევს სითხის მიწოლას, ირღვევა უჯრედის ფუნქცია და ისინი თანდათან ილუპებიან. ამის გარდა, მუხრუჭდება ნერვული იმპულსების გადაცემა, ვითარდება მაღალი წნევა (ჰიპერტონია).

$\text{K}^+$ -ის იონების საერთო რაოდენობა შეადგენს 133-140 გ. დღე-ღამური დოზა დაახლოებით 2-3 გ-ია.  $\text{K}^+$ -ის იონები მონაწილეობენ ნერვული იმპულსების გადაცემაში, კუნთების შეკუმშვასა და გულის კუნთის მუშაობაში. კერძოდ, ამცირებენ რიტმს და გულის კუნთის შეკუმშვის ძალას.  $\text{K}^+$ -ის იონების ნაკლებობა (ჰიპოკალიემია) შეიძლება განვითარდეს ხანგრძლივი აშლილობების დროს, ლებინების,

ჭარბი შარდის გამოყოფისას. ამ დროს შეინიშნება ნერვულ-კუნთოვანი აგზნების შეზღუდვა, ცილის სინთეზის დამუხრუჭება, ცილის დაშლა; ეს ყოველივე იწვევს სისუსტეს, ღებინებას, გულის მუშაობის რიტმის დარღვევას, რეფლექსების დამუხრუჭებას, პარალიჩს და ჰალუცინაციების განვითარებას.

$K^+$ -ის იონების საჭარბე იწვევს თირკმელების დაავადებას, ჰემოლიზს (ერითროციტების დაშლას), ქსოვილის უჯრედების დაშლას, ფუძე-მჟავური წონასწორობის დარღვევას.

$Ca^{+}$ -ის იონების შემცველობა დაახლოებით 1050 გ. ამ რაოდენობის 90% შედის ძვლების შემადგენლობაში უხსნადი ფოსფატების სახით –  $Ca_3(PO_4)_2$ .

$K^+$  და  $Ca^{+}$  იონები წარმოადგენენ ერთმანეთის ანტაგონისტებს. თუ  $K^+$  იონები ასუსტებენ გულის კუნთის შეკუმშვას,  $Ca^{2+}$  ზრდის რიტმს და გულის კუნთის შეკუმშვას.  $Ca^{2+}$  იონების ნაკლებობა სისხლის პლაზმაში მკვეთრად ზრდის ნერვული სისტემის კუნთების აგზნებადობას, ირღვევა უჯრედის ფერმენტების ნორმალური ფუნქციონირება, იწყება კრუნჩხვები, გაშეშების შეტევები. თუ  $Ca^{2+}$ -ის იონების შემცველობა სისხლში 2,5 მმოლ/ლ-ზე ნაკლებია, ადგილი ექნება გონების დაკარგვას და, შესაძლოა, სიკვდილს.

$Ca^{+}$ -ის იონები დიდ როლს ასრულებენ სისხლის შედეგებაში; თუ სისხლს დავამატებთ ლიმონმჟავა ნატრიუმის 4%-იან სხნარს,  $Ca^{2+}$ -ის იონები მთლიანად დაილექება მცირედ ხსნად მარილად  $Ca_3(C_6H_5O_7)3 \times 4H_2O$ . სისხლი კარგავს შედეგების უნარს. ასეთი სისხლი გამოიყენება სისხლის გადასხმაში.

$Ca^{2+}$ -ის იონების სიჭარბე სისხლის პლაზმაში (ჰიპერკალციემია) იწვევს ჰიპოკალემიას, ორგანიზმში  $Ca^{2+}$ -ის მარილების დაგროვებას – თირკმელების კენჭი, ქსოვილთაშორის ნალექი, ნაყოფის გამყარება და ა.შ.

$Mg^{2+}$ -ის იონების შემცველობა შეადგენს 28 გ. აქედან 9 გ არის

შიგა და უჯრედგარეშე სითხეში. დღეღამური ნორმა შეადგენს 0,7გ. მისი მთავარი დანიშნულებაა ნახშირწყლების მიმოცვლის ფერმენტების გააქტიურება, ცენტრალური ნერვული სისტემის აგზნების შემცირება.  $Mg^{2+}$ -ის იონების სიჭარბე იწვევს ძილიანობას, მგრძობელობის შესუსტებას, ჩონჩხის დამბლას. 9 მმოლ/ლ-ზე მეტი რაოდენობა იწვევს ღრმა ნარკოზს. მაგნიუმი აქტიურად მოქმედებს  $K^+$  და  $Ca^{2+}$  იონების მიმოცვლაში.

## ბუფერული ხსნარები

წყალი სუსტი ელექტროლიტია და უმნიშვნელოდ დისოცირდება:



სუფთა წყალში 25°C-ზე  $[\text{H}^+]$  და  $[\text{OH}^-]$  ერთნაირია და ტოლია  $10^{-7}$ -ის.

თუ  $[\text{H}^+] > 10^{-7}$  ხსნარს მჟავა რეაქცია აქვს;

თუ  $[\text{H}^+] < 10^{-7}$  ხსნარს ტუტე რეაქცია აქვს;

თუ  $[\text{H}^+] = 10^{-7}$  ხსნარი ნეიტრალურია;

ხარისხის უარყოფითი მაჩვენებლის გამოყენება მოუხერხებელია, ამიტომ მიღებულია წყალბადიონთა კონცენტრაციის გამოსახვა ე.წ. წყალბადის მაჩვენებლით, რომელსაც pH სიმბოლოთი აღნიშნავენ.

წყალბადის მაჩვენებელი pH ეწოდება წყალბადიონთა კონცენტრაციის ათობითი ლოგარითმის შებრუნებულ სიდიდეს:

$$\text{pH} = - \lg [\text{H}^+] \quad (1)$$

pH-ის დახმარებით ხასიათდება ხსნარის რეაქცია:

ნეიტრალურ ხსნარებში  $\text{pH} = 7$ ;

მჟავა ხსნარებში  $\text{pH} < 7$ ;

ტუტე ხსნარებში  $\text{pH} > 7$ .

ორგანიზმის თხევადი სისტემები – სისხლი, ლიმფა, შარდი, ნაღვლის წვენი – წყალხსნარებია. ხსნართა pH გავლენას ახდენს ორგანიზმის ბიოქიმიური პროცესების ნორმალიზაციაზეც pH-ის გადახრა 0,001 ერთეულითაც კი იწვევს სერიოზულ დაავადებებს.

ორგანიზმის ზოგიერთი სისტემის pH:

სისხლის შრავი ————— 7.35-7.45

ზურგის ტვინის სითხე ————— 7.35-7.45

ნერწყვი ————— 6.35-7.85

სუფთა კუჭის წვენი ————— 0.9 (ძლიერი მჟავა)

შარდი ————— 4.8-7.5

რძე ————— 6.6-6.9

ნალველი ————— 5.4-6.9

ორგანიზმის pH-ის შენარჩუნება ხორციელდება ბუფერული ხსნარების დახმარებით. ბუფერული ეწოდება ხსნარს, რომელსაც შესწევს უნარი, შეინარჩუნოს წყალბადიონთა კონცენტრაციის მუდმივობა, გარკვეული რაოდენობის ძლიერი მჟავის ან ძლიერი ტუტის დამატებისას.

რაოდენობრივად ბუფერულ სისტემებს ახასიათებენ ბუფერული ტევადობით, რომელიც ტოლია ძლიერი მჟავის ან ძლიერი ფუძის ექვივალენტების რაოდენობისა, რომელიც უნდა დაემატოს ერთ ლიტრ ბუფერულ ხსნარს, რათა მისი pH ერთი ერთეულით შეიცვალოს.

$$R = \frac{db}{dpH} \quad (2)$$

სადაც  $b$  – ძლიერი მჟავას ან ძლიერი ტუტის რაოდენობაა გრამ-ექვივალენტებში (გ-ექვ.)

ბუფერული ტევადობა მაქსიმალურია ბუფერული სისტემის შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციის ტოლობისას.

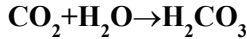
მდგრადი pH ხსნარების მომზადების მიზნით მიმართავენ ე.წ. ბუფერულ ხსნარებს, რომელთაც აქვთ უნარი, შეინარჩუნონ pH-ის მუდმივობა განზავებისას ან მჟავის და ფუძის დამატებისას.

ბუფერულ ხსნარებს მიეკუთვნება:

- 1) ხსნარი, რომელიც შედგება სუსტი მჟავასა და ამ სუსტი მჟავას და ძლიერი ტუტის მარილისაგან, მაგ:  $\text{CH}_3\text{COOH}$  და  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .
- 2) ხსნარი, რომელიც შედგება სუსტი ფუძისაგან და ამ ფუძის და ძლიერი მჟავას მარილისაგან, მაგ:  $\text{NH}_4\text{OH}$  და  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .
- 3) ხსნარები, რომლებიც შეიცავს მრავალფუძიანი მჟავას მარილებს მაგ:  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  და  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ .

ორგანიზმში ძირითადი ბუფერული სისტემაა – ჰიდროკარბონატული; მის წილად მოდის სისხლში ბუფერული მოქმედების 50% და მისი საშუალებით ხდება სისხლის  $\text{pH} \approx 7,4$  შენარჩუნება.

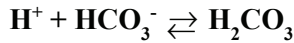
ორგანიზმში ნახშირმჟავა წარმოიქმნება  $\text{CO}_2$ -ის ჰიდრატაციით. ეს პროცესი ხორციელდება ფერმენტ კარბონანჰიდრაზას დახმარებით:



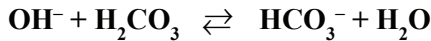
კარბონატული ბუფერული სისტემა წარმოადგენს სუსტ მჟავას – ნახშირმჟავას და მასთან წონასწორობაში მყოფ ჰიდროკარბონატ იონს:



$\text{HCO}_3^-$  არის  $\text{H}_2\text{CO}_3$ -თან შეუღლებული ფუძე. ამ წყვილის ბუფერული მოქმედების მექანიზმი შემდეგში მდგომარეობს: ბუფერულ სისტემაზე ძლიერი მჟავას დამატებისას, ამ უკანასკნელის დისოციაციის შედეგად მიღებული პროტონები ურთიერთქმედებენ ნახშირმჟავას შეუღლებულ ფუძესთან:



ხოლო ძლიერი ფუძის დამატებისას  $\text{OH}^-$  იონები ურთიერთქმედებენ  $\text{H}_2\text{CO}_3$ -თან:



ბუფერული ხსნარის pH შემდგენაირად განისაზღვრება:

(I) ბუფერული სისტემის დისოციაციის მუდმივა

ზოგადად წონასწორობა შემდგენაირად:

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \quad \text{ან} \quad [\text{H}^+] = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

$$-\lg[\text{H}^+] = -\lg K + \lg \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

$$\text{pH} = \text{pK} + \lg \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

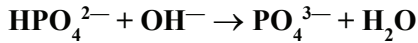
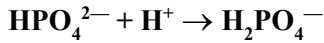
და  $\text{CO}_2$ -ის ტრანსპორტირება ქსოვილებიდან ფილტვებში, მუდმივი

$$\text{pH} = \text{pK} + \lg \frac{[\text{შეუღლებული ფუძე}]}{[\text{მჟავა}]}$$

pH-ის შენარჩუნება ერთორციტებში, საბოლოო ჯამში კი – სისხლში. ეს სისტემა ეფექტურად მოქმედებს მხოლოდ სისხლის სხვა ბუფერულ სისტემებთან ერთობლიობაში.

ეს არის პელდესონ-ჰასელბახის განტოლება.

მეორე სისტემა – ფოსფორული ბუფერული სისტემა, რომელიც ახასიათებს წონასწორობას ჰიდროფოსფატსა და დიჰიდროფოსფატის იონებს შორის:



ორგანიზმში ჰემოგლობინური ბუფერი წარმოადგენს ერთროციტების მთავარ ბუფერულ სისტემას, რომელიც პროტონის დონორის სახით შეიცავს ორ სუსტ მჟავას – ჰემოგლობინს (HHb) და ოქსიჰემოგლობინს ( $\text{HHbO}_2$ ), ხოლო პროტონის აქცეპტორის როლს ასრულებს ამ მჟავათა შეუღლებული ფუძეები, ე. ი. მათი ანიონები –  $\text{Hb}^-$  და  $\text{HbO}_2^-$



ოქსიჰემოგლობინი უფრო ძლიერი მჟავაა, ვიდრე ჰემოგლობინი; როცა  $\text{pH}=7,25$  (ერთროციტებში) ოქსიჰემოგლობინი იონიზებულია 65%-ით, ხოლო ჰემოგლობინი – 10%-ით. ჰემოგლობინთან ჟანგბადის მიერთებისას (ფილტვებში) სისხლის  $\text{pH}$  მცირდება შედარებით ძლიერი მჟავას (ოქსიჰემოგლობინის) წარმოქმნის გამო; მეორე მხრივ, როდესაც ოქსიჰემოგლობინი გადასცემს ჟანგბადს ქსოვილებს, სისხლის  $\text{pH}$  ისევ იზრდება, უფრო სუსტი მჟავას (ჰემოგლობინის) წარმოქმნის გამო.

მჟავის სიჭარბისას  $\text{H}^+$ - იონებს პირველ რიგში დაიკავშირებს ჰემოგლობინის ანიონი ( $\text{Hb}^-$ ), რომელსაც, როგორც შედარებით ძლიერ ფუძეს, გააჩნია პროტონისადმი მეტი სწრაფვა, ხოლო ჭარბი ტუტის შემთხვევაში უფრო მეტ აქტიურობას ამჟღავნებს ოქსიჰემოგლობინი, ვიდრე ჰემოგლობინი.

ორგანიზმში, სისხლის ჰემოგლობინური სისტემა მონაწილეობს ერთდროულად რამდენიმე მნიშვნელოვანი ფიზიოლოგიური ფუნქციის შესრულებაში: სუნთქვა – ჟანგბადის ტრანსპორტირება ქსოვილებში

## ორგანიზმის ფუძე-მჟავური წონასწორობა

ადამიანის ორგანიზმის უნარს, მოახდინოს ორგანიზმში მიმდინარე ფიზიოლოგიური და ბიოქიმიური პროცესების კოორდინაცია და შეინარჩუნოს მუდმივი მდგომარეობა, ჰომეოსტაზი ეწოდება. ჰემეოსტაზი ხორციელდება ჰუმორული რეგულაციით ნერვულ მექანიზმებთან ერთად. ჰუმორული და ნერვული კომპონენტები ქმნიან ერთიან ნერვო-ჰუმორულ კომპლექსს.

განვიხილოთ ჰომეოსტაზის ერთ-ერთი მხარე, კერძოდ, ორგანიზმის მისწრაფება შეინარჩუნოს წყალბად-იონთა ოპტიმალური კონცენტრაცია. თხევადი არის მჟავურობის მუდმივობა ადამიანის ცხოველმყოფელობისთვის ძლიერ მნიშვნელოვანია: 1.  $H^+$ -იონები ასრულებენ კატალიზურ მოქმედებას; 2. ფერმენტები და ჰორმონები ბიოლოგიურად აქტიურ თვისებებს ავლენენ pH-ის მხოლოდ განსაზღვრულ ინტერვალში; 3.  $H^+$ -იონთა ცვლილება გავლენას ახდენს ოსმოსურ წნევაზე.

სისხლის pH-ის (7,36) უმნიშვნელო გადახრა – 0,3 ერთეულით იწვევს კომის მდგომარეობას, ხოლო 0,4 ერთეულით გადახრა სასიკვდილოა.

ორგანიზმის ფუძე-მჟავური წონასწორობის გადახრას  $H^+$ -ის იონთა მომატებისკენ ეწოდება აციდოზი, ხოლო  $H^+$ -ის იონთა კონცენტრაციის შემცირებისკენ – ალკალოზი. აციდოზი ან ალკალოზი შეიძლება გამოიწვიოს საკვების, წყლის, მედიკამენტების არასწორმა მიღებამ ან ორგანიზმის პათოლოგიურმა მდგომარეობამ, მაგნიფიციენტებთან ცვლის, სუნთქვის პროცესების, სისხლის მიმოქცევის დარღვევამ.

## მიოგლობინის და ჰემოგლობინის გაჯერება ჟანგბადით

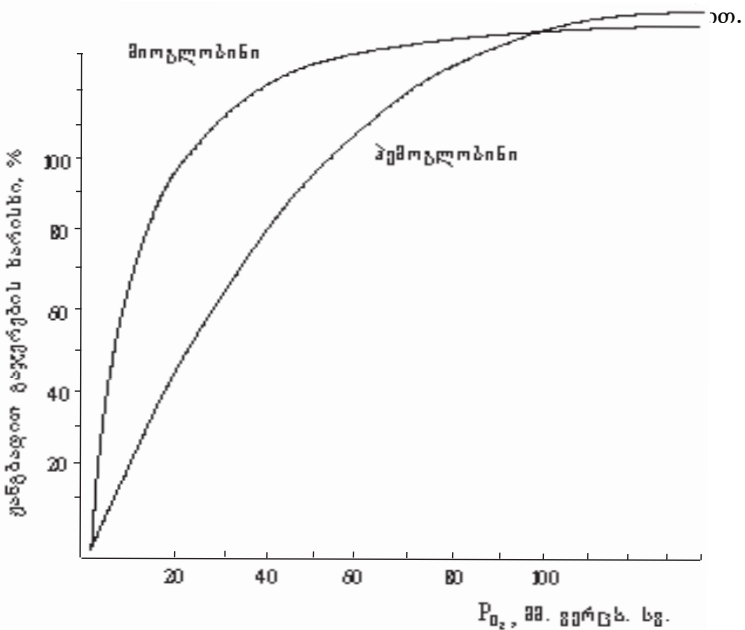
ეს პროცესი წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვანს ორგანიზმში, ფიზიოლოგიური თვალსაზრისით.

“ჰემოგლობინი” – ეს სახელწოდება აერთიანებს სხვადასხვა სახის ცილებს, რომლებიც ორგანიზმში ახორციელებენ ჟანგბადის გადატან-

ნას. ჰემოგლობინის მოლეკულური წონა ~ 64000, თითოეული მისი მოლეკულა შეიცავს ოთხ ჰემს, ოთხ ატომ რკინას და გავჯერებისას იერთებს ოთხ მოლეკულა ჟანგბადს.

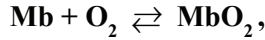
მიოგლობინიც ცილაა, რომელიც გამოყოფილია კუნთებიდან, მისი მოლეკულური წონა ~ 16000, თითოეული მოლეკულა შეიცავს ერთ ჰემს, ერთ ატომ რკინას და გავჯერებისას იერთებს ერთ მოლეკულა ჟანგბადს. მიოგლობინი იყო პირველი ცილა, რომლისთვისაც დეტალურად დაადგინეს მოლეკულური სტრუქტურა (რენტგენის სხივებით დიფრაქციის მეთოდით, კენდრიუმ 1959 წელს). ჰემოგლობინის სტრუქტურაც ამ მეთოდით იქნა დადგენილი.

აღმოჩნდა, რომ სინამდვილეში ჰემოგლობინი წარმოადგენს ტეტრამერს, რომლის თითოეული შემადგენლის მოლეკულური წონა 16000-ია და თითოეული მათგანი ძალიან ჰგავს მიოგლობინს როგორც ამი



ნას. მიოგლობინისა და ჰემოგლობინის ჟანგბადით გავჯერების ხარისხის დამოკიდებულება ჟანგბადის პარციალურ წნევაზე (როცა pH 7,4 და 38°C)

მიოგლობინის ჟანგბადით გაჯერების ხარისხი შეიძლება განისაზღვროს სპექტროფოტომეტრიის მეთოდით. ნახაზზე ნაჩვენებია ჟანგბადით გაჯერების ხარისხის დამოკიდებულება ჟანგბადის პარციალურ წნევაზე. მრუდის ფორმა შეესაბამება იმ ფორმას, რომელიც მოსალოდნელია შემდეგი წონასწორობის განხილვისას:

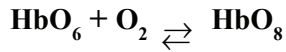
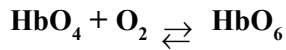
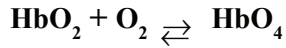
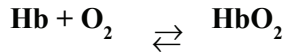


სადაც Mb აღნიშნავს მიოგლობინის მოლეკულას.

მიოგლობინის მრუდი გვიჩვენებს დამოკიდებულებას ჟანგბადით გაჯერების ხარისხსა და ჟანგბადის პარციალურ წნევებს შორის; კერძოდ, ჟანგბადის პარციალური წნევის ( $P^{\text{O}_2}$ ) დაბალი მნიშვნელობის დროს, მიოგლობინის ჟანგბადით გაჯერების ხარისხი პროპორციულია ( $P^{\text{O}_2}$ )-ის; მაშინ, როცა ( $\text{PO}_2$ )-ის მაღალი მნიშვნელობის დროს ის ასიმპტოტურად უახლოვდება 100%-ს.

სულ სხვა სახე აქვს ჰემოგლობინის გაჯერების ხარისხისა და ჟანგბადის პარციალურ წნევებს შორის დამოკიდებულების მრუდს. მას უწოდებენ სიგმოიდურს (S-ის მსგავსი), დაგროვების მრუდს. ეს მრუდი სრულ წინააღმდეგობაშია მიოგლობინის ჰიპერბოლურ მრუდთან. რითაა განპირობებული მრუდებს შორის ასეთი განსხვავება? პასუხი ძირითადად შემდეგში მდგომარეობს: თითოეული ჟანგბადის მოლეკულის თანამიმდევრული მიერთება ჰემოგლობინთან კი არ ასუსტებს ჟანგბადისა და ჰემოგლობინის მოლეკულებს შორის უკვე არსებულ ბმას (როგორც ეს დამახასიათებელია წონასწორობაში მყოფი სისტემებისათვის), არამედ პირიქით – ზრდის მას. ამ თავისებურებას აქვს უდიდესი ფიზიოლოგიური მნიშვნელობა, ვინაიდან, ოქსიმიოგლობინთან შედარებით, ოქსიჰემოგლობინი დისოცირებისას გამოყოფს ჟანგბადს გაცილებით უფრო ვიწრო ინტერვალებში, რაც თითქმის მუდმივად უზრუნველყოფს ჟანგბადის არსებობას სისტემაში.

ჰემოგლობინის მოლეკულის მიერ ჟანგბადის ოთხი მოლეკულის თანამიმდევრული მიერთება გამოსახულია შემდეგი წონასწორობით:



ჟანგბადის თანმიმდევრული მიერთება ჰემოგლობინთან წარმოადგენს კოოპერატიულ ეფექტს, რომელიც განპირობებულია ჰემოგლობინის პეპტიდური ჯაჭვის სივრცითი სტრუქტურის ცვლილებებით. ამ მოვლენას უწოდებენ ალოსტერულ ეფექტს; მსგავსი ეფექტები შემინულია ფერმენტებშიც.

## კოლოიდური ქიმია

კოლოიდური ქიმია არის მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის მაღალდისპერსიულ ჰეტეროგენულ სისტემებს და მათში მიმდინარე პროცესებს.

მაღალდისპერსიული კოლოიდური სისტემები შედგება მინიმუმ ორი ფაზისგან. ერთ-ერთი მათგანი არის უწყვეტი და მას სადისპერსიო არე ეწოდება. მეორე ფაზა დაწილადებულია და განაწილებულია პირველში. მას დისპერსიული ფაზა ეწოდება.

ზედაპირული მოვლენები ის პროცესებია, რომლებიც მიმდინარეობს ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე.

გამყოფი ზედაპირი ის შრეა, რომელიც ერთ ფაზას მეორისგან გამოჰყოფს.

დისპერსიული სისტემებისათვის დამახასიათებელია დისპერსიულობა და ჰეტეროგენულობა.

დისპერსიულობის (დაწილადების) საზომად შემოღებულია დისპერსიულობის ხარისხის ცნება  $D = 1/a$ , რომელიც ნაწილაკის ზომის  $a$ -ს შებრუნებული სიდიდეა.

კოლოიდურ სისტემებს გამყოფ ზედაპირზე გააჩნია ჭარბი თავისუფალი ენერგია, რომელიც ტოლია:

$$G = \sigma S,$$

სადაც  $S$  – ზედაპირის ფართობია,  $\sigma$  – ზედაპირული დაჭიმულობა.

გამყოფი საზღვრის კონტურის სიგრძის ერთეულზე მოქმედ ძალას, რომელიც განაპირობებს ზედაპირის შემცირებას, ეწოდება ზედაპირული დაჭიმულობა. ფაქტობრივად ეს არის ზედაპირული ფართის ერთეულის ჭარბი თავისუფალი ენერგია. მისი განზომილებაა ერგი/სმ<sup>2</sup>, დინი/სმ.

## დისპერსიული სისტემების კლასიფიკაცია

კინეტიკური თვისებების მიხედვით დისპერსიული სისტემა არის ორი სახის: ა. თავისუფალ-დისპერსიული სისტემები, რომელშიც დისპერსიული ფაზის ნაწილები არ არიან ერთმანეთთან დაკავშირებული და გადაადგილდებიან თავისუფლად (სუსპენზიები, ემულსიები, ზოლები) და ბ. ბმული დისპერსიული სისტემები, რომლებშიც ფაზა ვერ გადაადგილდება თავისუფლად, რადგან სტრუქტურულად არის დამაგრებული (ფოროვანი სტრუქტურები – დიაფრაგმები, ქაფები, მყარი ხსნარები).

თავის მხრივ თავისუფალ-დისპერსიული სისტემები იყოფა ფაზის ნაწილაკთა ზომის მიხედვით.

სისტემა	ნაწილაკის ზომა	მაგალითი
მოლეკულური ან იონური დისპერსიული, ჰომოგენური სისტემა	$10^{-8} - 10^{-10}$ სმ	ჭეშმარიტი ხსნარები
კოლოიდურ-დისპერსიული სისტემები, ანუ ზოლები, ულტრამიკრო-ჰეტეროგენული სისტემა	$10^{-7} - 10^{-5}$ სმ	ნერვები, კუნთები, გრიპის ვირუსი $1.10^{-5}$ სმ ქრომოსომები $3.10^{-5}$ სმ ჰემოგლობინი $3,5.10^{-7}$ სმ
მიკროჰეტეროგენული სისტემა	$10^{-5} - 10^{-3}$ სმ	სუსპენზიები, ემულსიები, ერითროციტები $7.10^{-4}$ სმ ნაწლავის ჩხირი $10^{-4}$ სმ
უხემდისპერსიული სისტემა	$10^{-3}$ სმ და მეტი	ქვიშა, წყალი

კოლოიდური სისტემები გვხვდება ზოლების და გელების სახით.

2. აგრეგატული მდგომარეობის მიხედვით არსებობს დისპერსიული სისტემების 8 ტიპი.

3. ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე ფაზის ნაწილაკებსა და დისპერ-

ვითხოვთშეღმ აფქფ	ვითხოვთშეღმ ფკუ	ფტში-	თითუქუით ქეჰდშიუ
მყარი	მყარი	მ/მ	მინერალები, შენადნობები
თხევადი	მყარი	თ/მ	ნიადაგი, გრუნტი
აირადი	მყარი	ა/მ	მარგალიტი პემზა, პური, აღსორბენტები
მყარი	თხევადი	მ/თ	სუსპენზიები, პასტები
თხევადი	თხევადი	თ/თ	ემულსია, რძე
აირადი	თხევადი	ა/თ	ქაფი
მყარი	აირადი	მ/ა	მტვერი, ფხვნილები, ნისლი, ღრუბელი,
თხევადი	აირადი	თ/ა	თხევადი წამლების აეროზოლები
აირადი	აირადი	ა/ა	კოლოიდური სისტემა არ წარმოიქმნება

ცოცხალ ორგანიზმში მიმდინარე ბიოლოგიურ პროცესებში დიფუზიის სიჩქარეს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. საკმაოდ ბევრი ფიზიკურქიმიური პროცესის სიჩქარე დამოკიდებულია მორეაგირე ნივთიერების დიფუზიის სიჩქარეზე, ე.ი. ნელლეულის მიწოდების სიჩქარეზე.

ნარკოზის მიღების დროს ეთერი დიფუნდირდება ქსოვილში, სადაც მას ზვდება ცხიმები და ცილები. მაგრამ, რადგან ეთერი ცხიმში უკეთესად იხსნება, იგი დიფუნდირდება ცხიმში.

კოლოიდური ხსნარების ოსმოსური წნევა ძალზე მცირეა, რადგან კოლოიდურ ხსნარებს, ჰემოარიტტის ხსნარებისაგან განსხვავებით, ახასიათებს სადისპერსიო ფაზის დაბალი კონცენტრაცია.

სული არეს მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედების ხასიათის მიხედვით, დისპერსიული სისტემები შეიძლება დავეყოთ – ლიოფილურ და ლიოფობურ სისტემებად. სისტემა ლიოფილურია, თუ ნაწილაკებსა და არეს შორის საკმაოდ ძლიერი ურთიერთქმედებაა (მაგ., ლიმფა, სისხლი). სისტემა ლიოფილურია, თუ ურთიერთქმედება სუსტია (მაგ., დაქუცმაცებული ოქრო ან სილა წყალში).

## **კოლოიდური სისტემების მოლეკულურ-კინეტიკური თვისებები**

ჭეშმარიტი ხსნარების მსგავსად, კოლოიდური ხსნარებისათვის დამახასიათებელია დიფუზია, ოსმოსური წნევა და ნაწილაკების სითბური მოძრაობით გამოწვეული ბროუნის მოძრაობა.

1827 წელს ინგლისელი ბოტანიკოსი რობერტ ბროუნი მიკროსკოპში აკვირდებოდა წყალში შეწონილი მცენარის მტკრის ნაწილაკებს და შეამჩნია, რომ ისინი იმყოფებიან განუწყვეტელ, უწესრიგო მოძრაობაში. ამავე დროს, ეს მოძრაობა, რომელსაც ბროუნის მოძრაობა ეწოდება, არ არის დამოკიდებული ნივთიერების ბუნებაზე. იგი დამოკიდებულია ნაწილაკის ზომაზე და სისტემის ტემპერატურასა და სიბლანტეზე.

სითბური და ბროუნის მოძრაობის საშუალებით ხდება ნაწილაკთა კონცენტრაციის გათანაბრება ხსნარის მთელ მოცულობაში. ამ პროცესს დიფუზია ეწოდება. დიფუზიის მამოძრავებელი ძალა არის სხვაობა კონცენტრაციებს, წნევებს ან სხვა პარამეტრებს შორის.

ზემოთ აღნიშნული იყო, რომ ბროუნის მოძრაობა დამოკიდებულია სიბლანტეზე. თავის მხრივ სიბლანტე არის ზახუნის ძალა, რომელიც წარმოიქმნება სითხის ფენის გადაადგილების დროს. განზომილებაა პუაზი და სანტი პუაზი.

დიფუზიის მოვლენა დიდ როლს ასრულებს საკვები ნივთიერებების გადაადგილების დროს ქსოვილთა სითხეებში.

ჭემპარიტ და ასევე კოლოიდურ ხსნარებში ოსმოსური წნევა გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაციის პირდაპირპროპორციულია, მულმივი ტემპერატურის (T) დროს  $p = CRT$ , სადაც C – მოლური კონცენტრაციაა, მოლ/ლ.

## ადსორბცია

ადსორბცია არის მოვლენა, რომლის დროსაც ხდება ერთი ნივთიერების დაგროვება მეორე ნივთიერების ზედაპირზე.

ნივთიერებას, რომლის ზედაპირზეც ხდება ადსორბცია, ადსორბენტი ეწოდება. ადსორბენტი შეიძლება იყოს მყარი ან თხევადი. მაგალითად, მეტეორიზმის დროს ნაწლავებში ხდება გაზების დაგროვება. ამ შემთხვევაში ავადმყოფს აძლევენ გააქტივებულ ნახშირს – კარბოლენს, რომელზეც ხორციელდება გაზების ადსორბცია.

ნივთიერებას, რომლის ადსორბციაც ხდება, ადსორბტივი ეწოდება. ადსორბტივი შეიძლება იყოს აირად ან თხევად მდგომარეობაში. ე.ი. ადსორბტივი ადსორბირდება ადსორბენტის ზედაპირზე.

ადსორბციის შებრუნებულ პროცესს – ნივთიერების გადასვლას ზედაპირული შრიდან მოცულობით ფაზაში, დესორბცია ეწოდება.

ადსორბციის დროს შეიძლება მოხდეს ქიმიური ურთიერთქმედება ადსორბენტსა და ადსორბტივს შორის; ასეთ ადსორბციას ქემოსორბცია ეწოდება.

აღსანიშნავია ზედაპირული დაჭიმულობის მოვლენა. ნივთიერებებს, რომლებიც ამცირებენ სუფთა სითხეების ზედაპირულ დაჭიმულობას, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები ეწოდება. ცოცხალ ორგანიზმში შემავალი ზედაპირულად აქტიური თვისებების მქონე ნივთიერებები მონაწილეობენ მრავალ ფიზიოლოგიურ პროცესში. მაგალითად, ცხიმების ათვისების პროცესზე გავლენას ახდენს დაბალი ზედაპირული დაჭიმულობის მქონე ნალვლის მჟავას მარილები.

ადამიანის ორგანიზმს ახასიათებს შერჩევით ადსორბციის უნარი:

მაგალითად, ტოქსინები, რომლებიც იწვევს ტეტანუსს და ბოტულიზმს, პირველ რიგში აზიანებს ცენტრალური ნერვული სისტემის უჯრედებს, ხოლო ტოქსინები, რომლებიც იწვევს დიზენტერიას – ვეგეტატიურ ნერვულ სისტემას. ტიფის დროს ძირითადად ზიანდება კანისა და ტვინის სისხლძარღვოვანი სისტემა.

იმუნური ცილები (ანტისხეულები) ურთიერთქმედებენ მხოლოდ განსაზღვრულ, მათთვის საჭირო უცხო ცილებთან (ანტიგენებთან).

ციანიდების მცირე დოზით შეყვანა ორგანიზმში იწვევს სიკვდილს რამდენიმე წამში, სასუნთქი ფერმენტების ბლოკადის გამო.

ადსორბციული თერაპია დამყარებულია ორგანიზმში ადსორბენ-ტის შეყვანაზე.

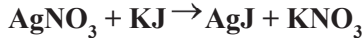
## **კოლოიდური ნაწილაკების აღნაგობა**

ორგანიზმის ცხოველმყოფელობაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება კოლოიდურ სისტემებს – ზოლებს.

ზოლების მიღებისათვის დაცული უნდა იყოს ორი პირობა: ნაწილაკის უხსნადობა (ან მცირედ ხსნადობა) მოცემულ სადისპერსიო არეში და სტაბილიზატორის თანაობა, რომელიც ზოლს მდგრადობას მიანიჭებს. ზოლების აგრეგატული უმდგრადობა განპირობებულია ზედაპირული ენერჯის მისწრაფებით შემცირებისაკენ, რომელიც თავისთავად მიმდინარეობს. ამ დროს ხდება ნაწილაკების გამსხვილება. სტაბილიზატორის დანიშნულებაა, წარმოქმნას ნაწილაკების ზედაპირზე ორმაგი ელექტრული შრე და მიანიჭოს მათ ერთნაირი ნიშნის მუხტი, რაც უზრუნველყოფს მათი განზიდვის პროცესს. სტაბილიზატორის როლი შეიძლება შეასრულოს ქიმიური რეაქციის ერთ-ერთმა რეაგენტმა ან გარედან შეყვანილმა ნივთიერებამ – ელექტროლიტმა.

ამგვარად, კოლოიდური სისტემის კინეტიკურ და სტრუქტურულ ერთეულს წარმოადგენს არა მოლეკულა, ატომი ან იონი, არამედ რთული კომპლექსი, რომელიც შედგება მოლეკულების ან ატომებისაგან

და იონებისაგან. განვიხილოთ AgJ მიცელის წარმოქმნა მიმოცვლის რეაქციით AgNO<sub>3</sub>-ის სიჭარბის შემთხვევაში:



m რაოდენობა AgJ-ის მოლეკულების ერთობლიობა წარმოქმნის აგრეგატს: **m AgJ**.

აგრეგატის ზედაპირზე აღსორბირდება ელექტროლიტის ის იონი, რომელიც შედის აგრეგატის მოლეკულაში (რომელიც ჭარბია) და რომლის რადიუსი თანაზომადია აგრეგატში შემავალი ერთ-ერთი ატომის რადიუსისა და მისი აღსორბციით გრძელდება აგრეგატის კრისტალის დაშენება. ე.ი. Ag<sup>+</sup>-ის იონი n რაოდენობით n << m. ამ იონებს პოტენციალგანმსაზღვრელი იონები ეწოდება. Ag<sup>+</sup> პოტენციალგანმსაზღვრელი იონები და აგრეგატი (წარმოქმნიან ბირთვის, რომელსაც ამ შემთხვევაში დადებითი მუხტი გააჩნია: **(AgJ) m x nAg<sup>+</sup>** ბირთვი. დადებითად დამუხტული ბირთვი ელექტროსტატიკურად მიიზიდავს იმავე n რაოდენობის NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-ის უარყოფით იონებს, რომელსაც საპირისპირო იონები ეწოდება.

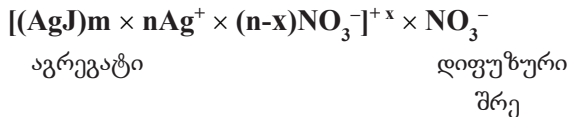
ამ იონების (n-x) რაოდენობა ელექტროსტატიკური ძალების მოქმედებით მიიზიდება უშუალოდ ბირთვთან და წარმოიქმნება ორმაგი ელექტრული შრე.

ბირთვს ორმაგ ელექტრულ შრესთან ერთად ნაწილაკი ეწოდება:

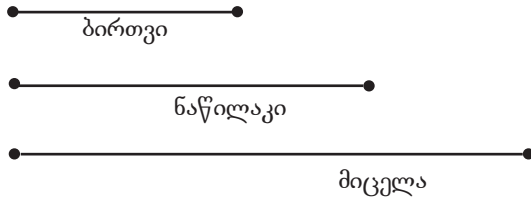
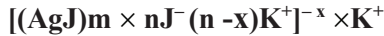


ნაწილაკი დამუხტულია დადებითად +X. დანარჩენი X რაოდენობა საპირისპირო NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-ის იონები თბური მოძრაობის ძალების მოქმედებით განლაგდებიან ბირთვიდან მოშორებით ე.წ. დიფუზურ შრეში: XNO<sub>3</sub><sup>-</sup> ვშაგჭგკმ 0კუ.

ნაწილაკს დიფუზურ შრესთან ერთად მიცელა ეწოდება. მიცელა ელექტრონეიტრალურია.



თუ ჭარბად აღებულია KJ, მაშინ ნაწილაკი დამუხტულია უარყოფითად.



### კოლოიდური ხსნარები

ქიმიური ანალიზის პრაქტიკაში ხშირია შემთხვევა, როდესაც რეაქციის შედეგად მიღებული ძნელად ხსნადი ნაერთი კოლოიდურ მდგომარეობაში გადადის და ამიტომაც არასრულად ილექება. ანალიზის პროცესში კოლოიდური ხსნარების წარმოქმნა მეტწილად უარყოფით როლს ასრულებს, ვინაიდან მრავალი ქიმიური ოპერაციის (დალექვა, გაფილტვრა, ნალექების ჩამორეცხვა) ბოლომდე მიყვანა რთულდება.

დისპერსიულ სისტემებს, რომლებშიც დისპერსიული ფაზის ნაწილაკების ზომა 100-დან 1 მკ-მდე ფარგლებშია, კოლოიდური ხსნარები ან ზოლები ეწოდება.

კოლოიდური სისტემებიდან ანალიზური ქიმიისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ჰიდროზოლებს, ე.ი. კოლოიდურ წყალხსნარებს.

კოლოიდური ხსნარების ნაწილაკების დანახვა შეიძლება ულტრაამიკროსკოპით, აგრეთვე კარგად შეისწავლება ელექტრონული მიკროსკოპის საშუალებით. კოლოიდური ხსნარები მიკროჰეტეროგენული სისტემებია. ერთი და იგივე ზოლის კოლოიდურ ნაწილაკს – გრანულას აქვს ერთსახელიანი ელექტრონული მუხტი. სწორედ

ეს ერთსახელიანი მუხტები აფერხებს გრანულების შეჯახებას და, მით უფრო, მათ მსხვილ აგრეგატებად გაერთიანებას. კოლოიდური ნაწილაკების ზედაპირზე მუხტები წარმოიქმნება ხსნარში არსებული კათიონების ან ანიონების ადსორბციის (ზედაპირული შთანთქმის) ხარჯზე. ზოგიერთი კოლოიდური სისტემის თითოეული ნაწილაკი დადებითადაა დამუხტული, ხოლო ზოგიერთისა – უარყოფითად.

კოლოიდური ნაწილაკების აღნაგობა, რომელთა სტაბილურობა იონური შრეების არსებობით არის განპირობებული (ე.წ. ჰიდროფობური ზოლები), შემდეგნაირად წარმოგვიდგება: კოლოიდური ნაწილაკი შეიცავს უხსნად ბირთვს, რომლის ზედაპირზე ადსორბირებულია მისთვის მუხტის მიმნიჭებელი მასტაბილიზებელი იონები. მათ პოტენციალგანმსაზღვრელი იონები ეწოდება. საწინააღმდეგო ნიშნის მქონე იონების მეორე შრე განლაგებულია ხსნარში ნაწილაკების გარშემო. მათ დიფუზიური აღნაგობა აქვთ და წინადიონები ეწოდება. ბირთვი, გრანულისგან განსხვავებით, მის გარშემო არსებულ ორმაგ ელექტრულ შრესთან ერთად ელექტრონეიტრალური ნაწილაკია, რომელსაც მიცელა ეწოდება.

არაორგანულ კოლოიდურ სისტემებს შორის ისეთებიც გვხვდება, რომელთა სტაბილურობა განისაზღვრება არა იონების ადსორბციით, არამედ ზედაპირული ჰიდრატაციით, ე.ი. წყლის აბსორბციით. ასეთ კოლოიდებს ჰიდროფილური ეწოდება. ჰიდროფილურ ზოლებს წარმოქმნის სილიციუმჟავა ( $H_2SiO_3$ ), ალუმინის ჰიდროქსიდი  $[Al(OH)_3]$  და სხვა.

ჰიდროფილური ზოლები შეიძლება უფრო მსხვილ ნაწილაკებად გარდაქმნათ. კოლოიდური ნაწილაკების გამსხვილების პროცესს, რომელიც ნივთიერების ნაღვეში გადასვლით სრულდება, კოაგულაცია ეწოდება. წყალხსნარის კოაგულაცია შეიძლება გამოვიწვიოთ მასზე მცირე რაოდენობით რომელიმე ელექტროლიტის მიმატებით, რასაც ნაწილაკების მუხტების საპირისპირო ნიშნით დამუხტული იონები ახდენს.

ჰიდროფილური კოლოიდები კოაგულაციას განიცდის ელექტრო-

ლიტების ან რომელიმე მაჰიდრატირებელი (მაგ. სპირტის) გამხსნელის დამატებით.

კოლოიდური ხსნარები წარმოიქმნება არა მარტო ნალექის მიღების დროს, არამედ მათი ჩარეცხვის დროსაც. ჩვეულებრივ, ამას ადგილი აქვს ჩარეცხვის ბოლოს, როდესაც ნალექში რჩება მაკოაგულირებელი იონების უმნიშვნელო რაოდენობა. ამის გამო ხდება ორმაგი ელექტრული შრის სისქის გადიდება და ნაწილაკის ზოლში გადასვლა. კოლოიდური ნაწილაკის ნალექიდან ზოლში გადასვლას პეპტიზაცია ეწოდება. პეპტიზაციის თავიდან ასაცილებლად ზოგჯერ ნალექს ჩარეცხვენ არა სუფთა წყლით, არამედ ელექტროლიტების ხსნარებით.

დისპერსიული ეწოდება ისეთ სისტემას, რომელშიც ნივთიერება დაქუცმაცებულ მდგომარეობაშია და თანაბრად არის განაწილებული გარემოში.

სისტემის კომპონენტები. დაქუცმაცების (დანაწილების) ხარისხი  $D$  არის მნიშვნელოვანი პარამეტრი სისტემების ფიზიკურ-ქიმიური კლასიფიკაციისათვის და განისაზღვრება, როგორც დისპერსიული ნაწილაკის დიამეტრის შებრუნებული სიდიდე  $D=1/a$ .

ნაწილაკთა (მოლეკულებისა და იონების) ზომა, რომლებიც წარმოქმნიან ჭეშმარიტ ხსნარებს,  $10^{-10} - 10^{-9}$  გ ტოლია და მათი ზომები თანაზომადია გამხსნელის მოლეკულების ზომებთან. ამიტომაც, რომ გამხსნელსა და გახსნილ ნივთიერებას შორის არ არის გამყოფი ზედაპირი და სისტემა არის ჰომოგენური. თერმოდინამიკურად მდგრად ჭეშმარიტ ხსნარებზე დისპერსიის ცნება არ ვრცელდება.

სისტემაში, სადაც ნაწილაკთა დისპერსიულობის ხარისხია  $10^{-9} - 10^{-7}$  გ, მიეკუთვნება კოლოიდურ-დისპერსიულს. ასეთ სისტემებში კინეტიკური და სტრუქტურული ერთეულებია არა მოლეკულები და იონები, არამედ უფრო მაღალი რიგის კოლოიდური ნაწილაკები, რომლებიც შედგებიან ასობით ათასობით მოლეკულისა და იონისაგან.

ნაწილაკთა ზომის გაზრდით შესაბამისი სისტემები იძენს ახალ

თვისებას. კოლოიდურ-დისპერსიული სისტემები ჰეტეროგენული თერმოდინამიკური სისტემებია, რადგანაც ნაწილაკებსა და არეს შორის არის გამყოფი ზედაპირი, რომელიც ხასიათდება ჭარბი ზედაპირული ენერგიით. ამ სისტემებისათვის დამახასიათებელია თავისთავად მიმდინარე პროცესები, რის ხარჯზეც მცირდება ჭარბი ზედაპირული ენერგია დისპერსიულობის ხარისხის შემცირებით. ამ დისპერსიულ სისტემებს უწოდეს კოლოიდები (ბერძნულად „კოლა“ – წებოა). ისინი ჭეშმარიტი ხსნარებისაგან განსხვავდებიან მრავალფაზიანობით, ჰეტეროგენულობით. ყოველი ნივთიერება შეიძლება არსებობდეს როგორც კოლოიდურ, ისე კრისტალურ მდგომარეობაში.

რუსმა მეცნიერმა ვეიმერმა ფართო ექსპერიმენტული გამოკვლევებით ჩამოაყალიბა შემდეგი მოსაზრება, რომ შეიძლება ვილაპარაკოთ მხოლოდ ნივთიერებათა კოლოიდური მდგომარეობის შესახებ და არა კოლოიდების, როგორც გარკვეულ ნაერთთა კლასის შესახებ.

რეალური სამყარო – მცენარეული და ცხოველური ორგანიზმები, არაცოცხალი ბუნების მრავალი ობიექტი, კვების პროდუქტები, საშენი მასალები და ა.შ. სხვადასხვა ხარისხის ორგანიზებულიობის მქონე დისპერსიული სისტემებია. ამ სისტემების თავისებურების შესწავლა არის სწორედ სიცოცხლის შეცნობის საშუალება. კუნთოვანი და ნერვული უჯრედები, ბოჭკოები, გენები, ვირუსები – კოლოიდური წარმონაქმნებია. სამედიცინო-ბიოლოგიური კომპლექსური პრობლემები, რომლებიც დღეისთვის ბუნებისმცოდნეობაში დომინირებს, მაგალითად, უჯრედის მოდელი, ბიოლოგიური მემბრანის, ნერვული ბოჭკოს მოდელი და სხვა, შეიძლება აიხსნას დისპერსიული სისტემების ფიზიკურ-ქიმიურ კანონზომიერებათა საფუძველზე.

ისევე, როგორც ქიმიის სხვა დარგებში, დისპერსიულ სისტემათა ქიმიაშიც გვაქვს რამდენიმე კლასიფიკაცია, რომლებიც ემყარება სხვადასხვა ნიშნებს. როგორც ითქვა, დისპერსიული სისტემები ჰეტეროგენულია, ანუ შედგება ორი ან რამდენიმე ფაზისაგან, სადაც არჩევან დისპერსიულ ფაზას – დისპერსიულ ნივთიერებას (ფაზა შეიძლება იყოს რამდენიმე) და სადისპერსიო არეს.

დისპერსიულობის ხარისხის მიხედვით, დისპერსიული ფაზის ნაწილაკთა ზომა საშუალებას გვაძლევს სისტემები დავყოთ უხეშ, საშუალო და მაღალდისპერსიულ სიტემებად.

უხეშდისპერსიული სისტემები (სუსპენზიები, ემულსიები)  $10^{-6}$  გ და მეტი.

საშუალო დისპერსიული სისტემები (კვამლი)  $10^{-6}$ - $10^{-7}$  გ.

მაღალდისპერსიული სისტემები (კოლოიდური ხსნარები)  $10^{-7}$ - $10^{-9}$  გ.

კოლოიდური თვისებებით ხასიათდება იზოლირებული უჯრედები და ზედაპირული ფენა ფაზათა საზღვარზე და კატალიზატორის ფორმებში, ემულსიებში და სხვა.

მაღალდისპერსიულ სისტემებს მიეკუთვნება ერთგანზომილებიანი (ფიბრილარული) სტრუქტურები: სინთეზური და ბუნებრივი ბოჭკოები, ნერვები, კუნთები და სხვა. ამ სისტემებში ნაწილაკთა ზომები სხვადასხვა მიმართულებით ერთმანეთისგან განსხვავებულია რამდენიმე რიგით.

ფაზათა შორის ურთიერთქმედების მიხედვით დისპერსიულ ფაზასა და დისპერსიულ არეს შორის ურთიერთქმედება ყოველთვის არსებობს, მაგრამ ისინი განსხვავდება ერთმანეთისგან თავისი გამოვლინების ხარისხით. ურთიერთქმედების ხარისხის მიხედვით სისტემები იყოფა ლიოფილურად (ჰიდროფილური) და ლიოფობურად (ჰიდროფობური)

კოლოიდურ სისტემებს მიეკუთვნება მრავალი მაღალმოლეკულური ნივთიერების ხსნარი. მაგალითად, მრავალი ცილისა და ნუკლეინის მჟავას წყალხსნარები მიეკუთვნება ჰიდროფილურ დისპერსიულ სისტემებს. ხოლო კეთილშობილი ლითონების წყალხსნარები მიეკუთვნება ჰიდროფობურ სისტემებს, რადგან დისპერსიული ფაზის ნაწილაკთა სწრაფვა წყლის მოლეკულებისადმი მცირეა.

**სუსპენზიები და მოლეკულური კოლოიდები.** დისპერსიული სისტემების კლასიფიკაციაში განსაკუთრებული ადგილი უკავია მაღალმოლეკულურ ნაერთთა (მმნ) ხსნარებს. ხშირ შემთხვევაში მათ მიაკუთვნებენ ჭეშმარიტ ხსნარებს, რადგან ისინი ჰომოგენური და შექცევადებია. თუმცა, მაკრომოლეკულათა ზომები იმდენად დიდია, რომ შეესაბამება კოლოიდური ნაწილაკების ზომებს, ამასთან დაკავშირებით

ისინი ავლენენ დისპერსიული სისტემებისათვის დამახასიათებელ მრავალ თვისებას. ესენია: დიფუზიის მცირე სიჩქარე, დამახასიათებელი ოპტიკური და ელექტროკინეტიკური თვისებები, სტრუქტურების წარმოქმნა და სხვა.

რადგან მძნ ხსნარებს ახასიათებს როგორც ჭეშმარიტი ხსნარების, ისე კოლოიდური სისტემების თვისებები, მათ ეწოდა მაღალმოლეკულური კოლოიდები.

ამრიგად, ყველა დისპერსიული სისტემა შეიძლება დავყოთ ორ კლასად: სუსპენზიებად და მოლეკულურ კოლოიდებად.

სუსპენზიები არის მაღალდისპერსიული ჰეტეროგენული სისტემები, არამდგრადები და არაშექცევადები. მათი ნაწილაკები შედგება ატომების ან მოლეკულების აგრეგატებისაგან, რომლებიც გამოყოფილია დისპერსიული არედან გამყოფი ზედაპირით.

მოლეკულური კოლოიდები – ჰომოგენური, ერთფაზიანი, მდგრადი და შექცევადი სისტემებია, რომლებიც ცალკეული სოლვატირებული მაკრომოლეკულებია. მაკრომოლეკულების ზომები ერთ განზომილებაში მანც ეთანხმება კოლოიდური დისპერსიულობის ხარისხს.

აღნიშნული ორი კლასისათვის დამახასიათებელია უწყვეტი გადასვლა ერთი კლასიდან მეორე კლასში.

**კოლოიდური ხსნარების მიღება.** მაღალმოლეკულური კოლოიდური სისტემები მიიღება ორი მეთოდით: 1) დისპერსიული და 2) კონდენსაციური გზით.

მდგრადი კოლოიდური ხსნარების მისაღებად საჭიროა შემდეგი პირობები:

- 1) ორი კომპონენტის არსებობა, რომლებიც ერთმანეთში ცუდად იხსნება;
- 2) ნაწილაკთა კოლოიდური ხარისხის მიღწევა ( $10^{-7}$ - $10^{-9}$  გ);
- 3) სტაბილიზატორების არსებობა, რომლებიც სისტემას გარკვეულ მდგრადობას აძლევს.

კოლოიდური ხსნარების მისაღებად იყენებენ ნებისმიერ ქიმიურ

რეაქციას, რომელთა შედეგადაც წარმოიქმნება ძნელად ხსნადი ნივთიერება (ჰიდროლიზის, ალდენის, დაჟანგვის, მიმოცვლის რეაქციები და სხვა).

**მაღალმოლეკულურ ნაერთთა (მმნ) ხსნარების თვისებები.**

მმნ ეწოდება ისეთ ნივთიერებებს, რომელთა მოლეკური მასა  $10^4$ - $10^6$  რიგისაა. მაკრომოლეკულური ნაერთი აგებულია ძალიან დიდი რიცხვის განმეორებადი რგოლებისაგან (ფრაგმენტებისაგან).

მათი თვისებები დამოკიდებულია არა მარტო ქიმიურ შედგენილობაზე, არამედ მათ აგებულებაზეც. არჩევენ სამი სახის პოლიმერს: ბუნებრივს, ხელოვნურსა და სინთეზურს.

ბუნებრივ პოლიმერებს მიეკუთვნება ნუკლეინის მჟავები, პოლისაქარიდები და კაუჩუკი.

სინთეზურ პოლიმერებს მიაკუთვნებენ ისეთ პოლიმერებს, რომლებიც მიიღება სინთეზის გზით დაბალმოლეკულური მასის მქონე ნივთიერებისაგან (კაპრონი, ნეილონი, პოლიეთილენი).

ხელოვნური მაღალმოლეკულური ნივთიერებები მიიღება ბუნებრივი მმნ ქიმიური დამუშავების გზით. უმეტეს შემთხვევაში ეს არის ცელულოზის წარმოებულები.

მაკრომოლეკულის ფორმის მიხედვით პოლიმერები იყოფა ხაზოვან, განშტოებულ და ბადისებრ პოლიმერებად.

დღეს სინთეზურ მასალებს დიდი გამოყენება აქვს მედიცინაში. კლინიკურ პრაქტიკაში მათ იყენებენ დაზიანებული ქსოვილის, ძვლის, სისხლძარღვების შესაცვლელად. ნახევრად შეღწევადი მემბრანის სახით იყენებენ ხელოვნური თირკმლის, ხელოვნური გულის, ლვიძლისა და მრავალი სხვა ორგანოს შესაქმნელად. დიდი მიღწევებია სისხლის პლაზმის შემცვლელი პოლიმერული ნივთიერების მიღების საქმეში.

ბიოლოგიური მაკრომოლეკულები, პოლისაქარიდები გლუკოზისა და სხვა მარტივი ნახშირწყლების პოლიმერებია. პოლისაქარიდები ასრულებენ მნიშვნელოვან სტრუქტურულ ფუნქციას, ისინი შედიან ბაქტერიული და მცენარეული უჯრედის კედლის შედგენილობაში.

ასევე ასრულებენ საკვები ნივთიერების როლს.

ერთ-ერთი სამარაგო პოლისაქარიდია სახამებელი. სახამებლის მარცვალს აქვს მკაცრად განსაზღვრული სტრუქტურა. მეორე სამარაგო პოლისაქარიდია გლიკოგენი, რომლის მოლური მასაა  $5 \cdot 10^6$ . გლიკოგენი კარგად იხსნება წყალში. ქიმიური პროცესის „ეკოლოგიაში“ ორგანიზმები შეეგუენ საკვები ნივთიერების მარაგის დალექვას გლიკოგენისა და სახამებლის სახით.

ფართოდ არის გავრცელებული პოლისაქარიდი ცელულოზა. იგი წარმოქმნის გრძელ ბოჭკოებს, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია წყალბადური ბმებით და ამიტომ ცელულოზა არ იხსნება წყალში.

**ნუკლეინის მჟავები** ხაზოვანი პოლიმერებია ძალიან დიდი მოლური მასით: რნმ (რიბონუკლეინის მჟავა), დნმ (დეზოქსირიბონუკლეინის მჟავა). მათი პოლიმერული ჯაჭვები შედგება აზოტის ფუძეების, ნახშირწყალბადისა და ფოსფატებისაგან.

ნუკლეინის მჟავები პოლიმერების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კლასია. ისინი მემკვიდრეობითობის ინფორმაციის წყარო და მთელი ორგანიზმის განვითარების განმსაზღვრელია. გამოკვლევები ნუკლეინის მჟავების სფეროში საშუალებას იძლევა გავშიფროთ მათი მოქმედების მოლეკულური მექანიზმი ცოცხალ უჯრედში, რაც ძალიან დიდ დახმარებას გაუწევს მედიცინას მემკვიდრეობით დაავადებებთან ბრძოლის საქმეში.

**ცილები.** ყველა ცილა აგებულია 20 სხვადასხვა α-ამინომჟავას ერთობლიობით. ცილის შედგენილობაში შეიძლება შედიოდეს რამდენიმე ასეული ამინომჟავას ნაშთი. ადამიანის ორგანიზმი შეიცავს 5 000 000-მდე სხვადასხვა სახის ცილას. მათ ახასიათებს რთული სივრცობრივი სტრუქტურა. მისი აღწერისათვის სარგებლობენ მეორეული, მესამეული და მეოთხეული სტრუქტურების ცნებებით. ცილები ძირითადად იყოფა ორ კლასად: გლობულარულ და ფიბრილარულ ცილებად.

გლობულარული ცილის მაგალითია ჰემოგლობინი. მასში ყოველი პოლიპეპტიდური ჯაჭვი დაკავშირებულია პროსტეთურ ჯგუფთან – ჰემთან.

ფიბრილარული ცილა არის ცილოვანი ნივთიერებების სხვადასხვა სახის ჯგუფი, რომელიც შეიცავს ერთ ან რამდენიმე პოლიპეპტიდურ ჯაჭვს.

**მძნ ხსნადობა და გაჯირჯვება.** ბიოპოლიმერების ხსნარები ჰომოგენური, თერმოდინამიკურად მდგრადი სისტემებია. ამ თვალსაზრისით ისინი შეიძლება შევადაროთ ჭეშმარიტ ხსნარებს. მძნ-ის გახსნა ხშირად თავისთავადი პროცესია გაჯირჯვების სტადიის გავლით. გაჯირჯვების არსი მდგომარეობს შემდეგში: სანამ მძნ გაიხსნება, ჯერ შთანთქავს გამხსნელის (დაბალმოლეკულური ნივთიერების) მოლეკულებს და იზრდება მოცულობით, მასით.

მძნ ხსნარების თანამედროვე თეორია ხსნადობას და გაჯირჯვებას იხილავს, როგორც ორი თხევადი ფაზის შერევის პროცესს.

ორგანიზმის ფიზიოლოგიაში გაჯირჯვების პროცესი დიდ როლს ასრულებს. ორგანიზმის მრავალი კომპონენტი გაჯირჯვების გამო გელის მდგომარეობაშია. ორგანიზმში წყლის ბალანსის რეგულირება ხდება თირკმელებით, ხოლო შემაერთებელი ქსოვილი წყლის მიმოცვლის რეგულატორია სისხლსა და უჯრედს შორის. ეს ქსოვილი არის თავისებური დეპო ორგანიზმში არსებული ჭარბი წყლისათვის. სწორედ მისი საშუალებით ხდება უჯრედსა და ქსოვილებში წყლის შემცველობის მკვეთრი ცვლილებების შესუსტება.

გაჯირჯვების პროცესი ორგანიზმისათვის ვლინდება მრავალი პათოლოგიის დროს (ფილტვის, ტვინის შეშუპება და სხვა).

ალერგიული და ანთებითი დაავადების დროს ხორციელდება ლორწოვანი გარსის გაჯირჯვება. გაჯირჯვების პროცესების ღრმად შესწავლის მიზნით, სრულად უნდა გამოვავლინოთ ბიოპოლიმერის აგებულებასა და გაჯირჯვებას შორის ურთიერთკავშირის კანონზომიერება.

**დენატურაცია.** გარე ფაქტორების მოქმედების დროს მრავალი

ცილა კარგავს თავის სტრუქტურას და თვისებებს. პირველ რიგში იცვლება მათი ხსნადობა და ბიოლოგიური აქტივობა. ამ მოვლენას უწოდებენ დენატურაციას.

დენატურაციის დროს ძირითადად ირღვევა ჰეპტიდური ბმა. სტრუქტურა არაკანონზომიერი ხდება. ცილის დენატურაციის ყველაზე გამოხატული თვისებაა, რომ იგი კარგავს აქტივობას (ფერმენტულს, ანტიგენურს, ჰორმონალურს). შესაძლებელია ცილების საწყისი თვისებების აღდგენა.

გამოკვლევებმა დაადასტურა, რომ ცილათა ხსნარებში ზოგიერთი ნაერთის დამატება ამცირებს დენატურაციის პროცესის ტემპერატურულ ინტერვალს. ალბათ, ეს დაკავშირებულია რეაგენტსა და ცილას შორის აქტიური კომპლექსის წარმოქმნასთან. ასეთი რეაგენტის სახით იყენებენ შარდოვანას, გუანიდინსა და სხვა. ცილების დენატურაციას ფართოდ იყენებენ კვების მრეწველობაში.

**გელებისა და ლაბების თვისებები.** გელი და ლაბა ეწოდება არადენად სტრუქტურულ სისტემებს, რომლებიც წარმოიქმნება მაკრომოლეკულებს შორის ურთიერთქმედებით, როგორც მძნ ხსნარების, ისე კოლოიდური ხსნარების შემთხვევაში

გელი შეიძლება იყოს ბუნებრივი და ხელოვნური (სინთეზური). ორგანული და არაორგანული წარმოშობის ბუნებრივ გელებს მიეკუთვნება ცოცხალი უჯრედის ციტოპლაზმა, კანი, თვალის ბროლი და სხვა.

**ხელოვნური გელები და ლაბები** შეიძლება მოვამზადოთ ჟელატინისაგან, კაუჩუკისაგან და სხვა. სილიციუმჟავას გელი პირობების შესაბამისად წარმოქმნის სხვადასხვა სახის მინერალს.

ლაბები და მათი წარმოქმნა ძალიან დიდ როლს ასრულებს ცხოველთა და მცენარეთა ორგანიზმის განვითარებაში. ცოცხალი ორგანიზმები შედგება წყლის სხვადასხვა რაოდენობის შემცველი ლაბებისაგან. მაგალითად, მელუზის სხეული ცოცხალი ლაბაა, რომელიც დიდი რაოდენობით შეიცავს წყალს (98%-მდე), ხოლო რქოვანი

ქსოვილი შეიცავს წყალს მინიმალური რაოდენობით (მეათედი პროცენტი). ბავშვობის ასაკში ძვლის შემადგენელი ქსოვილი ძალზე ელასტიკურია, რადგან შეიცავს დიდი რაოდენობით გელისებრ კომპოზიციებს. ასაკზე დამოკიდებულებით იზრდება მათში მინერალური მარილების კონცენტრაცია და ზრდის მის სიმეიფეს.

ლაბის წარმოქმნა ხდება სისხლის შედელების დროს, მაგრამ ეს პროცესი დაკავშირებული არ არის დენატურაციასთან. სისხლის შედელების დროს ხსნადი ცილა ფიბრინოგენი გარდაიქმნება უხსნად ფიბრინად. გარდაქმნის ეს პროცესი დაკავშირებულია ფერმენტ თრომბინის მოქმედებასთან.

თავისთავად ფიბრინოგენის მოლეკულებს არ ახასიათებს ლაბის წარმოქმნის უნარი, მაგრამ თრომბის მოქმედებით ხდება ფიბრინოგენის აქტიური ნაწილის აქტივაცია და წარმოიქმნება ფიბრინის ბადე. გელის წარმოქმნა ჰგავს კოლოიდური სისტემების კოაგულაციის პროცესს, მაგრამ მსგავსება მათ შორის გამოიხატება მხოლოდ ზოგი ასპექტით, მაგალითად, ორივე პროცესის შემთხვევაში კოაგულაციის დროს დისპერსიული სისტემა იყოფა ორ ფაზად: დისპერსიულ არედ (სითხე) და დისპერსიულ ფაზად (მყარი). ხოლო გელებისა და ლაბების წარმოქმნის დროს არ ხდება ფაზათა დაყოფა, გამხსნელი მთლიანად რჩება სისტემაში, კონცენტრაცია ლაბის ყველა ნაწილში უცვლელი რჩება.

ლაბის წარმოქმნის პროცესი დამოკიდებულია შემდეგ ფაქტორებზე: მოლეკულის ზომაზე, ფორმასა და ბუნებაზე, დისპერსიული ფაზის კონცენტრაციაზე, ტემპერატურაზე, დროზე, ელექტროლიტების თანაარსებობაზე, ხსნარის pH-ზე და სხვა.

ლაბისა და გელის წარმოქმნაზე დიდ გავლენას ახდენს ტემპერატურა. ლაბის წარმოქმნის პროცესი სუსტდება ტემპერატურის გაზრდით. ლაბისა და გელის გადასვლას მექანიკური მოქმედებით ზოლში ან მძნ ხსნარში, ხოლო შემდგომ იზოთერმულად ისევ ლაბისებრ ან გელში გადასვლას, უწოდებენ ტიქსოტროპიას.

ზოგი პროცესი, რომელიც დაკავშირებულია ლაბის ან გელის დაბერებასთან, შეუქცევი ხდება.

განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს ლაბისა და გელის ორ ფაზად დაყოფის პროცესს, რომელსაც სინერიზის უწოდებენ.

## კოპალუმური ნაერთები

თანამედროვე მედიცინა ამყარებს კავშირს ორგანიზმში ელემენტების შემცველობას, სხვადასხვა დაავადების წარმოშობასა და მათ განვითარებას შორის; სახავს სხვადასხვა სამკურნალო საშუალებების კვლევის და გამოყენების გზებს.

ორგანიზმი განსაკუთრებით მგრძობიარეა მიკროელემენტების კონცენტრაციის ცვლილებებისადმი. მიკროელემენტებს შეადგენენ გარდამავალი ელემენტები, როგორცაა, Cu, Zn, Mn, Co, Fe, Ni. ეს ელემენტები ძირითადად გვხვდება ფერმენტებში კოორდინაციული ნაერთების სახით. მაგალითად, Mn შედის 12 ფერმენტში, Fe – 70-ში, Cu – 40-ში, Zn – 100-ში, Fe – 70-ში Mo და Co – რამდენიმე ფერმენტში. აღნიშნული ელემენტების მოქმედების არსის დადგენა შეიძლება კომპლექსწარმოქმნის მექანიზმის განხილვით, ხოლო სამკურნალო ნივთიერებების ეფექტურობის გაზრდა შეიძლება მათი კომპლექსების მიღებით და შესწავლით სხვადასხვა ლითონებთან (მიკროელემენტებთან).

კოორდინაციული ნაერთების თვისებები და სტრუქტურა განხილულია და ახსნილი შევიცარიელი მეცნიერის ალფრედ ვერნერის მიერ (1893 წ.) ნაშრომში „კოორდინაციული თეორია“. შემდგომ კვლევაში დიდი როლი მიუძღვით რუს მეცნიერებს ჩუგაევს, ჩერნიაევს; საქართველოში პ. გოგორიშვილს.

კოორდინაციული თეორიის ძირითადი დებულებებია: ნებისმიერი კოორდინაციული ნაერთი შედგება იონებისაგან, მათგან ერთ-ერთს უმეტესად დადებითად დამუხტულს უჭირავს ცენტრალური ადგილი და მას უწოდებენ – ცენტრალურ იონს ან კომპლექსწარმოქმნელს. უშუალოდ მის გარშემო კოორდინირებულნი არიან საწინააღმდეგო ნიშნის მქონე იონები ან ნეიტრალური მოლეკულები. მათ უწოდებენ ლიგანდებს ან ადენდებს. სწორედ ისინი წარმოქმნიან შიგა საკოორდინაციო სფეროს. ცენტრალური იონის გარშემო არსებული ლიგანდების რიცხვს ეწოდება კოორდინაციული რიცხვი. ის იონები, რომლებიც

იმყოფებიან შიგა სფეროს გარეთ და შესაბამისად უფრო დიდ მანძილზე ცენტრალური იონიდან, ქმნიან გარე საკოორდინაციო სფეროს.

კომპლექსის შიგა სფეროს ზღვრებს მიუთითებენ კვადრატული ფრჩხილებით. შიგა სფერო გახსნისას გამოირჩევა მეტი სტაბილურობით, ვიდრე გარე სფერო (რომლის იონები ადვილად მოწყდება მოლეკულას). განვიხილოთ მაგალითად კომპლექსური მარილი, რომლის შედგენილობა გამოისახება –  $PtCl_4 \cdot 2KCl$ , მისი კოორდინაციული ფორმულაა:  $K_2[PtCl_6]$ , სადაც შიგა სფერო შედგება: ცენტრალური იონისაგან –  $Pt^{4+}$  და ქლორის  $Cl^-$  იონებისაგან, ხოლო გარე სფერო – კალიუმის ( $K^+$ ) იონებისაგან.

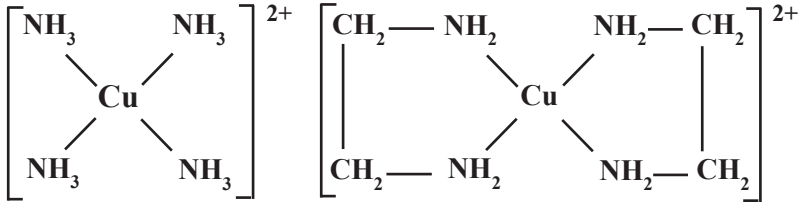
ვერნერის „კოორდინაციული თეორია“ ღღესაც არ კარგავს თავის მნიშვნელობას და წარმოადგენს საფუძველს კომპლექსური ნაერთების შესწავლის დროს. მაგალითად, კომპლექსური ნაერთების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შესწავლის დროს, ვერნერი მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ კოორდინაციული რიცხვი დამოკიდებულია ცენტრალური ატომის ჟანგვის ხარისხზე. მაგალითად, კოორდინაციული რიცხვი 6 დამახასიათებელია კომპლექსებისათვის, სადაც გვაქვს  $Pt^{4+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Co^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ; კოორდინაციული რიცხვი 4 – კომპლექსებში  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Pd^{2+}$ ,  $Pt^{2+}$ ; კოორდინაციული რიცხვი 2 – კომპლექსებში  $Ag^+$ ,  $Cu^+$ .

კოორდინაციულ თეორიაზე დაყრდნობით შეიძლება განისაზღვროს, რომ კომპლექსური ან კოორდინაციული ნაერთები ეწოდება ისეთ ნაერთებს, რომელთა კრისტალური მესრის კვანძებში მოთავსებულია კომპლექსური ნაწილაკები, რომლებსაც დამოუკიდებლად შეუძლიათ არსებობა ხსნარებში. კომპლექსური ნაერთების მოლეკულა შედგება შიგა და გარე საკოორდინაციო სფეროსაგან. შიგა სფეროში მოთავსებულია ცენტრალური ატომი და მის გარშემო ლიგანდები. ლიგანდები შეიძლება იყოს:  $NH_3$ ,  $H_2O$ ,  $NO$ ,  $CO$ ,  $CN^-$ ,  $OH^-$ ,  $NH_2^-$ . კომპლექსწარმომქმნელი ელექტრონთა აქცეპტორია, ხოლო ლიგანდი – დონორი.

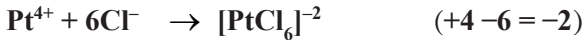
თუ ლიგანდი ერთი ბმით უკავშირდება კომპლექსწარმომქმნელს მას მონოდენტური ეწოდება, თუ ორით – ბიდენტური, ხოლო რამდენიმე ბმის შემთხვევაში ლიგანდი პოლიდენტურია. მაგალითად,

მონოდენტური ლიგანდებია:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{NH}_3$ ; ბიდენტური ლიგანდებია:  $\text{NH}_2 - (\text{CH}_2)_2 - \text{NH}_2$ .

კომპლექსური იონის მუხტი ტოლია მისი შემადგენელი იონების



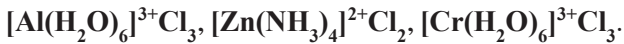
მუხტების ალგებრული ჯამისა:



### კომპლექსების კლასიფიკაცია

ელექტრული მუხტის მიხედვით არჩევენ: კათიონურ, ანიონურ და ნეიტრალურ კომპლექსებს.

კათიონური კომპლექსი წარმოიქმნება ლითონის იონის ირგვლივ უარყოფითი იონების ან ნეიტრალური მოლეკულების კოორდინირებით. მაგალითად,



ანიონურ კომპლექსში კომპლექსწარმომქმნელის როლში გამოდის დადებითად დატვირთული ლითონის იონი, ხოლო ლიგანდის როლში – ანიონები. მაგალითად,

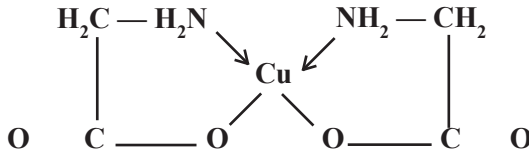


ნეიტრალურ კომპლექსში ცენტრალური ატომის ირგვლივ კოორდინირებული არიან როგორც უარყოფითი, ისე ნეიტრალური ლიგან-



და პლატინა (IV) ეთილენდიამინის კომპლექსი  $[PtEn_3]^{4+}$ .

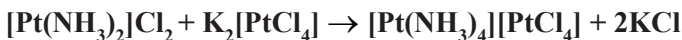
ხელატების ჯგუფს მიაკუთვნებენ აგრეთვე შიდაკომპლექსურ ნაერთებს, რომლებშიც ცენტრალური ატომი შედის ციკლის შემადგენლობაში და ლიგანდებთან წარმოქმნის კოვალენტურ ბმებს (ნების-



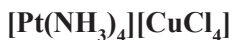
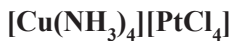
ანალიზურ ქიმიამი უდიდესი გამოყენება აქვს, როგორც გამხსნელებსა და დამარბილებლებს; ხელატური ტიპის ორგანული ლიგანდები წარმოადგენს მეტად მგრძობიარე და სპეციფიკურ რეაგენტებს გარდამავალი ლითონების კათიონებზე. მაგალითად, ლ. ჩუგაევის მიერ გამოყენებულ იქნა დიმეთილგლიოქსიმი, როგორც რეაქტივი  $Ni^{2+}$  და  $Pd^{2+}$  იონებზე.

## იზომერია კოორდინაციულ ნაერთებში

1. **პოლიმერია.** პოლიმერიის მოვლენა იმაში მდგომარეობს, რომ არსებობს ნაერთები, რომელთა მოლეკური მასა იმავე შემადგენლობის უმარტივესი ნაერთის მოლეკური მასის ჯერადაა; მაგალითად, უმარტივეს ფორმულას  $[Pt(NH_3)_2]Cl_2$  შეესაბამება ორი მარილი. მათ შორის უმარტივესს, მონომერს, აქვს მოლეკური მასა, რომელიც ესადაგება მოცემულ ფორმულას. ეს არის ყვითელი, წყალში კარგად ხსნადი მარილი. გაორმაგებული მასის მქონე ნივთიერება მწვანე ფერისაა და წყალში ცუდად იხსნება. მისი ფორმულაა  $[Pt(NH_3)_4][PtCl_4]$ ; იგი მიიღება:



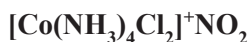
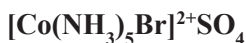
2. **კოორდინაციული იზომერია** – დაკავშირებულია ლიგანდების გადასვლასთან ერთი კომპლექსწარმოქმნელიდან მეორეზე, მაგალითად,



3. **ჰიდრატაციული იზომერია.** იზომერიის ამ ტიპს განაპირობებს კომპლექსნაერთის შიგა და გარე სფეროში წყლის მოლეკულების სხვადასხვაობა, მაგალითად,  $\text{CrCl}_3(\text{H}_2\text{O})_6$  შედგენილობის ნაერთი წარმოქმნის სამ იზომერს. ესენია:

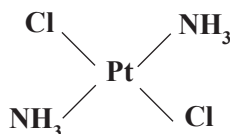
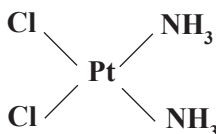


4. **იონიზაციური იზომერია.** იზომერიის ამ ტიპს განაპირობებს კომპლექსნაერთის შიგა და გარე სფეროში იონების სხვადასხვანაირი განაწილება, მაგალითად,



5. **სტერეოიზომერია.** ამ ტიპის იზომერიას განაპირობებს ლიგანდების ურთიერთგანლაგება შიგა კოორდინაციულ სფეროში, მაგალითად,  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ .

### კომპლექსნაერთების სახელწოდებები



კომპლექსური კათიონის სახელწოდება გამოითქმება ერთი სიტყვით, რომლის დასაწყისი წარმოადგენს უარყოფითი ლიგანდის სახელწოდებას, მას ემატება შემაერთებული „ო“, შემდეგ ხდება ნეიტრალური ლიგანდების დასახელება, როგორც თავისუფალი მოლეკულისა. მაგალითად,

$[Co(NH_3)_4NO_2Cl]NO_3$  – ქლორნიტროტეტრაამინ კობალტ (III)-ის ნიტრატი.

ანიონების დასახელებაც იმავე პრინციპით ხდება, მაგალითად,  $K[Pt(NH_3)Cl_3]$  – კალიუმის ტრიქლორაამინოპლატინატი.

## **ბიოლოგიურად აქტიური კომპლექსური ნაერთების აღ- ნაგობა. ლითონფერმენტები. ლითონ-ლიგანდის ჰომო- სტაზის დარღვევა ორგანიზმში. ხელატოთერაპიის ქიმიური საფუძვლები**

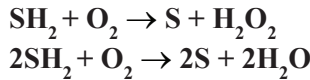
ცოცხალი ორგანიზმების შემადგენლობაში მეტად მნიშვნელოვანია ისეთი ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების არსებობა, როგორიცაა ლითონფერმენტები, ვიტამინები, ჰორმონები. ისინი წარმოადგენენ კოორდინაციულ ნაერთებს, სადაც კომპლექსწარმოქმნელის როლს ასრულებს ბიოლითონის იონი, რომელიც თავის უახლოეს გარემოცვასთან ერთად წარმოქმნის კლასტერს. უახლოეს გარემოცვაში იგულისხმება დონორული ატომები და ზოგიერთ შემთხვევაში მთელი მაკროციკლი. სწორედ ეს კლასტერი წარმოადგენს ბიოაქტიური ნივთიერების აქტიურ ცენტრს. მისი აღნაგობა განსაზღვრავს ბიოლოგიურ აქტივობას.

ცნობილია ათასობით ფერმენტი, რომელიც სხვადასხვა ტიპის რეაქციას აკატალიზებს. ლითონფერმენტებით წარმართული რეაქციები ძირითადად ორ დიდ ჯგუფად იყოფა: ჰიდროლიზური და ჟანგვა-აღდგენითი რეაქციები.

ჰიდროლიზური რეაქციების წარმართველი ფერმენტების შედგენილობაში შედის ბიოლითონები, რომლებიც მუდმივი ჟანგვის ხა-

რისხით ხასიათდებიან. ესენია: თუთია, კალციუმი, მაგნიუმი, მანგანუმი (II), კობალტი (II)-ი. ჰიდროლიზური რეაქციების დროს არ ხდება ელექტრონის გადატანა და ლითონის ჟანგვის ხარისხის ცვლილება. ამ დროს მიმდინარეობს მხოლოდ ჰეტეროლიტური მექანიზმით ქიმიური ბმების რღვევა და ახლის წარმოქმნა.

ჟანგვა-აღდგენითი რეაქციების წარმართველი ლითონფერმენტების შემადგენლობაში შედის: რკინა, სპილენძი, მოლიბდენი, კობალტი. სწორედ ისინი წარმოადგენენ ენერგიის წყაროს მრავალრიცხოვანი ბიოლოგიური ფუნქციის რეალიზაციისთვის. ჟანგვის პროცესი შეიძლება სქემატურად ორი განტოლებით ჩაიწეროს:



სადაც, S –სუბსტრატის დაჟანგული, ხოლო SH<sub>2</sub> – აღდგენილი ფორმაა.

კომპლექსწარმომქმნელის ბუნებისაგან დამოკიდებულებით იცვლება მათი ბიოლოგიური ფუნქცია. მაგალითად, კომპლექსები რკინის კათიონით ჰემოგლობინის, მიოგლობინის, ციტოქრომების საფუძველია; მაგნიუმის კათიონით – ქლოროფილის; რკინისა და სპილენძის იონებით – ციტოქრომოქსიდაზის საფუძველია.

ბუნებრივ კომპლექსურ ნაერთებს შორის განსაკუთრებული ადგილი უკავია ციკლური პოლიპეპტიდების საფუძველზე მიღებულ მაკროკომპლექსებს. მათ აქვთ განსაზღვრული ზომის ღრუ, რომელიც ამოგებულია რამდენიმე ჟანგბადშემცველი ჯგუფით, რომელთაც ახასიათებს ამ ღრუს შესაბამისი რადიუსის იონების დონორულ-აქცეპტორული მექანიზმით შებოჭვის უნარი. ასეთი სახის კომპლექსები იონების გადამტანებია ბიოლოგიურ მემბრანებში და მათ იონოფორები ეწოდება.

განვიხილოთ ლითონ-ლიგანდის ჰომეოსტაზის (წონასწორობის) დარღვევა ორგანიზმში. ორგანიზმში განუწყვეტლივ მიმდინარეობს სასიცოცხლოდ აუცილებელი ბიოკომპლექსების (M<sub>B</sub>L<sub>B</sub>), რომლებიც

აგებულია „სიცოცხლის ლითონთა“ კათიონებით, ანუ ბიოლითონებით ( $M_B$ ) და ბიოლიგანდებით ( $L_B$ ), წარმოქმნა და დაშლა:



ორგანიზმსა და გარემოს შორის მიმდინარე ცვლის პროცესების ხარჯზე შენარჩუნებულია ამ წონასწორობაში მონაწილე ნივთიერებათა კონცენტრაციები განსაზღვრულ წონეზე და ამით უზრუნველყოფილია ლითონ-ლიგანდის ბალანსი (წონასწორობა). ამ წონასწორობის გადახრა ამა თუ იმ მხარეს იწვევს ორგანიზმში მეტაბოლური პროცესების დარღვევას და პათოლოგიის განვითარებას. ლითონ-ლიგანდის ჰომეოსტაზის დარღვევა გამოწვეულია სხვადასხვა მიზეზით: ა) ორგანიზმის მიერ ბიოლითონთა კათიონების ( $M_B$ ) მიუღებლობით ან მცირე რაოდენობის მიღებით ხანგრძლივი დროის განმავლობაში; ბ) ბიოლითონთა კათიონების მნიშვნელოვნად დიდი რაოდენობის მიღებით, ვიდრე აუცილებელია ორგანიზმის ცხოველქმედებისათვის.

ეს დარღვევები შეიძლება გამოწვეული იყოს დაუბალანსებელი კვებით ან ადამიანის საცხოვრებელი ადგილის ბიოგეოქიმიური თავისებურებებით.

მეტაბოლური პროცესების უფრო სერიოზულ დარღვევებს იწვევს ორგანიზმში ტოქსიკური ლითონების ( $M_T$ ) ან ტოქსიკური ლიგანდების ( $L_T$ ) მოხვედრა, ზოგჯერ კი ორგანიზმისათვის არაადამახასიათებელი ლიგანდების წარმოქმნა (ლიგანდური პათოლოგია).

ტოქსიკურ ლითონთა კათიონებით – კომპლექსწარმოქმნელებით ( $Hg^{2+}$ ,  $As^{3+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Pb^{4+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Tl^{3+}$ ) მოწამვლა მრავალვარიანტული ხასიათისაა და გამოწვეულია მათ მიერ ცილების სულფჰიდრილური ჯგუფების ( $-SH$ ) ბლოკირებით ან დნმ-თან და რნმ-თან, აგრეთვე, მემბრანის ფოსფოლიპიდებთან მათი ურთიერთქმედებით, ან ფერმენტების აქტიური ცენტრებიდან თუთიისა და სპილენძის კათიონების გამოძევებით. ყველა ეს პროცესი მიმდინარეობს ტოქსიკურ ლიგანდებთან მდგრადი  $[M_T L_B]$  კომპლექსების წარმოქმნით.

ტოქსიკური ლიგანდების მოხვედრამ ორგანიზმში როგორც თა-

ვისუფალი, ისე კომპლექსური იონების სახით, შეიძლება გამოიწვიოს მძიმე შედეგები, მაგალითად, სიმსივნეები, მუტაგენეზი, ნივთიერებათა ცვლის დარღვევა და სხვა პათოლოგიები.

ლითონებით მოწამვლის შემთხვევაში მიმართავენ ხელატოთე-რაპიას, ანუ საწამლავსაწინააღმდეგო საშუალების სახით პოლიდენტა-ტური ლიგანდ-პრეპარატების გამოყენებას, რომლებიც ტოქსიკურ ლითონებთან წარმოქმნიან მდგრად, წყალში ხსნად კომპლექსებს და ამ სახით გამოიყოფიან ორგანიზმიდან. ხელატოთე-რაპიისათვის აუცილებელია, რომ ტოქსიკურმა ლითონმა ორგანიზმში შეყვანილ პრეპარატთან წარმოქმნას  $(M_T L_B)$ -ზე უფრო მდგრადი კომპლექსი –  $(M_T P)$ , ე.ი. დაცული უნდა იყოს პირობა:

$$K_{\text{უმდგ.}}(M_T P) < K_{\text{უმდგ.}}(M_T L_B).$$

ამასთანავე, შეყვანილმა ლიგანდ-პრეპარატმა ბიოლითონთა კა-თიონებთან არ უნდა წარმოქმნას მდგრადი  $[M_B P]$  კომპლექსი, რათა არ დაშალოს მათი კომპლექსები ბიოლიგანდებთან –  $[M_B L_B]$ , ე.ი. დაცული უნდა იყოს კიდევ ერთი პირობა:

$$K_{\text{უმდგ.}}(M_B L_B) < K_{\text{უმდგ.}}(M_B P).$$

ამგვარად, ხელატოთე-რაპიისას ლიგანდ-პრეპარატმა ეფექტურად უნდა დაიკავშიროს ტოქსიკური ლითონი მდგრად  $[M_T P]$  კომპლექსის წარმოქმნით და არ უნდა გამოიწვიოს სასიცოცხლოდ აუცილებელი  $[M_B L_B]$  კომპლექსის რღვევა.

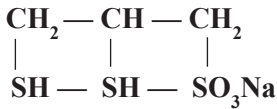
ლითონებით მოწამვლისას ანტიდოტად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს: ელტა (ეთილენდიამინტეტრამმარმჟავას ორნატრიუმმარილი), მაგრამ დიდი დოზით მიღებისას ამ პრეპარატს შეუძლია კალციუ-მის იონების მიერთება, რაც იწვევს ორგანიზმის მრავალი ფუნქციის დარღვევას. ამიტომ, ტყვიის, ვერცხლისწყლის, კადმიუმის და ურანის ორგანიზმიდან გამოყვანის მიზნით იყენებენ პრეპარატს – ტეტაცინს (ეთილენდიამინტეტრამმარმჟავას კალციუმნატრიუმის მარილი), რომელიც კალციუმის იონებისადმი დაბალი სწრაფვით ხასიათდება.

ტეტრაციინის ხანგრძლივი მიღების შემთხვევაში რეკომენდებულია რკინის პრეპარატებისა და B<sub>12</sub> ვიტამინის გამოყენება, რათა შეეცადოს ამ პრეპარატის თანამდევნი მოქმედება, რაც დაკავშირებულია მის მიერ კომპლექსების წარმოქმნასთან მნიშვნელოვანი ბიოკომპლექსების შემაღენლობაში შემაჯალ რკინასთან და კობალტთან.

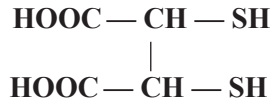
ხელალოთერაპიისათვის ეფექტურ პრეპარატებს წარმოადგენენ:

აღნიშნული მახელატირებელი ნივთიერებები (ლიგანდები) ეფექტურად იკავშირებენ ყველა ტოქსიკურ ლითონს და, ამასთანავე, ორგანიზმიდან არ გამოჰყავთ ბიოლითონები.

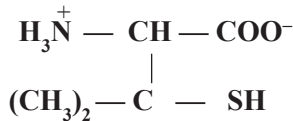
სხვადასხვა ნაერთებით მოწამვლისას უნივერსალურ ანტიდოტს წარმოადგენს ნატრიუმის თიოსულფატი (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), რომელიც შეიცავს



უნითიოლი



სუკციმერი



პენიცილამინი

თიოსულფატ-იონს, ტოქსიკური ლითონების მიმართ აქტიურ ლიგანდს.

ამგვარად, ხელალოთერაპიის ქიმიურ საფუძველს წარმოადგენს ლიგანდ-მიმოცვლითი წონასწორობის გადანაცვლება [M<sub>T</sub>P]-ს წარმოქმნის მხარეს, ხოლო მისი აუცილებელი პირობაა ის, რომ [M<sub>B</sub>L<sub>B</sub>]-ს მდგრადობა მეტი იყოს [M<sub>B</sub>P]-ს მდგრადობაზე.

ამჟამად არსებული სინთეზური პრეპარატების უმრავლესობა კომპლექსური ხასიათისა ან წარმოადგენს პოტენციურ კომპლექს-წარმოქმნელს, რაც შემთხვევაში, პოტენციურ ლიგანდს. ამ ნივთიერებათა ფარმაკოლოგიური ეფექტი განპირობებულია მათი ბიოლოგიური აქტივობით ან მეტაბოლიზმის (დაჟანგვის, აღდგენის, ჰიდროლიზის და ა.შ.) პროდუქტებით. სინთეზური ბიოკოორდინაციული ნაერთების

შეყვანა ორგანიზმში ხშირად არასასურველ, ზოგჯერ კი მძიმე პათოლოგიურ მოვლენებს იწვევს, რაც გასათვალისწინებელია სამკურნალო პრეპარატების გამოყენებისას.

ლითონ-ლიგანდის ჰომეოსტაზის რეგულირება ორგანიზმში ნორმალური მდგომარეობის დროს ხორციელდება ნერვული, ენდოკრინული და იმუნური სისტემებით.

## ელექტროქიმია

ელექტროქიმია არის ფიზიკური ქიმიის ნაწილი, რომელიც შეისწავლის იონური სისტემების ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებს, აგრეთვე მოვლენებს, რომელთაც ადგილი აქვს ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე და რომლებშიც მონაწილეობს დამუხტული ნაწილაკები (იონები და ელექტრონები).

ელექტროქიმიურ პროცესებს დიდი მნიშვნელობა აქვს ცოცხალ ორგანიზმში, ქიმიურ მრეწველობასა და სამკურნალო პრეპარატების ტექნოლოგიაში. ეს პროცესები საფუძვლად უდევს ნივთიერებათა კვლევისა და ანალიზის თანამედროვე მეთოდებს.

### **ელექტროლიტების ხსნართა ელექტროგამტარობა. ხვედრითი და ექვივალენტური ელექტროგამტარობა**

ნივთიერების უნარს გაატაროს ელექტრული დენი, ეწოდება ელექტროგამტარობა. განასხვავებენ ელექტრული დენის გამტარების ორ რიგს.

პირველი რიგის გამტარების ელექტროგამტარობა განპირობებულია ელექტრონების მოძრაობით. მეორე რიგის გამტარებში ელექტრობა გადააქვს იონებს.

ხვედრითი ელგამტარობა ( $k$ -კაპა) წარმოადგენს წინალობის ( $r$  – რო) შებრუნებულ სიდიდეს:

$$\kappa = \frac{1}{\rho} \quad (1), \quad \text{თავის მხრივ} \quad \rho = \frac{R_s}{l} \quad (2)$$

სადაც  $R$  – საერთო წინალობაა (ომი),  $l$  – გამტარის სიგრძე (სმ),  $S$  – გამტარის განიკვეთის ფართობი (სმ<sup>2</sup>).

ხვედრითი ელგამტარობის განზომილებაა ომი<sup>-1</sup> სმ<sup>-1</sup>.

ხვედრითი ელგამტარობის დამოკიდებულება ხსნარის კონცენტრაციაზე ექსტრემალური ხასიათისაა და დამახასიათებელია როგორც

სუსტი, ასევე ძლიერი ელექტროლიტებისათვის. მაქსიმუმის არსებობა შეიძლება ასე აიხსნას:

ორივე სახის ელექტროლიტებში ხსნარის კონცენტრაციასთან ერთად იზრდება იონთა კონცენტრაცია, რაც იწვევს ხვედრითი ელგამტარობის მატებას. კონცენტრაციის გარკვეული მნიშვნელობის შემდეგ სუსტ ელექტროლიტებში კონცენტრაციის ზრდა იწვევს დისოციაციის ხარისხის, ხოლო ძლიერებში – იონთა მოძრაობის სიჩქარის შემცირებას. ამის შედეგად ხვედრითი ელგამტარობა მცირდება.

ხსნარის ელგამტარობას ახასიათებენ აგრეთვე ეკვივალენტური ელგამტარობით ( $I_{\text{e}} = \frac{\kappa}{C}$  მბა), რომელიც ტოლია:

$$I = k \cdot V \quad (4)$$

სადაც  $C$  – ხსნარის კონცენტრაციაა,  $k$  (კაპა) – ხვედრითი ელგამტარობა,  $V = 1/C$  – განზავება.

ეკვივალენტური ელგამტარობა ეწოდება  $1$  გრამეკვივალენტი ელექტროლიტის შემცველი ნებისმიერი კონცენტრაციის ხსნარის ელგამტარობას, რომელიც მოთავსებულია ერთმანეთისაგან  $1$  სმ-ით დაშორებულ ელექტროდებს შორის.

როგორც ძლიერი, ისევე სუსტი ელექტროლიტების ეკვივალენტური ელგამტარობა მცირდება კონცენტრაციის ზრდისას (განზავების შემცირებისას). ამასთან, ამ დამოკიდებულებას (ძლიერი და სუსტი ელექტროლიტებისათვის) განსხვავებული ხასიათი აქვს. სუსტი ელექტროლიტების შემთხვევაში  $I$  (ლამბდა)-ს მატება განზავებისას გამოწვეულია დისოციაცია  $\lambda_{\infty} = \frac{\alpha_{\infty}}{\alpha_{\infty}}$  ხის ზრდით:

$$\lambda_{\infty} = \frac{\alpha_{\infty}}{\alpha_{\infty}} \quad (5)$$

სადაც  $I_{\infty}$  და  $a_{\infty}$  – შეესაბამება  $V$  განზავებას, ხოლო  $I_{\infty}$  და  $a_{\infty}$  – ზღვრულ განზავებას.

ძლიერ ელექტროლიტებში კი განზავებისას ადგილი აქვს იონური ატმოსფეროს სიმკვრივის შემცირებას, შესაბამისად, იონთა სიჩქარეებისა და ელექტროგამტარობის მატებას. ძლიერი ელექტროლიტების ელგამტარობის დამოკიდებულება კონცენტრაციაზე გამოისახება კოლ-

რაუმის ფორმულით:

$$l = l_{\infty} - A\sqrt{C} \quad (6)$$

### იონთა ძვრადობა. გადატანის რიცხვი

ცნობილია, რომ ხსნარებში იონები უწყვერივოდ მოძრაობენ. ელექტრული ველის არსებობის პირობებში იონების მოძრაობა მოწყვეტილებული ხდება, კერძოდ, დადებითი იონი მიისწრაფვის დენის უარყოფითი პოლუსისკენ, ხოლო უარყოფითი იონი – დადებითი პოლუსისკენ. იონთა მოძრაობის სიჩქარე მით მეტია, რაც მეტია პოტენციალის გრადიენტი. იონის მოძრაობის აბსოლუტური სიჩქარე ეწოდება ერთ-ერთი ელექტროლის მიმართულებით იონის მოძრაობის სიჩქარეს იმ პირობებში, როდესაც პოტენციალის ვარდნა 1 ვოლტი/სმ. ეს სიჩქარეები აღინიშნება  $u_+$  და  $u_-$ -ით, შესაბამისად დადებითი და უარყოფითი იონებისათვის. იონთა ძვრადობა წარმოადგენს აბსოლუტური სიჩქარეების ნამრავლს ფარადეის რიცხვზე:

$$l_+ = Fu_+ \quad (7)$$

$$l_- = Fu_- \quad (8)$$

სადაც  $F$  – ფარადეის რიცხვია (96 500 კულონი),  $l_+$  – დადებითი იონის ძვრადობა,  $l_-$  – უარყოფითი იონის ძვრადობა.

ხსნარის ეკვივალენტურ ელვამტარობასა და იონთა ძვრადობებს შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

ძლიერი ელექტროლიტებისათვის

$$l = l_+ + l_- \quad (9)$$

სუსტი ელექტროლიტებისათვის

$$l = a(l_+ + l_-) \quad (10)$$

სადაც  $a$  – დისოციაციის ხარისხია.

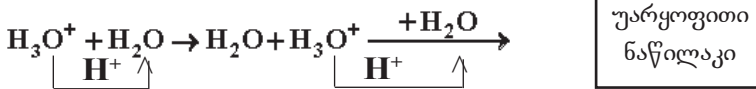
განზავებისას იზრდება იონთა ძვრადობა და ზღვრული განზავების პირობებში მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს. შესაბამისად იზრდება ეკვივალენტური ელვამტარობის მნიშვნელობაც. ზღვრული განზავების

პირობებში როგორც ძლიერი, ასევე სუსტი ელექტროლიტებისათვის გვაქვს:

$$\lambda^\infty = \lambda^{\infty}_+ + \lambda^{\infty}_- \quad (11)$$

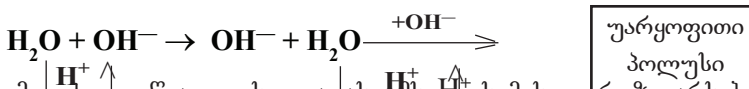
(11) წარმოადგენს კოლრაუმის კანონის გამოსახულებას.

წყალხსნარებში 25°C იონთა ძვრადობების მნიშვნელობა 20·80 სმ<sup>2</sup>/წმ.ვოლტი ფარგლებშია. ანომალიურად მაღალი ძვრადობა გააჩნია ჰიდროქსონიუმის (H<sub>3</sub>O)<sup>+</sup> და ჰიდროქსილის (OH<sup>-</sup>) იონებს. H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> ძვრადობაა 349,8 სმ<sup>2</sup>/წმ.ვოლტი, ხოლო OH<sup>-</sup>-ის ძვრადობაა 197,6 სმ<sup>2</sup>/წმ.ვოლტი. ამ იონთა ანომალიურად მაღალი ძვრადობის მიზეზი შემდეგში მდგომარეობს: ელექტრულ ველში ჰიდროქსონიუმის H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> იონსა და წყლის მოლეკულას შორის მიმდინარეობს პროტონის გადაცემის პროცესი:



მიღებული H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, თავის მხრივ, გადასცემს H<sup>+</sup>-ს მის გვერდზე მყოფ H<sub>2</sub>O-ს მოლეკულას და ა.შ. ამასთან H<sup>+</sup>-ის გადაცემა მიმდინარეობს უარყოფითი პოლუსის მიმართულებით.

რაც შეეხება ჰიდროქსილის იონს OH<sup>-</sup>, აქ პირიქით, წყლის მოლეკულა გადასცემს მას პროტონს:



მიღებული წყალი ისევ გადასცემს H<sup>+</sup>-ს მის გვერდზე არსებულ OH<sup>-</sup> და ა.შ. ამ შემთხვევაშიც ადგილი აქვს პროტონის გადანაცვლებას უარყოფითი პოლუსის მიმართულებით, რაც იწვევს დადებითი პოლუსის მიმდებარე არეში OH<sup>-</sup>-ის კონცენტრაციის ზრდას.

ამგვარად, ორივე შემთხვევაში დენის გადატანა ხდება არა H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> და OH<sup>-</sup>-ის იონების მოძრაობით შესაბამისი პოლუსებისაკენ (თუმცა ამასაც აქვს ადგილი), არამედ, ძირითადად, პროტონის გადაადგილე-

ბით უარყოფითი პოლუსისაკენ. ამასთან, პროტონი გაივლის მხოლოდ წყლის ერთი მოლეკულიდან მეორემდე და არა მთელ მანძილს კათოდამდე. ელგამტარობის ასეთ ტიპს ეწოდება ესტაფეტური. ესტაფეტური ელგამტარობა და ამის შემდეგ ანომალური ძვრადობა წყალხსნარებში ახასიათებს მხოლოდ  $H_3O^+$  და  $OH^-$ -ის იონებს, რაც იმით არის გამოწვეული, რომ ეს იონები წარმოადგენენ გამხსნელის დისოციაციის პროდუქტებს.

ელექტროლიტებში ელექტრონების გადატანა ხორციელდება როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი იონების საშუალებით. კათიონისა და ანიონის განსხვავებული ძვრადობის გამო მათ გადააქვთ ელექტრობის განსხვავებული რაოდენობა. იონის გადატანის რიცხვი ეწოდება მოცემული ზიპის იონებით გადატანილი ელექტრობის რაოდენობის ფარდობას  $\epsilon$ .

$$t_+ = \frac{I_+}{I} \quad \text{ლიტში გავლილ } t_- = \frac{I_-}{I} \quad \text{აერთო რაოდენობასთან.} \quad (12) \quad (13)$$

სადაც  $t_+$  და  $t_-$  შესაბამისად დადებითი და უარყოფითი იონის გადატანის რიცხვია;  $I_+$  და  $I_-$  მათ მიერ გადატანილი ელექტრობის რაოდენობა;  $I$  – ელექტროლიტში გავლილი დენი

$$t_+ + t_- = \frac{I_+ + I_-}{I} = 1 \quad (14)$$

გადატანის უბა ასეც გამოისახოს:

$$t_+ = \frac{\lambda_+}{\lambda_+ + \lambda_-} \quad (15)$$

$$t_- = \frac{\lambda_-}{\lambda_+ + \lambda_-} \quad (16)$$

## ელექტროფორეზისა და რელაქსაციის ეფექტები ძლიერ ელექტროლიტებში

ძლიერ ელექტროლიტებში იონური ატმოსფეროს არსებობა განაპირობებს მის დამამუხრუჭებელ გავლენას იონის მოძრაობაზე. ელექტრულ ველში ცენტრალური იონი გადაადგილდება ერთი მიმართულებით, ხოლო მისი იონური ატმოსფერო – საწინააღმდეგო მიმართულებით. ამავე დროს, იონური ატმოსფერო და ცენტრალური იონი ერთმანეთთან დაკავშირებულია ელექტროსტატიკური ძალებით და თითოეული მათგანი ცდილობს, ელექტრულ ველში მისთვის უპირატესი მიმართულებით გადაადგილოს მეორე. შედეგად მუხრუჭდება იონთა მოძრაობა ელექტროდების მიმართულებით, მცირდება ძვრადობა და, აქედან გამომდინარე, ექვივალენტური ელგამტარობა. ამ ეფექტს ელექტროფორეზული ეფექტი ეწოდება. ბუნებრივია, რაც მეტია ხსნარის კონცენტრაცია, მით მეტი იქნება იონური ატმოსფეროს სიმკვრივე და მისი დამამუხრუჭებელი გავლენა ცენტრალური იონის მოძრაობაზე.

იონური ატმოსფერო ამუხრუჭებს ცენტრალური იონის მოძრაობას არა მარტო ელექტრულ ველში, არამედ ველის გარეშეც. იონი უწყსრივო მოძრაობის დროსაც გამოდის თავისი იონური ატმოსფეროდან და ქმნის ახალ ატმოსფეროს. ამის გამო ირღვევა იონური ატმოსფეროს სიმეტრია, ამასთან, ატმოსფეროს სიმკვრივე მეტია მოძრავი იონის უკან, რაც იწვევს იონის მოძრაობის შენელებას. ამ ეფექტს ეწოდება რელაქსაციის ან ასიმეტრიის ეფექტი. ვინის, დებაისა და ფალკანგაგენის ექსპერიმენტებით ნაჩვენებია იქნა, რომ ელექტროფორეზული ეფექტი ~2-ჯერ უფრო ძლიერია, ვიდრე რელაქსაციური. შემდგომში ონზაგერმა გამოიყვანა განტოლება, რომელიც იძლევა ელექტროფორეზისა და რელაქსაციის ეფექტების მნიშვნელობის გაანგარიშების შესაძლებლობას. აღმოჩნდა, რომ ონზაგერის განტოლება ანალოგიურია კოლრაუშის განტოლებისა:

$$l = l_{\infty} - A\sqrt{C} \quad (6)$$

ონზაგერის მიხედვით,  $A$  წარმოადგენს ელექტროფორეზული და რელაქსაციური ეფექტების ჯამს.

## ქსოვილებისა და უჯრედების ელექტროგამტარობა

ბიოლოგიური ობიექტები ხასიათდება როგორც გამტარული, ისე დიელექტრიკული თვისებებით. სისტემები, რომელთა შემადგენლობაში შედის იონები, ხასიათდებიან მაღალი ელექტროგამტარობით (ზურვის ტვინის სითხე –  $X = 1,8$  სიმ/მ, სისხლის შრავი –  $X = 1,4$  სიმ/მ) და ავლენს დიელექტრიკის თვისებებს. ძვალი ხასიათდება ძალიან დაბალი ელექტროგამტარობით ( $X = 5,0 \times 10^{-7}$  სიმ/მ) და ავლენს დიელექტრიკის თვისებებს.

უჯრედებისა და ქსოვილების ელექტრული თვისებების გამოკვლევას დიდი მნიშვნელობა აქვს მათი სტრუქტურისა და ფიზიკურ-ქიმიური თავისებურებების შესასწავლად.

უჯრედის ციტოპლაზმა შეიცავს დიდი რაოდენობით იონებს და ხასიათდება მაღალი ელექტროგამტარობით, მემბრანები კი დაბალი ელექტროგამტარობით, რადგან ისინი აგებულია ლიპიდებისა და ცილებისაგან. ამასთან დაკავშირებით, კონდუქტრომეტრია ფართო გამოყენებას პოულობს მედიცინაში. ამ მეთოდით შეისწავლება ფიზიოლოგიური პროცესების მიმდინარეობაზე დამაზიანებელი ფაქტორების (ტრავმები, დამწვრობა, გამოსხივება) გავლენა. მაგალითად, როდესაც კვდება ქსოვილი, მისი გამტარობა იზრდება, რაც მეტყველებს იონთა კონცენტრაციის გაზრდაზე და, მაშასადამე, მემბრანის განვლადობის გაზრდაზე.

ეს მეთოდი ასევე ფართოდ გამოიყენება ანთებითი პროცესების შესწავლისას უჯრედის დონეზე. ანთებითი პროცესების პირველ სტადიაზე ხდება ხვედრითი ელექტროგამტარობის შემცირება, რადგან უჯრედი იჯირჯვება. ბოლო სტადიაზე ხდება სტრუქტურული დარღვევები, რაც იწვევს მემბრანული შეღწევადობის ცვლილებას და შესაბამისად იზრდება ელექტროგამტარობა.

## **გალვანური ელემენტები**

გალვანური ელემენტი ეწოდება მოწყობილობას, რომელშიც

ელექტრული დენი მიიღება ქიმიური რეაქციის ხარჯზე. გალვანურ ელემენტში მიმდინარე პროცესები წარმოადგენს ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებს, ოღონდ ჩვეულებრივი ქიმიური რეაქციებისგან განსხვავებით, ელექტრული დენის მისაღებად ჟანგვა და აღდგენა ცალ-ცალკე (სხვადასხვა ელექტროდებზე) უნდა მიმდინარეობდეს.

გალვანური ელემენტი შედგება 2 ნახევარელემენტისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებულია I გვარის გამტარით. ამ გამტარის საშუალებით ელექტრონების ნაკადი გადადის უფრო მაღალი ელექტრული პოტენციალის მქონე ნახევარელემენტიდან უფრო დაბალი პოტენციალის მქონე ნახევარელემენტზე.

განვიხილოთ, რა პროცესებს აქვს ადგილი ნახევარელემენტში. ვთქვათ, ნახევარელემენტი წარმოადგენს ლითონის ღეროს, ჩაშვებულს თავისივე მარილის ხსნარში. ლითონის ღეროსა და ხსნარს შორის აღიძვრება გარკვეული ურთიერთქმედება. იმის მიხედვით, თუ რა თანაფარდობა არსებობს ხსნარის კონცენტრაციას, იონის ჰიდრატაციის ენერგიასა და ლითონიდან იონის გამოსვლის ენერგიას შორის, ადგილი ექნება ლითონის დადებითი იონის გადასვლას ლითონის ღეროდან ხსნარში ან, პირიქით, დადებითი იონის გადასვლას ხსნარიდან ლითონის ღეროზე. ვთქვათ, ლითონის ღეროდან ხსნარში გადავიდა ლითონის დადებითი იონები, ლითონი შეიძენს უარყოფით ელექტრულ მუხტს, ხოლო ხსნარში გვექნება დადებითი იონების სიჭარბე. ლითონის უარყოფითი მუხტის ზეგავლენით ხსნარში არსებული კათიონები კონცენტრირდება ლითონის ღეროსთან, განსაკუთრებით ლითონის ზედაპირთან უშუალოდ მიმდებარე ფენაში. ხოლო ანიონები განიზიდება ლითონისაგან, განსაკუთრებით ძლიერად – ლითონის მიმდებარე ფენიდან. შედეგად აღიძვრება ორმაგი ელექტრული შრე და პოტენციალთა სხვაობა ლითონი–ხსნარის გამყოფ ზედაპირზე. ლითონის ბუნების, ხსნარის კონცენტრაციის და სხვა ფაქტორების ზეგავლენით პოტენციალთა ამ სხვაობას, ანუ ე.წ. ელექტროდის პოტენციალს, სხვადასხვა მნიშვნელობა ექნება სხვადასხვა ნახევარელემენტისათვის (სიმარტივისათვის ნახევარელემენტს ელექტროდს უწოდებენ).

როგორც უკვე აღინიშნა, გალვანური ელემენტი შედგება ერთ-მანეთთან გამტარით შეერთებული 2 ელექტროდისაგან. ვთქვათ, ერთი ელექტროდია თუთია, ჩაშვებული თავისივე მარილის ხსნარში ( $ZnSO_4$ ), მეორე ელექტროდია სპილენძი, ჩაშვებული  $CuSO_4$ -ში. თუთიის ელექტროდზე მიმდინარეობს ლითონიდან ხსნარში კათიონების გადასვლის პროცესი:



სპილენძის ელექტროდზე ადგილი აქვს ხსნარიდან სპილენძის იონების გამოლექვას:



შეჯამებული ქიმიური რეაქცია, რომელიც გალვანურ ელემენტში მიმდინარეობს, ასეთია:



თუ ელექტროდებს შევაერთებთ I გვარის გამტარით, გალვანურ ელემენტში გაივლის დენი. ელექტრული დენი მიიღება (3) ქიმიური რეაქციის ხარჯზე. მაგრამ დენის წარმოქმნის აუცილებელი პირობაა (1) და (2) რეაქციების ცალცალკე, ანუ სხვადასხვა ელექტროდებზე მიმდინარეობა.

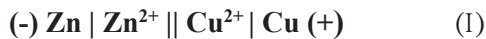
გალვანური ელემენტის ე.მ.ძ., თუ მხედველობაში არ მივიღებთ დიფუზიურ პოტენციალს, შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ელექტროდული პოტენციალების სხვაობა:

$$E_{\text{გალვ.}} = E_+ - E_- \quad (4)$$

ამგვარი ჩაწერის დროს გალვანური ელემენტის ე.მ.ძ. დადებითი სიდიდეა.

ელექტროქიმიური წრედი არსებობს შექცევადი და უქცევი. წრედი შექცევადია, თუ მასში დენის საპირისპირო მიმართულებით გატარებისას თითოეულ ელექტროდზე და მთლიანად ელემენტში მიმდინარეობს თავდაპირველის შებრუნებული პროცესი.

მაგალითისთვის განვიხილოთ გალვანური ელემენტი:



ამ ელემენტის ნორმალური მუშაობის დროს დადებით პოლუსზე მიმდინარეობს ორი პროცესი, უარყოფითზე – (1) რეაქცია, ხოლო გალვანურ ელემენტში მიმდინარე ჯამური პროცესია (3). თუ დენს გაკატარებთ საწინააღმდეგო მიმართულებით, მაშინ თუთიის ელექტროდზე ადგილი ექნება თუთიის იონის აღდგენას, ანუ (1)-ის შებრუნებულ პროცესს:



სპილენძის ელექტროდზე წარიმართება (3)-ის შებრუნებული რეაქცია, ანუ სპილენძის დაჟანგვა:



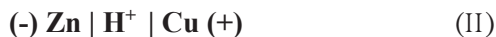
მთლიანად გალვანურ ელემენტში კი ადგილი ექნება (3)-ის შებრუნებულ ჯამურ პროცესს:



ამგვარად, განხილული (I) წრედი პრინციპულად შექცევადია. მაგრამ შექცევადობა არ ნიშნავს იმას, რომ წრედი შექცევადად იმუშავებს. გალვანური ელემენტი შექცევადად იმუშავებს მაშინ, როდესაც მისი ე.მ.ძ. უსასრულოდ მცირე სიდიდით აღემატება საწინააღმდეგოდ მიმართული ე.მ.ძ.-ს.

გარდა შექცევადი წრედებისა, არსებობს უქცევი წრედები, რომელშიც დენის საწინააღმდეგო მიმართულებით გატარებისას როგორც ცალცალკე ელექტროდებზე, ისევე მთლიანად გალვანურ ელემენტში, წარიმართება არა თავდაპირველის შებრუნებული, არამედ სხვა რეაქციები.

უქცევი გალვანური ელემენტის მაგალითია შემდეგი:



## **ელექტროდის სტანდარტული პოტენციალი. წყალბადის სტანდარტული ელექტროდი**

ტინის ფირფიტას, რომელიც ჩაშვებულია წყალბადის იონების შემცველ ხსნარში და იმყოფება აირადი წყალბადის ატმოსფეროში. თუ წყალბადის იონების აქტივობა 1-ის ტოლია და აირადი წყალბადის წნევა უდრის 1 ატმოსფეროს, ასეთ ელექტროდს ეწოდება წყალბადის სტანდარტული (ნორმალური) ელექტროდი:



$$P = 1 \text{ ატმ.}, \quad a_{H^+} = 1$$

წყალბადის სტანდარტული ელექტროდის პოტენციალი მიჩნეულია 0-ის ტოლად. იგი გამოიყენება სხვა ელექტროდების სტანდარტული პოტენციალის განსაზღვრისათვის.

ნებისმიერი ელექტროდის სტანდარტული პოტენციალი ეწოდება ელექტროდის პოტენციალს იმ შემთხვევაში, როდესაც ხსნარში იონთა აქტივობა 1-ის ტოლია.

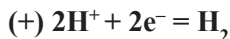
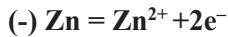
თუ მოცემული სტანდარტული ელექტროდისა და წყალბადის სტანდარტული ელექტროდისაგან შედგენილ ელექტროქიმიურ წრედში ელექტროდი უარყოფითად იმუხტება, მოცემული ელექტროდის სტანდარტული პოტენციალი ითვლება უარყოფითად. მისი უარყოფითი პოტენციალი რიცხობრივად ტოლია წრედის ე.მ.ძ-ისა (რადგან წყალბადის სტანდარტული ელექტროდის პოტენციალი ჩათვლილია 0-ის ტოლად).

განვიხილოთ მაგალითი. შევადგინოთ წრედი თუთიისა და წყალბადის ნორმალური (სტანდარტული) ელექტროდებისაგან



$$a_{Zn^{2+}} = 1 \quad a_{H^+} = 1, \quad P_{H_2} = 1 \text{ ატმ.}$$

ამ წრედში თუთია წარმოადგენს უარყოფით, ხოლო წყალბადი – დადებით ელექტროდს:

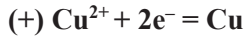
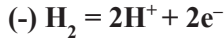


წრედის ე.მ.ძ. ტოლია 0,763 ვ-ის. მაშასადამე, თუთიის ელექტროდის ( $Zn | Zn^{2+}$ ) სტანდარტული პოტენციალი უარყოფითია და უდრის (-0,763) ვ-ს.

თუ შევადგენთ ელემენტს სპილენძისა და წყალბადის სტანდარტული ელექტროდებისაგან:



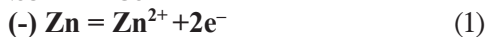
მაშინ ამ წრედში წყალბადი იქნება უარყოფითი, ხოლო სპილენძი – დადებითი ელექტროდი:



ელემენტის ე.მ.დ. უდრის 0,337 ვ-ს. ეს ნიშნავს, რომ სპილენძის სტანდარტული ელექტროდის პოტენციალი უდრის +0,337 ვ-ს.

## I და II გვარის ელექტროდები

I გვარის ელექტროდი ეწოდება ნახევარელემენტს, რომელიც შედგება თავისივე მარილის წყალხსნარში ჩაშვებული ლითონისაგან და რომელიც შექცევადია კათიონის მიმართ. ელექტროდის შექცევადობა განვიხილოთ თუთიის ნახევარელემენტის მაგალითზე. ვთქვათ, ეს ელექტროდი ასრულებს უარყოფითი პოლუსის როლს (ეს იმ შემთხვევაში მოხდება, თუ იგი მიერთებულია მასზე უფრო დადებით, ვთქვათ, სპილენძის ელექტროდთან). მაშინ თუთიის ელექტროდზე მიმდინარეობს შემდეგი პროცესი:



თუ თუთიის ელექტროდი დადებითია (ანუ იგი მიერთებულია მასზე უფრო უარყოფით, მაგალითად,  $\text{Mg} \mid \text{Mg}^{2+}$  ელექტროდთან), მასზე წარმართება (1)-ის შებრუნებული პროცესი:



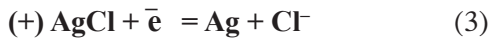
I გვარის ელექტროდის პოტენციალი შემდეგნაირად გამოისახება:

$$\text{E} = \text{E}^0 + \text{RT} / z\text{F} \ln a_+ \quad (2)$$

სადაც  $\text{E}^0$  – ელექტროდის სტანდარტული პოტენციალია;  $Z$  – კათიონის მუხტი;  $F$  – ფარადეის რიცხვი (96 500 კულონი);  $a_+$  – ხსნარში კათიონთა აქტივობა.

II გვარის ელექტროდი შექცევადია ანიონის მიმართ. მაგალითი-სათვის განვიხილოთ ვერცხლის ელექტროდი. ამ ელექტროდში ვერცხლი დაფარულია თავისივე ძნელად ხსნადი მარილით ( $\text{AgCl}$ ) და ჩაშვებულია ადვილად ხსნადი მარილის ხსნარში ( $\text{KCl}$ ), რომელსაც გააჩნია საერთო ანიონი ძნელად ხსნად მარილთან:  $\text{Ag, AgCl|KCl}$ .

ვთქვათ, ელექტროქიმიურ წრედში ვერცხლის ელექტროდი დადებითი პოლუსის როლშია (ანუ იგი შეერთებულია მასზე ნაკლებად დადებით ელექტროდთან), მაშინ მასზე მიმდინარეობს რეაქცია:



თუ ვერცხლის ელექტროდი უარყოფითია (ანუ შეერთებულია მასზე უფრო დადებით ელექტროდთან), მაშინ მასზე მიმდინარეობს (3)-ის შებრუნებული რეაქცია:



II გვარის ელექტროდის პოტენციალი შემდეგნაირად გამოისახება:

$$E = E^0 - \frac{RT}{zF} \ln a_{\bar{e}} \quad (4)$$

II გვარის ელექტროდებს მიეკუთვნება აგრეთვე კალომელის ელექტროდი  $\text{Hg|Hg}_2\text{Cl}_2|\text{Cl}^-$ . უმეტესად გამოიყენება კალომელის ელექტროდი, რომელიც ჩაშვებულია  $\text{KCl}$  ნაჯერ ხსნარში. კალომელის ნაჯერი ელექტროდის პოტენციალი ( $E_{\text{კალ.}} = 0,2438$  ვ  $25^\circ\text{C}$ ) დიდი სტაბილურობით გამოირჩევა, ამიტომ მას იყენებენ ელექტროქიმიურ გაზომვებში.

## რედ-ოქსი ელექტროდები და ელემენტები

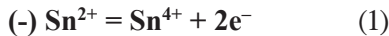
გალვანური ელემენტის ყველა ელექტროდზე მიმდინარეობს ჟანგვა-აღდგენითი პროცესები. მაგრამ ცალკე ჯგუფში აერთიანებენ იმ ელექტროდებს, რომელთა პოტენციალის განმსაზღვრელ რეაქციაში

არ მონაწილეობს მარტივი ნივთიერებები – აირები ან ლითონები. მათ უწოდებენ ჟანგვა-აღდგენით, ანუ რედ-ოქსი ელექტროდებს. ისინი, როგორც წესი, შედგებიან ელექტრონული გამტარობის მქონე ინერტული ნივთიერებისაგან (მაგ., პლატინა), რომელიც ჩაშვებულია სხვადასხვა დაჟანგულობის ხარისხის მქონე ნივთიერებების (Red, O X) ნარევიში. ზოგადად ელექტროდის სქემა და მასზე მიმდინარე პოტენციალის განმსაზღვრელი რეაქცია ასე ჩაიწერება:



ამ ჯგუფს მიეკუთვნება ელექტროდები (ნახევარელემენტები), რომელთათვისაც  $\text{O}_x$  და Red ფორმას წარმოადგენს იონები, ხოლო პოტენციალის განმსაზღვრელი რეაქცია კი მდგომარეობს მათი მუხტის ცვლილებაში

მაგალითისთვის განვიხილოთ ჟანგვა-აღდგენითი ელექტროდი:  $\text{Pt}|\text{Sn}^{2+}, \text{Sn}^{4+}$ . როდესაც ეს ელექტროდი გალვანურ ელემენტში უარყოფით პოლუსს წარმოადგენს, მასზე მიმდინარეობს რეაქცია:



ამ რეაქციის შედეგად მიღებული ელექტრონები გადაეცემა პლატინის ღეროს, რის შედეგადაც ეს უკანასკნელი უარყოფითად იმუხტება.

თუ მოცემული ელექტროდი დადებითია, მასზე მიმდინარეობს რეაქცია:



ამ რეაქციის დროს  $\text{Sn}^{4+}$  პლატინის ღეროს ართმევს ელექტრონებს, რის შედეგადაც პლატინა დადებითად იმუხტება. როგორც ვხედავთ, რედ-ოქსი ელექტროდში მეტალის ღერო წარმოადგენს მხოლოდ ელექტრონების გადამცემს, ხოლო პოტენციალის განმსაზღვრელი რეაქცია მიმდინარეობს ხსნარში სხვადასხვა დაჟანგულობის ხარისხის მქონე იონებს შორის.

რედ-ოქსი ელექტროდების პოტენციალი ზოგადად შემდეგნაირად გამოისახება:

$$E_{\text{Red, Ox}} = E^0_{\text{Red, Ox}} + \frac{RT}{zF} \ln(a_{\text{Ox}}/a_{\text{Red}}) \quad (2)$$

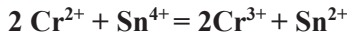
ჩვენს შემთხვევაში (2) შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$E = E^0 + \frac{RT}{zF} \ln(a(\text{Sn}^{4+}) / a(\text{Sn}^{2+})) \quad (2')$$

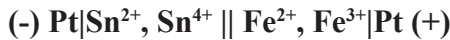
რედ-ოქსი ელექტროდებისაგან შეიძლება შევადგინოთ გალვანური ელემენტი. ავიღოთ შემდეგი რედ-ოქსი ელექტროდები:

შევადგინოთ წარები პირველი ორი ელექტროდისაგან I ელექტროდი იქნება უარყოფითი (ანუ II კი დასრულებს მთელ მათზე მიმდინარეობს შემდეგი პროცესები:

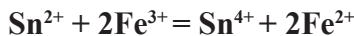
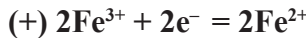
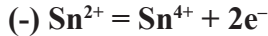
I	(-) Pt Cr <sup>2+</sup> , Cr <sup>3+</sup>    Sn <sup>4+</sup> , Sn <sup>2+</sup>  Pt (+)	-0,41	დასრულებს მთელ მათზე მიმდინარეობს შემდეგი პროცესები:
II	(-) Pt Sn <sup>2+</sup> , Sn <sup>4+</sup>	0,15	
III	(+ ) 2Fe <sup>3+</sup> + 2e <sup>-</sup> = 2Fe <sup>2+</sup>	+ 0,771	



შევადგინოთ ჟანგვა-აღდგენითი ელემენტი II და III ელექტროდებისაგან:



ელექტროდებზე მიმდინარეობს შემდეგი პროცესები:



## ელექტრული დენის ქიმიური წყაროები

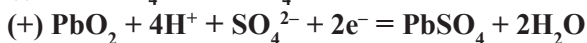
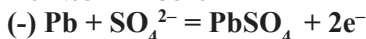
ბატარეები, აკუმულატორები, თბური ელემენტები მიეკუთვნება ელექტრული დენის ქიმიურ წყაროებს.

ბატარეა შედგება რამდენიმე მიმდევრულად შეერთებული გალვანური ელემენტისაგან.

აკუმულატორი განვიხილოთ ტყვიის (მჟავური) აკუმულატორის მაგალითზე.



აკუმულატორის მუშაობის დროს ადგილი აქვს დენის წარმოქმნელ შემდეგ პროცესებს:

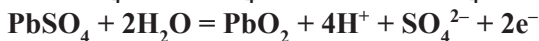
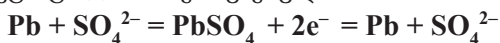


ჯამური რეაქციაა:



რეაქციის შედეგად ორივე ელექტროდი იფარება  $\text{PbSO}_4$ -ის ფენით, ანუ ორივე ელექტროდი ერთნაირი ხდება, რასაც თან მოსდევს ე.მ.ძ.-ის შემცირება და აკუმულატორის განმუხტვა.

აკუმულატორის თავიდან დამუხტვის მიზნით, მასში ატარებენ დენს საწინააღმდეგო მიმართულებით; ორივე ელექტროდზე მიმდინარეობს იმის შებრუნებული პროცესები, რასაც ადგილი ჰქონდა აკუმულატორის დენის წყაროდ მუშაობის პროცესში და ჯამური რეაქციაც (1)-ის შებრუნებულია:



განმუხტვა-დამუხტვის ამგვარი მონაცვლეობის საშუალებით ტყვიის აკუმულატორი საკმაოდ დიდი ხნის განმავლობაში გამართულად მუშაობს.

თბური ელემენტები წარმოადგენს ელექტროქიმიურ სისტემებს, რომლებშიც მიმდინარეობს საწვავის ან მისი გადამუშავების პროდუქტების დაჟანგვის რეაქცია.

მაგალითისათვის განვიხილოთ წყალბადის წვის რეაქცია:



ამ რეაქციაზე აგებული თბოელემენტი შემდეგნაირად არის მოწყობილი: 2 გაზის კამერა, რომელთაგან ერთში წყალბადია და მეორეში – ჟანგბადი, ერთმანეთისაგან გამოყოფილია ნახევრადშეღწევადი ტიხრით; ეს ტიხარი ატარებს  $\text{H}^+$ , მაგრამ არ ატარებს  $\text{H}_2$  და  $\text{O}_2$ -ს. ელექტროდები დაფარულია პლატინით.

წყალბადის კამერაში პლატინის კატალიზატორზე მიმდინარეობს რეაქცია:



ამ რეაქციაში წარმოქმნილი წყალბადის იონები ნახევრად შეღწევადი ტიხრის საშუალებით გადადის ჟანგბადის კამერაში, სადაც ადგილი აქვს შემდეგ პროცესს:



(2b) რეაქციაში მონაწილე ელექტრონები ჟანგბადის კამერაში წყალბადის კამერიდან გადადის გამტარის საშუალებით, რომელიც აერთებს კამერათა პლატინის ელექტროდებს. ელექტრონების ეს გადასვლა განპირობებულია იმით, რომ (2) რეაქციის  $\text{DG} < 0$ , ელექტრონების ნაკადი კი წარმოადგენს ელექტრულ დენს, რომელიც გამოიყენება ამა თუ იმ მიზნით. კერძოდ, ზემოთ აღწერილი თბური ელემენტი გამოიყენება კოსმოსურ სომალდებში.

## მინის ელექტროდი

მინის ელექტროდის მოქმედების პრინციპი მეტად თავისებურია და მას ვერ მივაკუთვნებთ ვერც ერთ აქამდე განხილული ელექტროდის ტიპს. მისი თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ მინის ელექტროდის პოტენციალის განმსაზღვრელ რეაქციაში არ მონაწილეობს ელექტრონები. ეს რეაქცია წარმოადგენს პროტონის მიმოცვლას ორ ფაზას შორის:



მინის ელგამტარობას განსაზღვრავს კათიონების გადაადგილება პოლიმერული სილიციუმის მჟავას მიმართ. მინის ელექტროდი მზადდება სპეციალური ხარისხის მინებისაგან, რომელშიც ელგამტარობას განაპირობებს  $\text{H}^+$ -ის გადაადგილება. ამასთან, ასეთი მინის თხელ აფსკს გააჩნია საკმარისი ელგამტარობა იმისათვის, რომ ჩაერთოს ელექტრულ წრედში.

მინის ელექტროდის პოტენციალი განისაზღვრება წყალბად-იონთა აქტივობით მინასა და იმ ხსნარში, რომელშიც იგი ჩაშვებულია:

$$(1)$$

მინის ელექტროდი წარმოადგენს მინის მილს, რომელიც ბოლოვდება თხელკედლიანი ბურთულით. მილში ჩასხმულია  $\text{AgCl}$ -ის სუსპენზია  $\text{HCl}$ -ის ხსნარში და ჩაშვებულია  $\text{Ag}$ -ის მავთული. ამგვარად, მინის მილში ჩვენ პრაქტიკულად გვაქვს ქლორვერცხლის ელექტროდი ( $\text{Ag}, \text{AgCl}$ ); განსხვავება იმაშია, რომ ელექტროდში გვაქვს მჟავას ხსნარი ( $\text{HCl}$ ), განსხვავებით ქლორვერცხლის ელექტროდისაგან, რომელიც მოთავსებულია  $\text{KCl}$ -ის ხსნარში.

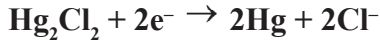
რადგან მინის ელექტროდის პოტენციალი [იხ. გამოსახ. (1)] დამოკიდებულია ხსნარში წყალბადიონთა შემცველობაზე, ამიტომ მისი საშუალებით შესაძლებელია ამა თუ იმ ხსნარის pH-ის განსაზღვრა. შევადგინოთ ელექტროქიმიური წრედი, რომლის ერთ-ერთი კომპონენტი იქნება მინის ელექტროდი.



ამ წრედში მინის ელექტროდი მოთავსებულია გამოსაკვლევი ხსნარში, რომელიც თავის მხრივ დაკავშირებულია კალომელის ელექტ-

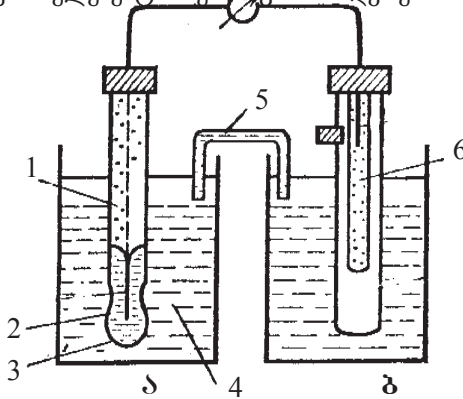
როდთან (ნახ. 1).

წრედში მიმდინარეობს შემდეგი პროცესები:



რის შედეგადაც ელექტრონების ნაკადი მიემართება ვერცხლის ელექტროდიდან კალომელის ელექტროდისაკენ. ამის პარალელურად ადგილი აქვს  $\text{H}^+$ -ის ექვივალენტური რაოდენობის გადასვლას მინის ელექტროდიდან იმ ხსნარში, რომელშიც მოთავსებულია, ანუ საკვლევ ხსნარში.

გალვანური ელემენტის ემპტანისაზღვრება მისი შემადგენელი



ნახ. 1. მინის (ა) და კალომელის (ბ) ელექტროდებისაგან შედგენილი გალვანური ელემენტის სქემა.

1 – მინის ელექტროდი; 2 –  $\text{HCl}$ -ის ხსნარი; 3 – მინის მემბრანა;  
4 – საკვლევი ხსნარი; 5 – მარილის ბოვირი; 6 – კალომელის ელექტროდი.

ელექტროდის პოტენციალებით. საბოლოოდ ვიღებთ, რომ

(2)

სადაც  $(a_{\text{H}^+})_{\text{ხს.}}$  – საკვლევი ხსნარში  $\text{H}^+$  იონთა აქტივობაა.

გარდაკმნათ (2) გამოსახულება. აღვნიშნოთ  $b_0 = \frac{R}{F}$ , მივიღებთ:

$$-b_0 \ln(a_{H^+})_{\text{ხსნ.}} = E_{\text{ელემ.}}^0 - E_{\text{ელემ.}}^{\otimes}$$

$E_{\text{ელემ.}}^0 - 2,3b_0 \ln(a_{H^+})_{\text{ხსნ.}} = \frac{R E_{\text{ელემ.}}^0}{F} - \ln(a_{H^+})_{\text{ხსნ.}}^{\otimes}$   
 ამგვარად, თუ ვიცით  $E^0$ -ის მნიშვნელობა და გავზომავთ წრედის ე.მ.ძ.-ს, დავადგენთ საკვლევი ხსნარის pH-ს.

მინის ელექტროდის საშუალებით შესაძლებელია pH-ის გაზომვა დიდი სიზუსტით  $\pm 0,1$  ერთ. pH. მასზე არ მოქმედებს დამჟანგველები და აღმდგენლები. ის ძალიან ძნელად იწამლება. ამიტომ ყველაზე უფრო დიდ გამოყენებას პოულობს pH-ის გამოსახვაში, განსაკუთრებით ბიოქიმიურ გამოკვლევებში.

კლინიკურ პრაქტიკაში დიდი გამოყენება აქვს მინის ელექტ-

$$-\ln(a_{H^+})_{\text{ხსნ.}} = \frac{E_{\text{ელემ.}}^0 - E_{\text{ელემ.}}^{\otimes}}{2,3b_0}$$

$$\text{pH}_{\text{ხსნ.}} = \frac{E_{\text{ელემ.}}^0 - E_{\text{ელემ.}}^{\otimes}}{2,3b_0} \quad (3)$$

როდის მოდიფიკაციას, რომელიც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს საკვლევ ხსნარში  $\text{CO}_2$ -ის შემცველობა.

ხელსაწყო წარმოადგენს საკვლევ ხსნარში ჩაშვებულ მინის ელექტროდს. ამასთან, მინის ელექტროდში არის არა HCl-ის, არამედ ბიკარბონატის ხსნარი, ხოლო მინის მილის დაბოლოება წარმოადგენს პოლიმერულ მემბრანას, რომელიც შეღწევადია  $\text{CO}_2$ -თვის. საკვლევი ხსნარიდან მემბრანის გავლით  $\text{CO}_2$  დიფუნდირებს მინის ელექტროდში. ბიკარბონატის ხსნარში ადგილი  $\leftarrow^{1,1} \rightarrow \text{CO}_2$ -ის ჰიდრატაციას:



წარმოქმნილი  $\text{H}_2\text{CO}_3$  შემდეგ დისოცირდება  $\text{H}^+$  და  $\text{HCO}_3^-$  იონებად, რაც იწვევს ხსნარის pH-ის შეცვლას. ელექტროქიმიური წრედის ე.მ.ძ-ის საშუალებით შესაძლებელია ბიკარბონატის ხსნარის

pH-ის ცვლილების და, აქედან, საკვლევ ხსნარში  $\text{CO}_2$ -ის შემცველობის დადგენა.

მინის ელექტროდი მიეკუთვნება იონსელექტიურ ელექტროდებს. ეს ისეთი ელექტროდებია, რომლებშიც პოტენციალი განისაზღვრება მემბრანასა და ხსნარს შორის იონთა განაწილებით. ამჟამად შექმნილია მრავალნაირი იონსელექტიური მემბრანები. განსაკუთრებით ფართო გამოყენება ჰპოვეს იმ ელექტროდებმა, რომელთაც ახასიათებთ მკაფიოდ გამოხატული სელექტივობა –  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{J}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , ორგანული იონების მიმართ.

## ქიმიური კინეტიკა და კატალიზი

ქიმიის მეცნიერების ერთ-ერთი მიზანია განსაზღვროს კავშირი ნივთიერების აგებულებას, ქიმიურბმის ენერგეტიკულ მახასიათებლებს და ნივთიერების რეაქციისუნარიანობას შორის, გამოიკვლიოს სხვადასხვა ფაქტორის გავლენა ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე და შეისწავლოს ქიმიური რეაქციების მექანიზმი. რეაქციის მიმდინარეობის შესაძლებლობაზე მსჯელობენ იზოთერმულ-იზობარული (G) ან იზოთერმულ-იზოქორული (F) პოტენციალის საშუალებით. კერძოდ, თუ  $\Delta G=0$ , სისტემა წონასწორობაშია, თუ  $\Delta G<0$  რეაქცია თავისთავად მიმდინარეობს; მაგრამ მხოლოდ G და F იზოთერმული პოტენციალების საშუალებით არ შეიძლება ვიმსჯელოთ რეაქციის სიჩქარესა და მის მექანიზმზე.

ქიმიური რეაქციების სიჩქარეს, სიჩქარეზე სხვადასხვა ფაქტორების გავლენას და რეაქციების მექანიზმს შეისწავლის ქიმიური კინეტიკა.

### ქიმიური რეაქციის სიჩქარე

ქიმიურ რეაქციას თან ახლავს კონცენტრაციის ცვლილება. ამიტომ რეაქციის სიჩქარეს ახასიათებენ რომელიმე ნივთიერების (საწყისი ან საბოლოო) კონცენტრაციის ცვლილებით დროის ერთეულში, უცვლელი მოცულობის დროს:

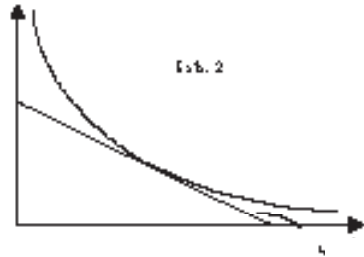
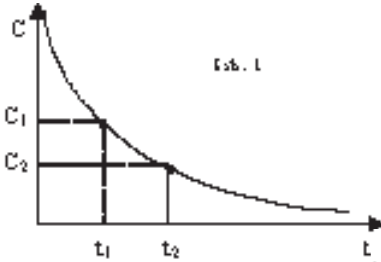
$$V = \pm \frac{\Delta C}{\Delta t} \quad (1)$$

მისი განზომილებაა:  $\frac{|C|}{|t|}$ , მაგ, მოლი/ლ.წმ. ან მოლი/ლ.წთ.

ვთქვათ, რეაქციის ერთ-ერთი მონაწილე ნივთიერების საწყისი კონცენტრაცია შეადგენდა 1 მმოლი/ლ. ხოლო რეაქციის დაწყებიდან 5 წუთის შემდეგ გახდა 0,6 მმოლი/ლ, მაშინ რეაქციის საშუალო

სიჩქარე დროის  $\frac{dC}{dt}$  კვეთში იქნება:  
 $\frac{0,12}{5} = 0,024$  მმოლო/ლ.წთ.

რეაქციის სიჩქარე შეიძლება გამოვსახოთ გრაფიკულად. თუ აბსცისთა ღერძზე გადავზომავთ დროს  $t$ , ხოლო ორდინატთა ღერძზე კონცენტრაციას  $C$ , მაშინ კინეტიკურ მრუდს ექნება შემდეგი სახე



(ნახ. 1 და 2)

$$V_{\text{საშ.}} = \frac{\Delta C}{\Delta t}$$

$$V_{\text{მყ.}} = \xi \alpha$$

ნახ. 1, 2 რეაგენტის კონცენტრაციის დამოკიდებულება დროზე.

ვთქვათ, მორეაგირე A ნივთიერების კონცენტრაცია  $t_1$  დროში იყო  $C_1$ , ხოლო  $t_2$  დროში გახდა  $C_2$  ადგილი აქვს კონცენტრაციის შემცირებას (ნახ. 1). დროის  $\Delta t = t_2 - t_1$  შუალედში კონცენტრაციის ცვლილება შეადგენს  $\Delta C = C_2 - C_1$ . რეაქციის საშუალო სიჩქარე  $V$  ტოლი იქნება:

$$V_{\text{საშ.}} = -\frac{C_2 - C_1}{t_2 - t_1} = -\frac{\Delta C}{\Delta t}$$

მინუსი ნიშანი იწერება იმიტომ, რომ საწყისი A ნივთიერების კონცენტრაცია იკლებს. ამასთან, მიღებულია, რომ სიჩქარეს უნდა ჰქონდეს დადებითი ნიშანი.

გარდა საშუალო სიჩქარისა, არსებობს აგრეთვე ჭეშმარიტი

ან მყისიერი სიჩქარე. იგი ტოლია ნივთიერების კონცენტრაციის უსასრულოდ მცირე ცვლილებისა (dc), დროის უსასრულოდ მცირე მონაკვეთში (dt):

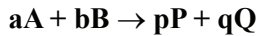
$$V_{\text{მ}} = \frac{d}{dt} \quad (2)$$

მისი განსაზღვრა შემდეგნაირად შეიძლება: კინეტიკური მრუდის შესაბამის წერტილზე გავავლოთ მხები. ამ მხების დახრის კუთხის ტანგენსი ტოლი იქნება მყისიერი (ჭეშმარიტი) სიჩქარისა (ნახ. 2).

### მოქმედ მასათა კანონი

ჰომოგენური რეაქციების სიჩქარე დამოკიდებულია მორეაგირე ნივთიერებათა მოლეკულების დაჯახებათა რაოდენობაზე დროისა და მოცულობის ერთეულში. თავის მხრივ, მოლეკულათა დაჯახების ალბათობა პროპორციულია მორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაციების ნამრავლისა.

განვიხილოთ რეაქციის სქემა:



ამ რეაქციისათვის მოქმედ მასათა კანონი ასე გამოისახება:

$$V = k[A]^a [B]^b \quad (3)$$

სადაც k არის რეაქციის სიჩქარის მუდმივა, a,b,p,q – რეაქციის სტექიომეტრიული კოეფიციენტებია.

მრავალი ქიმიური პროცესი, რომელსაც უდიდესი გამოყენება აქვს, მიეკუთვნება ჰეტეროგენულ რეაქციებს. ჰეტეროგენულ სისტემაში რეაქციები მიმდინარეობს ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე. რაც უფრო მეტია ფაზათა გამყოფი ზედაპირის ფართობი, მით მეტი ალბათობაა სხვადასხვა ფაზაში მყოფი მორეაგირე ნივთიერებების მოლეკულების დაჯახებისა. ამიტომ ჰეტეროგენული რეაქციების სიჩქარე მუდმივი ტემპერატურის პირობებში დამოკიდებულია არა მარტო სხვადასხვა ფაზაში მყოფი კომპონენტების კონცენტრაციაზე, არამედ ფაზათა გამ-

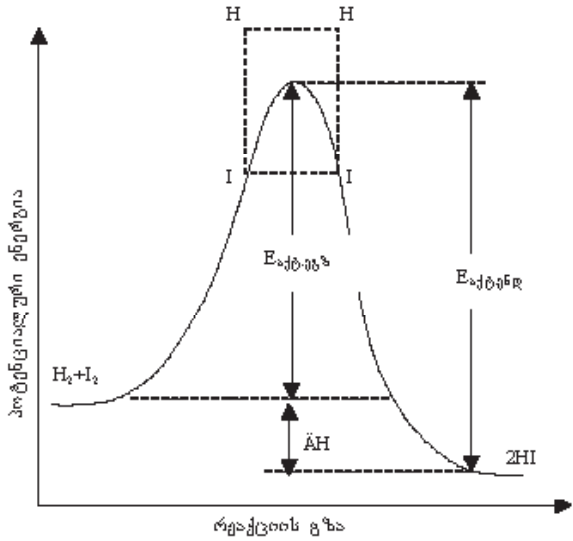
ყოფი ზედაპირის ფართობი (S), მაგ: რეაქციისათვის  $C + O_2 \rightarrow CO_2$ ,  
სიჩქარე  $V = k \times CO_2 \times S$ ,

სადაც k – რეაქციის სიჩქარის მუდმივაა,  $C_{O_2}$  – ჟანგბადის კონ-  
ცენტრაცია, s – ფაზათა გამყოფი ზედაპირის ფართი.

## აქტივაციის ენერგია

იმისათვის, რომ მოხდეს ქიმიური ურთიერთქმედება, აუცილებელ-  
ლია მორეაგირე ნაწილაკთა დაჯახება, მაგრამ აღმოჩნდა, რომ ყოველ  
დაჯახებას არ მოჰყვება ქიმიური გარდაქმნა. ეს ნიშნავს, რომ ელემენ-  
ტარული აქტის ჩატარებისათვის საჭიროა გარკვეული ენერგეტიკული  
ბარიერის გადალახვა. გავარკვიოთ რა ხდება ელემენტარული აქტის  
მიმდინარეობის დროს. მორეაგირე ნაწილაკთა დაჯახების შედეგად  
მათი კინეტიკური ენერგიის ნაწილი გარდაიქმნება პოტენციალურ,  
ანუ ნაწილაკთა ურთიერთქმედების ენერგიად. ქიმიურ რეაქციაში  
ნაწილაკთა ურთიერთქმედება გამოიხატება რეაგენტებში არსებული  
ყველა ან ზოგიერთი ბმის გაწყვეტასა და ახალი ბმების წარმოქმნაში.  
ბმის შესუსტება-გაწყვეტის დროს სისტემის პოტენციალური ენერგა  
იზრდება, ხოლო ბმის ჩასახვა-წარმოქმნას თან სდევს პოტენციალ-  
ური ენერგიის შემცირება. არსებული ბმების გაწყვეტის და ახალი  
ბმების წარმოქმნის პროცესი ერთდროულად მიმდინარეობს, მაგრამ  
პროცესის დასაწყისში უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს ძველი  
ბმების შესუსტება, ვიდრე ახალი ბმების ჩასახვა; შედეგად იზრდება  
სისტემის პოტენციალური ენერგია და აღწევს მაქსიმუმს (ნახ. 3).

მაქსიმუმის წერტილში ჩვენ უკვე აღარ გვაქვს რეაგენტთა



ნახ. 3. სისტემის პოტენციური ენერჯიის ცვლილება ელემენტარული აქტის მიმდინარეობის დროს

დროის და მოცულობის ერთეულში,  $R$  – აირთა უნივერსალური მუდმივა.

(5)–ის მიხედვით, რეაქციის სიჩქარის მუდმივასა და აქტივაციის ენერჯიას შორის არსებობს ჰემპსფინტური დამოკიდებულება: რაც მეტია აქტივაციის ენერჯია, მით ნაკლებია  $k$ -ს მნიშვნელობა; ამავე დროს, რაც მეტია  $T$ -მნიშვნელობა, მით მეტია  $H$  (ეს გამოწვეულია იმით, რომ ტემპერატურის ზრდა იწვევს მორეაგირე ნაწილაკთა კინეტიკური ენერჯიის ზრდას).

არენიუსის განტოლებაში  $A$  არის დაჯახებათა საერთო როცხვი, იმ დაჯახებათა წილი, რომელსაც მოცემული ტემპერატურისა და აქტივაციის ენერჯიის მნიშვნელობის დროს მოჰყვება ქიმიური

გარდაქმნა. შესაბამისად, იქნება ეფექტურ დაჯახებათა როცხვი. აქედან ცხადი ხდება რეაქციის სიჩქარის მუდმივას ფიზიკური აზრი:  $k$  ტოლია ეფექტურ დაჯახებათა როცხვისა.

მოლეკულები და ჯერ კიდევ არ გვაქვს პროდუქტთა მოლეკულები. არსებულ რეაგენტთა მოლეკულებისაგან წარმოქმნილი ე.წ. გარდამავალი (ან საშუალო) კომპლექსი,

რომელშიც ძველი ბმები (H-H) და (I-I) უკვე გაქრობის პირას არის მისული, ხოლო ახალი ბმები (H-I) ჯერ კიდევ ჩანასახოვან მდგომარეობაში იმყოფება. ამ მომენტიდან ინტენსიურად მიმდინარეობს ახალი ჩანასახოვანი კავშირების (H-I) საბოლოო განმტკიცება და ძველი კავშირების (H-H) და (I-I) საბოლოო გაწყვეტა. შედეგად მცირდება სისტემის პოტენციალური ენერგია და მიიღება რეაქციის პროდუქტი (H-I).

პოტენციალურ ენერგიას, რომელიც საჭიროა ენერგეტიკული ბარიერის გადასალახავად, ეწოდება აქტივაციის ენერგია. აქტივაციის ენერგია წარმოადგენს რეაგენტებისაგან წარმოქმნილი გარდამავალი კომპლექსის შესაბამის პოტენციალურ ენერგიას.

ნახ. 3-ზე გამოსახული მრუდი შეესაბამება ენდოთერმულ რეაქციას. მართლაც, რეაქციის დასაწყისში სისტემის პოტენციალური ენერგია უფრო მაღალია, ვიდრე რეაქციის დასრულებისათვის. განსხვავება პოტენციალური ენერგიის საწყის და საბოლოო მნიშვნელობებს შორის სისტემაში გამოიყოფა სითბოს სახით ( $\Delta H = \Delta Q_p > 0$ ), შებრუნებული რეაქცია იქნება ენდოთერმული და მისი  $Q_p = \Delta H > 0$ .

ენდოთერმული რეაქციის აქტივაციის ენერგია ტოლია:

$$E_{\text{აქტ.ენდ.}} = E_{\text{აქტ.ეგზ.}} + \Delta H \quad (4)$$

რეაქციის სიჩქარის მუდმივას დამოკიდებულება აქტივაციის ენერგიაზე, ტემპერატურასა და დაჯახებათა რიცხვზე გამოისახება ვანტ-ჰოფ-არენიუსის განტოლებით:

$$k = A e^{-\frac{E_{\text{აქტ.}}}{RT}} \quad (5)$$

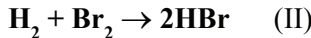
სადაც  $k$  – სიჩქარის მუდმივაა,  $A$  – დაჯახებათა საერთო რიცხვი

თუ მისი მიმდინარეობის დროს ადგილი აქვს მხოლოდ ერთი ტიპის ელემენტარული აქტის მრავალჯერად განმეორებას. მაგ., რეაქცია  $H_2$  და  $I_2$ -ს შორის მიმდინარეობს მარტივ რეაქციად:

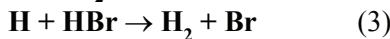


ეს ნიშნავს, რომ წყალბადისა და იოდის მოლეკულების გარდაქმნა იოდწყალბადის მოლეკულებად ხორციელდება I ელემენტარული აქტის საშუალებით, ყოველგვარი საშუალო სტადიების გავლის გარეშე. მარტივი რეაქციის მექანიზმი შეესაბამება მის სტექიომეტრიულ განტოლებას.

რეაქცია რთულია, თუ მისი განხორციელებისათვის საჭიროა ორი ან მეტი ელემენტარული აქტის ჩატარება. განვიხილოთ შემდეგი რეაქცია:



მიუხედავად იმისა, რომ I და II რეაქციები ერთი შეხედვით ძალიან ჰგავს ერთმანეთს და მათი სტექიომეტრიული განტოლებები ერთნაირია, II განტოლება არ ასახავს  $Br_2$ -სა და  $H_2$ -ს შორის მიმდინარე რეაქციის მექანიზმს. ეს რეაქცია არის რთული, რადიკალურ-ჯაჭვური პროცესი, რომელიც შემდეგნაირად მიმდინარეობს:



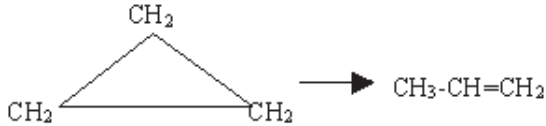
ელემენტარული აქტების ერთობლიობა (0-4) წარმოადგენს II რეაქციის მექანიზმს. II სტექიომეტრიული განტოლება ასახავს არა რეაქციის მექანიზმს, არამედ მხოლოდ იმას, რომ თითო მოლეკულა  $H_2$  და  $Br_2$ -გან მიიღება 2 მოლეკულა HBr.

თუ მარტივ ქიმიურ რეაქციაში ან ელემენტარულ აქტში ერთი ნაწილაკი მონაწილეობს, ასეთი რეაქცია (ან ელემენტარული აქტი) მონომოლეკულურია. მარტივი რეაქციის მაგალითია:

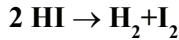
როცა ქიმიური გარდაქმნა ორი ნაწილაკის მონაწილეობით მიმდინარეობს, ასეთი მარტივი რეაქცია (ან ელემენტარული აქტი)

## მარტივი და რთული რეაქციები. რეაქციის მექანიზმი. რეაქციის მოლეკულურობა

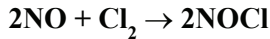
არსებობს მარჯივი თუ როგორი რიპაიიბი რიპაია მარტივია,



ბიმოლეკულურია:



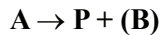
ხოლო თუ რეაქციის წარმართვისათვის საჭიროა სამი ნაწილაკის დაჯახება, მაშინ ეს მარტივი რეაქცია (ან ელემენტარული აქტი) ტრიმოლეკულურია:



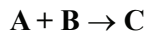
მარტივი რეაქციის მოლეკულურობა შეესაბამება რეაქციის სტექიომეტრიას. ეს უკანასკნელი კი ასახავს მარტივი რეაქციის მექანიზმს. რაც შეეხება რთულ რეაქციას, მის მოლეკულურობაზე ლაპარაკი არ შეიძლება; მოლეკულურობა ახასიათებს რთული რეაქციის მექანიზმში შემავალ თითოეულ ელემენტარულ აქტს.

რთულ რეაქციებს მიეკუთვნება შექცევადი, მიმდევრული, პარალელური, მიმდევრულ-პარალელური, შეუღლებული და სხვა რეაქციები.

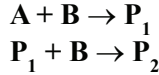
რეაქციათა სისტემას ეწოდება მიმდევრული, თუ ერთ-ერთ რეაქციაში წარმოქმნილი ნივთიერება იხარჯება მომდევნო რეაქციაში.



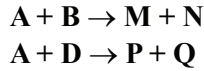
რეაქციებს ეწოდება პარალელური თუ თითოეულ მათგანში მონაწილეობს ერთი საერთო საწყისი ნივთიერება მაინც, მაგალითად,



რეაქციები მიმდევრულ-პარალელურია, თუ ერთ-ერთი საწყისი ნივთიერება მონაწილეობს საშუალოდ პროდუქტების წარმოქმნისა და გარდაქმნის პროცესებში.



შეუღლებული რეაქციები ერთდროულად მიმდინარეობს:



მათში ერთი კომპონენტი საერთოა (A), ამასთან, ერთი რეაქცია  $A+B \rightarrow M+N$  თავისთავად მიმდინარეობს, ხოლო მეორე  $A+D \rightarrow P+Q$  თავისთავად არ მიმდინარეობს, არამედ აღიძვრება პირველი რეაქციის ზეგავლენით.

### **რეაქციის სიჩქარის დამოკიდებულება რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებათა კონცენტრაციაზე. რეაქციის რიგი**

ჩაეწეროთ ზოგადი სახით მოქმედ მასათა კანონი:



(I) რეაქციისათვის მოქმედ მასათა კანონი ასე ჩაიწერება:

$$V = K[A]^{n_A} [B]^{n_B} \quad (6)$$

სადაც  $n_A$  – რეაქციის რიგია A რეაგენტის მიმართ,  $n_B$  – რეაქციის რიგია B რეაგენტის მიმართ.

რეაქციის კერძო რიგი A და B ნივთიერების მიმართ ( $n_A$  და  $n_B$ ) გვიჩვენებს, რეაქციის სიჩქარე რეაგენტთა კონცენტრაციის რომელი ხარისხის პროპორციულია.

კერძო რიგების ჯამს ეწოდება რეაქციის საერთო რიგი:

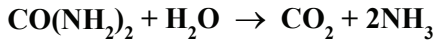
$$n = n_A + n_B \quad (7)$$

რიგი არსებობს მთელი, წილადური და ნულოვანი. თუ რეაქციის რიგი წილადურია, მაშინ ეს რეაქცია აუცილებლად რთულია. მაგრამ პირიქით არ არის სამართლიანი: მთელი რიგი შეიძლება ჰქონდეს როგორც მარტივი, ისევე რთულ რეაქციასაც.

## ფერმენტები

ფერმენტები ნივთიერებებია, რომლებსაც გამოიმუშავენ ცოცხალი ორგანიზმები. მათ აქვთ კატალიზური მოქმედების უნარი, ე.ი. შეუძლიათ გაზარდონ ორგანიზმში მიმდინარე ზოგიერთი ქიმიური რეაქციის სიჩქარე. ფერმენტულ მოქმედებაზეა დამყარებული „დუღილი“. ეს პროცესი ცნობილი იყო უხსოვარი დროიდან. ღვინის, ძმრის, ლუდის, პურის ცხობის პროცესები სწორედ ფერმენტული რეაქციებია.

1857 წელს ლუი პასტერის მიერ დამტკიცებულ იქნა, რომ საფუარის ფერმენტები ცოცხალი ორგანიზმია, ხოლო დუღილი – ფიზიოლოგიური პროცესი. 1926 წლამდე ფერმენტების ქიმიური აგებულება არ იყო გამოკვლეული. 1926 წელს ჯეიმს სამნერის მიერ კრისტალური სახით მიღებულ იქნა ფერმენტი – ურეაზა. იგი აღმოჩნდა ცილა, რომელიც ხელს უწყობს შარდოვანას კატალიზურ გახლეჩას.



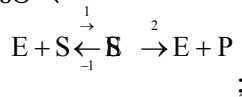
ზოგიერთი ცილის მოლეკულები შეიცავს მხოლოდ პოლიპეპტიდურ ჯაჭვს. ასეთ ცილებს ეწოდება – მარტივი ცილები. ცილების უმეტესი ნაწილის შემადგენლობაში კი, გარდა პოლიპეპტიდური ჯაჭვისა, შედის სხვა მოლეკულებიც. მაგ., ჰემოგლობინი შეიცავს პოლიპეპტიდურ ჯაჭვს და ოთხ ჰემს (ჰემი – ორგანული იონური ნაერთია). ასეთ ცილებს ეწოდება რთული ცილები.

ფერმენტების უმეტესობა წარმოადგენს რთულ ცილას. ისინი შეიცავენ მარტივ ცილას – აპოფერმენტს და ერთი ან მეტი რაოდენობით სხვა მოლეკულებს ან იონებს, მათ კოფერმენტები ეწოდება. ზოგიერთი კოფერმენტი წარმოადგენს ლითონის იონს, მაგ., კარბონანჰიდრაზა, რომელიც ადამიანის სისხლის ერთროციტების ძირითადი შემადგენელი ნაწილია. მის აპოფერმენტს აქვს მოლეკულური მასა 28000. აპოფერმენტი უერთდება  $\text{Zn}^{2+}$  ერთ იონს და წარმოქმნის აქტიურ ფერმენტს, რომელიც კატალიზატორის როლს ასრულებს  $\text{H}_2\text{O}^{3-}$ -ის დასაშლელად:  $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$  მაგალითის

სახით განვიხილოთ ფერმენტი – ამილაზა, რომელიც შედის ადამიანის ნერწყვის შემადგენლობაში და ხელს უწყობს სახამებლის გადამუშავებას. ამილაზას მოლეკულური მასა 50000. კოფერმენტის როლს ამილაზაში ასრულებს  $Ca^{2+}$  იონები. ხშირად მრავალი ფერმენტისათვის კოფერმენტების როლს ასრულებს ვიტამინები ან მათი წარმოებულები.

### ფერმენტული რეაქციების კინეტიკა

ორგანიზმში ფერმენტების მონაწილეობით მიმდინარე რეაქციის სიჩქარე აიწერება მიხაელისის განტოლებით. დავუშვათ, რეაქცია მიმდინარეობს E-ფერმენტსა და S-სუბსტრატის საწყისი ნივთიერების მონაწილეობით. ამ დროს წარმოიქმნება კომპლექსი ES, რომელიც შემდგომ შეიძლება დაიშალოს ისევ საწყის ნივთიერებად ან გარდაიქმნას რეაქციის პროდუქტად:



ფერმენტული რეაქციის სიჩქარე გამოისახება განტოლებით:

$$V = \frac{V_{\max}}{1 + \frac{K_M}{S}} \quad (8)$$

სადაც

$$V_{\text{asb}} = \frac{K_2[E]_0}{K_{-1} + K_2}$$

ხოლო

$$K_M = \frac{K_{-1}}{K_1} \quad (9)$$

(8) გამოსახულებას ეწოდება მიხაელისის განტოლება, ხოლო (9)-ს მიხაელის-მენტენის მუდმივა.  $K_M$ -ის ფიზიკური არსი ასეთია:

$$K_M = [S], \text{ როცა } V = \frac{V_{\max}}{2}$$

**ფერმენტების ინჰიბიტორი** – არის ნივთიერება, რომელიც უერთდება ფერმენტს და უკარგავს მას კატალიზური აქტივობის უნარს. ინჰიბიტორი შეიძლება კონკურენციას უწევდეს სუბსტრატს ან არ უწევდეს. თუ ინჰიბიტორი კონკურენციას უწევს სუბსტრატს, ეს ნიშნავს, რომ ორივე მიისწრაფვის შეუერთდეს ერთი და იგივე აქტიურ ცენტრს ფერმენტის მოლეკულაში.

ძლიერი შხამები სიკვდილს იწვევს იმიტომ, რომ ისინი აინჰიბირებენ ფერმენტებს, რომლებიც აუცილებელია სასიცოცხლო პროცესებისათვის. მაგ., HCN ან  $H_2S$  – ორგანიზმში მოხვედრისას წარმოქმნიან  $CN^-$  და  $HS^-$  იონებს. ისინი უერთდებიან ციტოქრომში  $Fe^{3+}$ -ს. ეს უკანასკნელი კი წარმოადგენს ფერმენტს, რომელიც ქსოვილის სუნთქვას აწესრიგებს. მისი კატალიზური მოქმედების შეწყვეტა იწვევს ქსოვილების სუნთქვის დარღვევას, რაც ცოცხალი ორგანიზმის სიკვდილით თავდება.

## მიკროელემენტების როლი ცოცხალ ორგანიზმებში. s-, p-, d-ელემენტები

### s-ელემენტები

ელემენტებს, რომელთა ატომებში ხდება S ორბიტალების შევსება, ეწოდება – s-ელემენტები. მათ მიეკუთვნება პერიოდული სისტემის I და II ჯგუფის მთავარი ქვეჯგუფის ელემენტები და აგრეთვე He.

s-ელემენტების იონების როლი ცოცხალი ორგანიზმებისთვის ძალზე დიდია. ისინი მონაწილეობას ღებულობენ ორგანიზმის ბუფერული სისტემების შექმნაში, უზრუნველყოფენ საჭირო ოსმოსური წნევისა და მემბრანული პოტენციალების წარმოქმნას. Na და K მონაწილეობენ ნერვული იმპულსის გადაცემაში, ხოლო Mg და Ca შესაბამისი სტრუქტურების წარმოქმნაში.

**Li** – მიეკუთვნება შეუცვლელ ელემენტს ადამიანის ორგანიზმში. მისი შემცველობა ტოლია  $1 \cdot 10^{-4}$  %; შედარებით მაღალია მისი კონცენტრაცია კუნთებში. ლითიუმი ორგანიზმიდან აძევებს Na და K, რის შედეგადაც ქსოვილებში იზრდება Li კონცენტრაცია. ლითიუმი გარკვეულ გავლენას ახდენს კუნთის უჯრედებში Na და K ტრანსპორტირებაზე, ცენტრალურ ნერვულ სისტემაზე და სხვა.

ლითიუმის კონცენტრაციის გაზრდა თერაპიულ დოზასთან შედარებით,  $0,8 \cdot 10^{-6}$  მოლ/ლ-ში, იწვევს ხელების კანკალს, თირკმლის პათოლოგიას (გამოწვეულია Na-ის გაძევებით და ორგანიზმის გაუწყლოებით).

**Li Br** – დამაწყნარებელი საშუალებაა;

**Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>** – ფსიქოზის მძიმე ფორმების სამკურნალო საშუალებაა.

**Na** – საერთო რაოდენობა ორგანიზმში 0,25%-ია. დღე-ღამეში ორგანიზმს სჭირდება 4-7 გრამი ნატრიუმი. Na მოთავსებულია უჯრედშორის სითხეში. ის მონაწილეობს ნერვული იმპულსის გადაცემაში, არეგულირებს წნევას და pH-ს, ზრდის ცილების ჰიდრო-

სკოპიულობას.

ორგანიზმში ნატრიუმის კონცენტრაციის შემცირება იწვევს ოსმოსური წნევის შემცირებას – ჰიპოსმოია.

Na-ის ნაკლებობისას წყალი იჭრება ერთორციტებში, თავის ტვინის უჯრედებში, რასაც მივყავართ ჰემოლიზთან, სისხლის შედეგებასთან. იწყება წნევის შემცირება, ტაქიკარდია, თვალის კუნთის სპაზმი, ტვინის შეშუპება, ცენტრალური ნერვული სისტემის დარღვევა.

Na-ის სიჭარბისას წყალი გადმოდის უჯრედშორის სითხეში, რასაც ახლავს შეშუპება, უჯრედი კარგავს წყალს და კვდება. იზრდება არტერიული წნევა (ჰიპერტონია).

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$  – გამოიყენება  $\text{F}^-$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{As}^{+3}$ ,  $\text{Hg}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$  – იონების შემცველი სხვადასხვა ნივთიერებებით მოწამვლის დროს.

$\text{NaCl}$  - 0,9%-იან ხსნარს იზოტონური ხსნარი ეწოდება, ხოლო 3,5 და 10%-იანს – ჰიპერტონური ხსნარი. მათ იყენებენ ქირურგიაში – დაჩირქებული ჭრილობების მკურნალობის დროს საფენების სახით.

$\text{NaHCO}_3$  – გამოიყენება გაზრდილი მჟავიანობის დროს, წყლულოვანი დაავადებების, ლარინგიტის, დიაბეტის, ზემო სასუნთქი გზების კატარის, სტომატიტის მკურნალობის დროს. ასევე, მჟავით დამწვრობისას, რადგან გააჩნია ტუტე რეაქცია და მისი მოქმედებით იზრდება ხსნარის ფუძიანობა. მისი გამოყენება იწვევს დიდი რაოდენობით  $\text{CO}_2$ -ის გამოყოფას, რაც ნაწლავის ლორწოვან გარსს აღიზიანებს. ამიტომ გამოიყენება აღსორბენტთან (გააქტივებული ნახშირი) ერთად.

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$  – საფალარათო და სასაქმებელი საშუალება.

S-ელემენტებიდან ორგანიზმში ძირითადად შეიცავს:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  იონებს.

**K**-ის საერთო შემცველობა ორგანიზმში 0,22%-ია; დღელამური ნორმა ტოლია 2-3 გ. K-ის იონები, ისევე როგორც Na-ის, მონაწილეობას ღებულობს ნერვული იმპულსის გადაცემაში და უზრუნველყოფს კუნთის უჯრედის ნორმალურ აგზნებას.  $\text{K}^+$ -იონებს შეიცავს ღვიძლი, თირკმელი, გული, ტვინი, სისხლი, და სხვა.

ვიციტ, რომ  $\text{Na}^+$ -ის იონები მოთავსებულია უჯრედშორის სითხეებში, მაშინ, როცა  $\text{K}^+$ -ის იონები უჯრედში 115 მმოლი/ლ ან 133-140 გ-ია.

$\text{K}^+$ -ის შემცირებისას სისხლში (ჰიპოკალიემია) ხდება ნერვულ-კუნთოვანი მოქმედების და ცილების სინთეზის დათრგუნვა; იწყება ცილების დაშლა, კუნთების მოღუნება, დაღლილობა, გულის რევა, გულის მუშაობის რიტმის დარღვევა, არტერიული წნევის მომატება, შესაძლებელია დამბლა.

$\text{K}^+$ -ის სიჭარბე იწვევს თირკმელების დაავადებას, ერთთროციტების დაშლას (ჰემოლიზი), ფუძე-მჟავური წონასწორობის დარღვევას და გულის კუნთის მუშაობის სპეციფიკურ დარღვევას.

**KBr** და **NaBr** – გამოიყენება როგორც სედატიური საშუალება. იგი ამუხრუჭებს თავის ტვინის ქერქში მიმდინარე პროცესებს. გამოიყენება ნევრასთენიის და ნევროზის დროს. ამ ნაერთების დიდი რაოდენობით მიღება იწვევს მოწამვლას, რადგან  $\text{Br}$ -ის იონები ნაწილობრივ გარდაიქმნება  $\text{Br}_2$  მოლეკულად. ის მომწამვლელია.

**KJ** და **NaJ** – გამოიყენება თვალის დაავადებების – კატარაქტის და გლაუკომის დროს.

**KCl** – გამოიყენება გულის კუნთის რიტმის დარღვევის დროს, რაც გამოწვეულია მიოკარდის უჯრედის  $\text{K}^+$ -ით გამოფიტვაში. იყენებენ ჰიპოკალიემიის დროს, რაც დაკავშირებულია შარდმდენი საშუალებების ხანგრძლივ გამოყენებასთან.

**Mg** – ორგანიზმში მნიშვნელოვანი ელემენტია. დღეღამური დოზაა 28 გ. მოთავსებულია უჯრედშორის და უჯრედის სითხეში, კბილის ემალში, ძვლებსა და კუნთებში. ორგანიზმში გვხვდება თავისუფალი და იონური სახით.

$\text{Mg}$ -ის ნაერთები დიდ როლს ასრულებენ ცენტრალური ნერვული სისტემის რეგულირებაში. მონაწილეობენ  $\text{K}^+$  და  $\text{Ca}^{+2}$  იონების მიმოცვლაში.

$\text{Mg}^{+2}$ -ის ნაკლებობა იწვევს კიდურების ზრდის შეფერხებას.

$Mg^{+2}$ -ის სიჭარბე სისხლში იწვევს ძილის შეგრძნებას, გრძნობის დაკარგვას, ჩონჩხის კუნთების დამბლას. ხოლო თუ კონცენტრაცია  $>9$  მმოლ/ლ-ზე, ადგილი აქვს ღრმა ნარკოზს. დიდი რაოდენობით მიღება იწვევს ორგანიზმიდან  $Ca^{+2}$ -ის გამოდევნას.

**MgO** – გამოიყენება მჟავებით მოწამვლისას და როგორც სასაქმებელი საშუალება. მისი ჭარბი რაოდენობით მიღება იწვევს ცხვირიდან სისხლის დენას, მუცლის ტკივილს, ხველებას და სხვა.

**MgSO<sub>4</sub> x 7H<sub>2</sub>O** – ინგლისური მარილი, გამოიყენება როგორც საფაღარათო, შარდმდენი და ნალველმდენი საშუალება. დამაწყნარებლად მოქმედებს ნერვულ სისტემაზე. დიდი რაოდენობით მიღება იწვევს მოღუწებას, სისუსტეს, ხოლო ძალიან დიდი რაოდენობა – ნარკოტიკულ ეფექტს. ლითონური Mg იწვევს მოწამვლას, ლებინებას და თმის ცვენას.

**Ca** შემცველობა ორგანიზმში 1050 გ-ია და ძვლების შემადგენელი ძირითადი ნაწილია  $[Ca_3(PO_4)_2]$ ; შედის სისხლის შემადგენლობაში 12 მმოლი/ლ; სისხლის პლაზმაში 4,5-5,7 მმოლი/ლ. დღელაშური ნორმაა 0,7 გ.

$Ca^{+2}$ -ის შემცველობაზე არის დამოკიდებული ჩონჩხის სიმაგრე, ძვლის ზრდა. მონაწილეობს უჯრედის ცხოველმოქმედებაში: ნერვული იმპულსების გადაცემაში, კუნთის შეკუმშვის პროცესში, არეგულირებს გულის მუშაობას, სისხლის შედედება ხდება მხოლოდ  $Ca^{+2}$ -ის თანაობისას.

$Ca^{+2}$  სიმცირისას ადგილი აქვს კრუნჩხვებს, იზრდება ნერვული და კუნთოვანი სისტემების აგზნება.

თუ  $Ca^{+2}$  კონცენტრაცია დაეცა 2,5 მმოლი/ლ-მდე, შესაძლებელია გონების დაკარგვა და სიკვდილი.

$Ca^{+2}$ -ის სიჭარბე იწვევს ჰიპოკალიემიას,  $Ca^{+2}$  მარილების დალექვას.

**CaCl x 6H<sub>2</sub>O** – გამოიყენება სისხლის შესადეებლად, ბრონქიალური ასთმის სამკურნალოდ, ანტიალერგიულია.

**CaO** – გამოიყენება სტომატოლოგიაში.

$\text{CaSO}_4 \cdot x \text{2H}_2\text{O}$  – გამოიყენება ქირურგიასა და სტომატოლოგიაში (თაბაშირი).

$\text{CaCO}_3$  – გამოიყენება საყლაპავი მილის მკურნალობისას.

$\text{Ca}^{+2}$ -ის ყველა მარილი ანტიალერგიულია.

**S** – ორგანიზმში 0,16%-ია; დღელამური დოზა 4-5 გ-ია; შედის ამინოჟავების, ჰორმონების, ვიტამინების შემადგენლობაში.

## **P-ელემენტები**

P-ელემენტებს წარმოადგენს ის ელემენტები, რომელთა სავალენტო ელექტრონები მოთავსებულია P-ორბიტალზე; ეს არის პერიოდული სისტემის III-VII ჯგუფის მთავარი ქვეჯგუფის ელემენტები.

განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი და მათი ბიოლოგიური როლი.

**B** – ბორს ცოცხალი ორგანიზმი შეიცავს  $10^{-5}$  % (მას). მისი დაგროვება ხდება ძირითადად ფილტვებში – 0,37 მგ, ფარისებრ ჯირკვლებში – 0,30 მგ; ელენტაში, ღვიძლში, ტვინში, თირკმელებში, გულის კუნთში. B-ის სიჭარბე იწვევს ნივთიერებათა ცვლის მოშლას და ვითარდება ენტერიტი (წვრილი ნაწლავის ანთება). B-ის ნაერთები ხასიათდება ანტიესპტიკური და ანთების საწინააღმდეგო თვისებებით.

აღსანიშნავია  $\text{H}_3\text{BO}_3$  – ბორის მჟავა, რომელიც სუსტი მადე-ზინფიცირებელი თვისებებით ხასიათდება. გამოიყენება ოფთალ-მოლოგიაში, ოტორინოლარინგოლოგიაში, დერმატოლოგიაში.

**Al** – ალუმინი ცოცხალი ორგანიზმისთვის შეუცვლელი მიკრო-ელემენტია, ცოცხალი ორგანიზმი შეიცავს  $1,10^{-5}$  % (მას). Al-ის დაგროვება ძირითადად ხდება სისხლის შრატში, ფილტვებში, ღვიძლში, თირკმელებში და სხვა. ალუმინის დღელამური მოთხოვნა შეადგენს 49 მგ. იგი მონაწილეობს ეპითელური და შემაერთებელი ქსოვილების აგებულებაში, რომლებიც მთელი ორგანიზმის მასის 50%-ს შეადგენს;

ძვლის ქსოვილის რეგენერაციაში, ფოსფორის მიმოცვლაში.

$\text{Al}(\text{SO}_4)_3$  – ალუმინის სულფატი 0,001-0,1 დოზით ზრდის პანკრეატიტის ფერმენტის აქტივობას.  $\text{Al}^{3+}$  იონის შემცველი პრეპარატები ხასიათდება შემკვრელი, ანთების საწინააღმდეგო და ანტიმიკრობული თვისებებით.

$\text{Al}(\text{OH})_3$  – ალუმინის ჰიდროქსიდი გამოიყენება, როგორც გარეგანი საშუალება დერმატოლოგიაში.

$\text{KAl}(\text{SO}_4) 2 \cdot 12\text{H}_2 \text{O}$  – ალუმინის შაბი გამოიყენება წყალხსნარების სახით, როგორც შემკვრელი, ანთების საწინააღმდეგო და სისხლის აღმდგენი საშუალება.

**C** – ნახშირბადს ორგანიზმი შეიცავს 21,15 %(მას). ბიოქიმიური თვალსაზრისით იგი ძირითადი ელემენტია ცოცხალ სამყაროში. ნახშირბადი შედის ყველა ქსოვილისა და უჯრედის შედგენილობაში და, აგრეთვე, ბიოლოგიურად მნიშვნელოვან ნაერთებში: ცილებში (50,6-54%), ვიტამინებში, ჰორმონებში, ფერმენტებში და სხვა.

მელიცინაში იყენებენ ნახშირბადის (IV) ოქსიდის (3-5%) ნარევის ჟანგბადთან (95-97%). იგი მასტიმულირებელ გავლენას ახდენს სუნთქვის ცენტრზე. ამ ნარევის იყენებენ შოკის დროს.

$\text{CO}_2$ -ის შემცველი სასმელები ზრდის საყლაპავი მილის სეკრეტორულ ფუნქციას და საკვების შეწოვის უნარს. თხევადი  $\text{CO}_2$  ოთახის ტემპერატურაზე გარდაიქმნება “მშრალ ყინულად“. ამ თვისებას იყენებენ ჰისტოლოგიაში ქსოვილების გაყინვისათვის.

გააქტივებული ნახშირი ხასიათდება სხვადასხვა აირისა და ტოქსინების კარგი ადსორბციის უნარით.

**Si** – სილიციუმის შემცველობა ორგანიზმში არის  $1 \times 10^{-3}\%$  (მას). ყველაზე დიდი რაოდენობით Si-ს შეიცავს ღვიძლი, თირკმელზედა ჯირკვალი, თმა და სხვა. იგი ორგანიზმში ხვდება არა მარტო საკვებ პროდუქტებთან ერთად, არამედ ფილტვების საშუალებით  $\text{SiO}_2$ -ის სახით. სილიციუმი გარკვეულ როლს ასრულებს ეპითელიური და შემაერთებული ქსოვილების ფორმირებასა და ნორმალურ ფუნქ-

ციონირებაში; უზრუნველყოფს მის სიმტკიცეს, ელასტიკურობასა და შეღწევადობას.

სილიციუმის კარბიდი გამოყენება სტომატოლოგიაში. Si-ი და მისი ნაერთები გამოიყენება ორთოპედიაში. Si ცოცხალი ორგანიზმისთვის აუცილებელი მიკროელემენტია.

**N** – აზოტი მიეკუთვნება არალითონურ სასიცოცხლო ელემენტებს, როგორცაა H, C, O, S, P; მათ შეიცავს ადამიანის ორგანიზმი მასით 97,4%; აზოტის წილია 3,1%(მას). თხევადი აზოტი ეფექტური საშუალებაა კანისა და ლორწოვანი გარსის დაავადებების მკურნალობისას.

**N<sub>2</sub>O** - გამოიყენება ქირურგიული ოპერაციების დროს, როგორც მსუბუქი ნარკოზული საშუალება.

**NH<sub>4</sub>OH** - ნიშადურის სპირტი შეიცავს 9,5-10,5% NH<sub>3</sub>. იგი ფართოდ გამოიყენება სამედიცინო პრაქტიკაში, ჩასუნთქვის დროს აღიზიანებს ზედა სასუნთქი გზების რეცეპტორებს და იწვევს ცენტრალური ნერვული სისტემის აგზნებას.

**NaNO<sub>2</sub>** - სპაზმოლიტური საშუალებაა; გულ-სისხლძარღვთა გამაფართოებელი, რომელიც მოქმედებს ნელ-ნელა, 15 წთ-ის განმავლობაში და მოქმედება გრძელდება 1-2 საათი.

**NH<sub>4</sub>Cl** - გამოიყენება, როგორც შარდმდენი საშუალება. უკმარისობით გამოწვეული შეშუპების დროს.

**P**-ის შემცველობა 0,95%-ია ორგანიზმში, დღეღამური ნორმა 1,3 გ; ფოსფორის 85%-ს შეიცავს ძვლები, კბილების ძვლოვანი ქსოვილის ნაერთები. ფოსფორი ატფ-ის და სხვა მაკროერგული ნაერთების ძირითადი შემადგენელი კომპონენტია. P-ის კონცენტრაციის ცვლილებასთან ერთად იზრდება Ca-ის კონცენტრაცია.

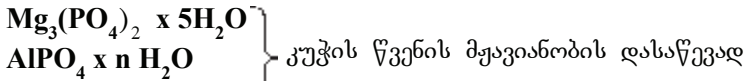
**H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>** და მისი მარილები მონაწილეობს ცილების, ცხიმების, ნახშირწყლების და ვიტამინების მიმოცვლაში; ქმნის ბუფერულ სისტემას, რომელიც არეგულირებს ქსოვილში pH-ს.

დენოზინტრიფოსფორმჟავა – ატფ არის ერთ-ერთი ბიოლოგიუ-

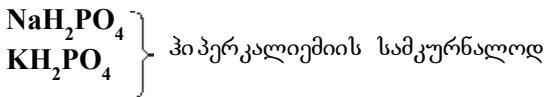
რად აქტიური ნივთიერება. ატფ-ის გლუკოზასთან ურთიერთქმედებით ხდება გარკვეულწილად ენერგიის მარაგის გადაცემა. ამიტომ, რომ ატფ უჯრედებში ასრულებს ენერგიის დამგროვებლის ფუნქციას. ამრიგად, ბიოლოგიურ სისტემებში ატფ არის ენერგიის უნივერსალური წყარო.

ფოსფორს დიდი რაოდენობით (85%) შეიცავს ლულოვანი ძვლები, კბილები და სხვა ძვლოვანი ქსოვილი ნაერთის სახით.

ფოსფორისა და ვიტამინ D-ს უკმარისობის დროს ვითარდება დავადება – რაქიტი. P-ის აუცილებლობა ცოცხალი ორგანიზმისათვის გამოიხატება იმაში, რომ შაქრებს და ცხიმოვან მჟავებს ვერ იყენებს უჯრედი, როგორც ენერგიის წყაროს, თუ წინასწარ არ მოხდება ამ მოლეკულების ფოსფორილირება.



$\text{NaH}_2\text{PO}_4$  შარდმდენია, იყენებენ სტენოკარდიის და ჰიპერტონიული დაავადებების დროს.



**O** – ჟანგბადს ორგანიზმი შეიცავს 62,43% (მას), მოზრდილი ადამიანი ნორმალურ მდგომარეობაში იყენებს 264 ნმ<sup>3</sup> წუთში ჟანგბადს. **O** მონაწილეობს ყველა სახის ნივთიერებათა ცვლაში. ჟანგბადი 21,5-23,5% რაოდენობით შედის ცილებში, ფერმენტებში, ჰორმონებში, ვიტამინებსა და სხვა ბიოპოლიმერებში. ჟანგბადს იყენებენ მედიცინაში ჟანგბადის უკმარისობის, ფილტვების შეშუპების, HCN მოწამვლის დროს.

**F** – ფთორს ორგანიზმი შეიცავს 10<sup>-5</sup> %(მას); შედის თითქმის ყველა ორგანოში. ყველაზე მეტს შეიცავს თმა და ძვალი. ორგანიზმის დღეღამური მოთხოვნილებაა 1-2 მგ; მონაწილეობს ძვლის ქსოვილისა და კბილის ემალის ფორმირებაში.

F-ორგანიზმის ნორმალური ზრდისათვის აუცილებელია; უკმარისობა იწვევს ანემიას. სასმელ წყალში F არსებობა აუცილებელია. იყენებენ კბილის კარიესის პროფილაქტიკაში, ჩიყვის სამკურნალოდ.

**Cl** – ქლორის შემცველობა ორგანიზმში არის  $1.10^{-2}\%$ (მას). იგი ძირითადად არაუჯრდისეულ სითხეშია. დღეღამური დოზაა 4-6 გ; მონაწილეობს სისხლის ბუფერული სისტემების წარმოქმნაში, ოსმოსური წნევის რეგულირებაში, ნივთიერებათა ცვლაში. გამოიყენება საღებინფექციოდ.

**HCl** – ხელს უწყობს საჭმლის მონელებას და Fe (II)-ის იონის შეწოვას.

**Br** – ბრომის შემცველობა ორგანიზმში არის  $10^{-4}\%$  (მას). დღეღამური დოზაა 0,821 მგ. შედის ყველა ორგანოსა და ქსოვილის შემადგენლობაში, ფარისებრ ჯირკვალში.

ბრომი ზრდის ცენტრალური ნერვული სისტემის შეკავებით პროცესებს; მონაწილეობს სასქესო ჰორმონების ბიოსინთეზში. გამოიყენება ნევროზის, ნევრასთენიის მკურნალობისას.

**J** – იოდი მონაწილეობს ფარისებრი ჯირკვლის ჰორმონების მეტაბოლიზმში. იგი შეუცვლელ როლს ასრულებს ძირითადად ფარისებრი ჯირკვლის ფუნქციონირებაში.

J-ის უკმარისობა იწვევს სისუსტეს, კანის გაყვითლებას, სიცხის შეგრძნებას. J-ის უკმარისობა განსაკუთრებით გავლენას ახდენს ბავშვთა ჯანმრთელობაზე, ვერ ვითარდებიან ფიზიკურად და გონებრივად. ორსულობის დროს იოდდეფიციტური დიეტა იწვევს ჰიპოთირეოიდული ბავშვის დაბადებას (ჰიპოთირეოზი – ფარისებრი ჯირკვლის ფუნქციის დაქვეითება და ამით განპირობებული ავადმყოფური მდგომარეობა – კრეტინიზმი).

ფარისებრი ჯირკვლის ჰორმონის სიჭარბე იწვევს ორგანიზმის დაკნინებას, ნერვიულობას, წონაში დაკლებასა და ოფლიანობას, რაც

დაკავშირებულია პეროქსიდაზური აქტივობისა და ამის ხარჯზე თირეოგლობულინების იოდირების გაზრდასთან. ჰიპერთირეოზი შეიძლება გახდეს ფარისებრი ჯირკვლის სიმსივნური დაავადების მიზეზი. მის სამკურნალოდ იყენებენ იოდის რადიოაქტიურ იზოტოპს, რომელსაც ადვილად ითვისებს ფარისებრი ჯირკვლის უჯრედები.

J-ის სიჭარბე იწვევს ნერვულ აგზნებას, წონაში დაკლებას და ოფლიანობას.

## დ-ელემენტები

დ-ელემენტები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ ბიოლოგიურ სისტემაში, მათ მიეკუთვნება ყველა თანაური ქვეჯგუფის ელემენტი.

ორგანიზმში Fe, Mn, Co, Mo, Cu, Zn, Ni მიკროელემენტების კონცენტრაციის ცვლილება განაპირობებს მრავალ დაავადებას.

I ჯგუფის თანაური ქვეჯგუფის ელემენტები: **Cu, Ag** და **Au**.

**Cu** – საერთო შემცველობა ორგანიზმში  $1.10^{-4}$  % (მას). დღე-ღამური დოზაა 2-3 გ. გავრცელებულია ღვიძლში, ტვინში, ძვლის ქსოვილებში. Cu-ის შემცველობა პრინციპულ გავლენას ახდენს წყლისა და მინერალების ბალანსზე; Cu-შეუცვლელი ელემენტია სისხლის წარმოქმნის დროს. Cu უერთდება სისხლის შრატს, ცილის ალბუმინს და გადადის ღვიძლში, ხოლო შემდეგ ბრუნდება სისხლში ცისფერი ცილის სახით.

Cu-ის კონცენტრაციის გაზრდა იწვევს ცენტრალური ნერვული სისტემის ფუნქციის მოშლას, ვილსონის დაავადებას.

დადგენილია, რომ ანთებითი პროცესების დროს Cu-ის შემცველობა სისხლში ოთხჯერ იზრდება. ეს შეიძლება გამოვიყენოთ როგორც ტესტი – ორგანიზმში ანთებითი პროცესის დადგენის მიზნით.

$\text{CuSO}_4$  – ზრდის ორგანიზმის იმუნობიოლოგიურ რეაქტიულობას, ანტისეპტიკურია, შემკვრელი. გამოიყენება მოწვის საშუალებად, ასევე, როგორც სასაქმებელი საშუალება თეთრი ფოსფორით მოწამვლისას;

$\left. \begin{matrix} \text{Cu}_2\text{O} \\ \text{CuO} \end{matrix} \right\}$  შედის ბაქტერიოციდული ცემენტის შემადგენლობაში.

II ჯგუფის თანაური ქვეჯგუფის ელემენტები: **Zn, Cd, Hg.**

**Zn** – რკინის მსგავსად მიეკუთვნება შეუცვლელ მიკროელემენტებს. ადამიანის ორგანიზმში მისი საერთო შემცველობა –  $1 \cdot 10^{-3}$  % (მას). თუთია იოლად იხსნება მჟავებსა და ძლიერ ტუტეებში კომპლექსების წარმოქმნით; ბევრი ფერმენტის შემადგენელი კომპონენტი და მონაწილეობას ღებულობს რიგ პროცესებში.

ორგანიზმში თუთიის შეწოვა ხდება ნაწლავის ლორწოვანი გარსით, შემდეგ გადადის სისხლში (თუთიის ტრანსპორტირებაში მონაწილეობას ღებულობს პლაზმის ცილები და ერთროციტები). Zn-ის ძირითად მასას შთანთქავს ღვიძლი, კუჭქვეშა ჯირკვალი და თირკმელები. ეს ორგანოები ხელს უწყობენ აგრეთვე თუთიის გამოყოფას. სისხლში თუთიის შემცველობა მუდმივია. ორგანიზმში თუთიის შეწოვასა და გამოყოფას შორის არსებობს წონასწორობა. დადგენილია მისი ყველაზე მაღალი კონცენტრაცია ჰიპოფიზში, კუჭქვეშა ჯირკვალში, სასქესო ჯირკვლებსა და ღვიძლში.

სისხლში თუთიის შემცველობა დამოკიდებულია ასაკზე. ახალდაბადებული შეიცავს ყველაზე მცირე რაოდენობით, ასაკის შესაბამისად მისი რაოდენობა იზრდება და 18 წლისათვის ხდება სტაბილური.

თუთიის შემცველობა სისხლის შრატში იზრდება ჰიპერტონიული დაავადებების დროს, ხოლო მცირდება ღვიძლისა და თირკმელების ქრონიკული დაავადებებისას. ალერგიის დროს თუთიის შემცველობა იზრდება ეოზინოფილებში. მოიკარდით დაავადებულ ადამიანებში იცვლება თუთიის შემცველობა და ამას იყენებენ, როგორც ტესტს ავადმყოფის მკურნალობისას. ღვიძლის ციროზისა და რიგი სხვა დაავადებების დროს შემჩნეულია თუთიის შემცველობის ცვლილება სისხლში, მაგრამ ცვლილების მექანიზმი დღემდე უცნობია.

მოზრდილი ადამიანის დღეღამური მოთხოვნილება თუთიაზე დაახლოებით 10-16 მგ-ია. თუთიის საჭირო რაოდენობას ორგანიზმი იღებს საკვებთან ერთად. თუთიის შეწოვა ხდება წვრილი ნაწლავის ზედა

ნაწილში და დამოკიდებულია საკვების ცილოვან შედგენილობაზე.

საკვებში თუთიის უკმარისობა იწვევს ორგანიზმის ნორმალური ზრდა-განვითარების შეფერხებას. ისეთ ქვეყანაში, სადაც ძირითადი საკვები პროდუქტი თევზია, რომელშიც Zn-ის შემცველობა ძალზე მცირეა, ნათლად იგრძნობა ბავშვთა განვითარებლობა – “ქონდრისკაცობა“. კლინიკურად ასეთი ადამიანები ნორმალურად არ ვითარდებიან, ხდება სქესობრივი მომწიფების შეჩერება. ორგანიზმში  $ZnSO_4$ -ის დამატებით (20 მგ დღე-ღამეში), აღწევენ მნიშვნელოვან ეფექტს – სწრაფად იწყება ორგანიზმის ნორმალური ზრდა განვითარება.

ორგანიზმიდან თუთიის 90% გამოიყოფა განავალთან ერთად, ხოლო დანარჩენი – ოფლისა და შარდის სახით. დადგენილია, რომ ორგანიზმში შეტანილი და გამოყოფილი თუთიის რაოდენობა ტოლია.

**Hg** – ვერცხლისწყალს ადამიანის ორგანიზმი დღე-ღამეში საშუალოდ 0,02–0,05 მგ-ის ოდენობით იღებს. ვერცხლისწყალი ზრდის ორგანიზმის იმუნობიოლოგიურ მდგრადობას გარემოს მოქმედების მიმართ. თვით ვერცხლისწყალს და მის ნაერთებს ახასიათებს მაღალი ტოქსიკურობა. Hg (II)-ის ნაერთები ვერ ლახავენ სისხლსა და ტვინს შორის არსებულ ფიზიოლოგიურ ბარიერს, ამიტომ მათი ტოქსიკური მოქმედება შეიძლება გამოვლინდეს ორგანიზმის ნებისმიერ ორგანოში, გარდა ტვინისა. ამავე დროს, პირიქით,  $[HgCl]^{+}$  კომპლექსური კათიონის კარგი ხსნადობა ცხიმებში აპირობებს ვერცხლისწყლის დაგროვებას ტვინში, სადაც მის მიერ წარმოქმნილი მტკიცე ბმები იწვევს შეუქცევად დაშლას. ვერცხლისწყლით მოწამვლის ადრეული სიმპტომია ნერვული დაბოლოებების მგრძობელობის დაკარგვა. შემდეგ ადამიანი სიარულის დროს კარგავს კოორდინაციას, მეტყველება ხდება გაუგებარი; შემდეგი სტადიაა მხედველობის, სმენის დაკარგვა, კომური (უგონო) მდგომარეობა და სიკვდილი. აღნიშნულ ტოქსიკურ მოქმედებას ამცირებს სელენის არაორგანული ნაერთები.

გარდა აღნიშნულისა, ვერცხლისწყლის ზოგ ნაერთს აქვს სამკურნალო დანიშნულება, იყენებენ ანტიესპტიკურ და პარაზიტების საწინა-

აღმდეგო საშუალებად, ათამანგის სამკურნალოდ და შარდმდენად. **HgCl<sub>2</sub>** ძლიერი საწამლავია, რომელსაც 1:1000 განზავებით იყენებენ ღეზინფექციისათვის.

VI ჯგუფის თანაური ქვეჯგუფების ელემენტები: **Cr, Mo, W.**

**Cr** – მნიშვნელოვანი ელემენტია. მისი კომპლექსწარმოქმნის უნარი განსაზღვრავს ბიოლოგიურ აქტივობას. ქრომი დადებით გავლენას ახდენს სისხლის წარმოქმნის პროცესსა და ფერმენტების აქტივობაზე; მონაწილეობს ნუკლეინის მჟავების სტრუქტურების სტაბილიზაციაში. ქრომის ნაერთები ხასიათდება სიმსივნის საწინააღმდეგო მოქმედებით.

Cr ადამიანის ქსოვილში არის 0,02-0,04 მგ/კგ მშრალ ნივთიერებაზე, ხოლო საერთო შემცველობა მოზრდილი ადამიანის ორგანიზმში 0,6 მგ-ია; მამაკაცის სისხლში –5,9-3,5 მგ-ია, ხოლო ქალის სისხლში 4,6 მგ. პლაზმაში გლუკოზის შემცველობის პროპორციულად იცვლება ქრომის კონცენტრაცია.

Cr-ის უკმარისობა იწვევს ზრდის დათრგუნვას, სიცოცხლის ხანგრძლივობის შემცირებას; გლუკოზის, ლიპიდებისა და ცილების მიმოცვლის მოშლას. იშემიური დაავადების ყველა სტადიას თანახლავს ორგანიზმში ქრომის უკმარისობა.

**Mo** (მოლიბდენი) – გროვდება ღვიძლში, თირკმელში და შინაგანი სეკრეციის ჯირკვლებში. დღეღამური მოთხოვნილება მასზე შეადგენს 0,15-0,3 მგ. Mo არის ზოგი ფერმენტის შეუცვლელი კომპონენტი და აქტივატორი. იგი დადებით გავლენას ახდენს ჰემოგლობინის სინთეზზე. ორგანიზმში Mo კონცენტრაციის გაზრდა, ნორმასთან შედარებით, იწვევს ჭარბი შარდმჟავას წარმოქმნას, თირკმელები ვეღარ ასწრებენ ორგანიზმიდან მის გამიტანას, სახსრებში და მყესებში გროვდება ამ მჟავებში ხსნადი მარილები, რაც იწვევს სახსრების ტკივილს. Mo დეფიციტი ორგანიზმზე უარყოფითად მოქმედებს.

ორგანოებსა და ქსოვილებში მოლიბდენის კონცენტრაციის გაზრდა იწვევს სისხლში მიკროელემენტების – რკინის, სპილენძისა და თუთიის კონცენტრაციის შემცირებას. Mo აძეკებს ღვიძლიდან სპილენძს, ხოლო ძვლებიდან – ფოსფორს. არსებობს მონაცემები Mo

კავშირის შესახებ ვიტამინ C-სა და B<sub>12</sub>-თან, თირკმელებში 5-ჯერ მცირდება Mo შემცველობა ვიტამინ C-ს ნაკლებობის დროს.

**Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>** ზრდის სისხლის ფაგოციტურ აქტივობას (ორგანიზმის დაცვით რეაქციას).

**(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>**-ს იყენებენ, როგორც მადეზინფიცირებელ საშუალებას „რბილ“ პირობებში ატმოსფერული აზოტის ფიქსაციის რეაქციებში, რასაც უდიდესი ბიოქიმიური მნიშვნელობა აქვს.

VII ჯგუფის თანაური ქვეჯგუფის ელემენტი **Mn**.

**Mn**-ის როლი ბიოლოგიურ პროცესებში ძალზე დიდია, განსაკუთრებით, ნივთიერებათა ცვლაში. მას ყველაზე დიდი რაოდენობით შეიცავს ფილტვები და კუნთები 0,02-0,08მგ, ღვიძლი 0,012-0,5მგ. თავის ტვინი, თირკმელები, ელენთა, ძვლები და სხვა.

ადამიანის ორგანიზმი Mn-ს ლეზულობს ძირითადად მცენარეული პროდუქტების სახით, მასზე დღელამური მოთხოვნილებაა 5-7 მგ. მანგანუმის შემცველობის შემცირება იწვევს ძვლის ქსოვილების დეგრადაციას.

**MnCl<sub>2</sub>** და **MnSO<sub>4</sub>**-ს იყენებენ ორსულების და მშობიარობით გამოწვეული სხვადასხვა სახის ანემიის სამკურნალოდ; სიმსუქნის, ათეროსკლეროზის სამკურნალოდ.

**MnCl<sub>2</sub>** – მანგანუმის ქლორიდი, კონცენტრაციაზე დამოკიდებულებით, განსხვავებულ გავლენას ახდენს ცენტრალურ ნერვულ სისტემაზე.

**KMnO<sub>4</sub>** – კალიუმის პერმანგანატი მედიცინაში გამოიყენება, როგორც გარეგანი საშუალება. **KMnO<sub>4</sub>**-ის 0,01-0,1%-იან ხსნარს იყენებენ, როგორც გამოსავლებ და კუჭის ამოსარეცხ საშუალებას (მოწამვლის დროს); 0,1-0,5%-იან ხსნარებს – ჭრილობების მოსაბანად; 5%-იან ხსნარს, როგორც სისხლის აღსადგენ საშუალებას.

Mn-ის შემცველობა სისხლში იზრდება ინფექციური ჰეპატიტის, ტუბერკულოზის დროს, ხოლო წყლულოვანი პროცესებისას – მცირდება. Mn-ის უკმარისობა ადამიანის ორგანიზმში აღმოჩენილი არ არის. Mn-ის მინიმალური რაოდენობა, რომელიც აუცილებელია

ნორმალური ზრდა-გამრავლებისათვის, ჩონჩხის განვითარებისათვის, ყოველთვის ერთი და იგივეა. ადამიანის კვების რაციონში საჭიროა 5-10 მგ/კგ.

Mn-ის დიდი რაოდენობა არის კაკალში, ჩაიში. მანგანუმი მცირე რაოდენობითაა ხორცში, თევზსა და რძის პროდუქტებში.

Mn-ის მაღალი კონცენტრაცია ხელს უშლის P-ის ათვისებას.

VIII ჯგუფის თანაური ქვეჯგუფის ელემენტები: **Fe, Co, Ni, Ru, Pd, Os, Jr, Pt.**

**Fe** – ცოცხალი ორგანიზმების ცხოველმყოფელობისათვის აუცილებელი ელემენტია. ადამიანის ორგანიზმში მისი საერთო შემცველობა –  $1 \cdot 10^{-5}$  % (მას). ორგანიზმში არსებული რკინა ასრულებს მაფუნქციონირებელ, მატრანსპორტირებელ და მთავრულერებელ ფუნქციას.

მაფუნქციონირებელ რკინას მიეკუთვნება ჰემოგლობინსა და ფერმენტებში შემავალი რკინა.

მატრანსპორტირებელი რკინა წარმოდგენილია ტრანსფერინით, ხოლო მთავრულერებელი – სარეზერვო რკინა-ფერიტინით.

ჰემოგლობინსა და მიოგლობინში, რომელთა ფუნქციაა ჟანგბადის გადაადგილება ორგანიზმში, Fe ინარჩუნებს დაჟანგვის რიცხვს (II). ჰემოგლობინსა და მიოგლობინის სახით მოზრდილი ადამიანის ორგანიზმი შეიცავს მთელი რკინის 65%.

ტრანსფერინები რკინის შემზოგველი ნივთიერებებია. მათი წარმომადგენლებია: ლაქტოფერინი (მიიღება რძისგან), კონალბუმინი (კვერცხის ცილისგან) და შრატის ტრანსფერინი. ყველაზე ფართოდ შესწავლილია შრატის ტრანსფერინი. ის რკინის გადამტანი ცილაა ელენტიდან და ლვიძლიდან ძვლის ტვინში, სადაც სპეციფიკურ უბნებში ხელმეორედ ხდება ჰემოგლობინის სინთეზი. ადამიანის ორგანიზმში არსებული ყველა შრატისეული ტრანსფერინი ერთდროულად იერთებს მხოლოდ 4 მგ რკინას და ყოველდღე ძვლის ტვინში გადააქვს 40 მგ რკინა.

ნორმალურ პირობებში, აკუმულირებული რკინის დიდი ნაწილი წარმოდგენილია ფერიტინის სახით, ხოლო დანარჩენი კი ჰემოსიდერინის სახით. ჰემოგლობინის დაშლის შედეგად მასში არსებული რკინა

დროებით გადადის ფერიტინში, რომელიც შემდგომ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ჰემოგლობინის სინთეზში. ორგანიზმში არსებული Fe-ის რაღაც ნაწილი ფერიტინისა და ჰემოსიდერინის სახით შეიძლება იმყოფებოდეს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. ეს მარაგი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სისხლის დაკარგვის დროს ან ნაყოფის განვითარებისათვის ფუნქციონირებისას.

ფერიტინის ფუნქციაა Fe (III)-ის შენახვა არატოქსიკურ, ხსნად, ადვილად მისაღწევი ფორმით. ფერიტინი ძირითადად გროვდება ღვიძლში, ძვლის ტვინში და ელენთაში.

რკინაზე ორგანიზმის მოთხოვნილება დღე-ღამეში შეადგენს 15-20 მგ. იგი აქტიურად მონაწილეობს ცოცხალი ორგანიზმის ჟანგვა-აღდგენით პროცესებსა და იმუნობიოლოგიურ რეაქციებში, რომლებიც აუცილებელია ზრდისა და სისხლის წარმოქმნის პროცესებისათვის. სუნთქვის პროცესში Fe როლი ის არის, რომ ქსოვილების უჯრედში რკინის კომპლექსური ნაერთები სუნთქვის პროცესების კატალიზს ახდენენ. აღსანიშნავია, რომ თავისუფალი რკინის შემცველობა სისხლის პლაზმაში ორგანიზმის დაავადების ბუნებაზე დამოკიდებულებით იცვლება და კონცენტრაციის ცვლილება შეიძლება გამოვიყენოთ, როგორც ამა თუ იმ დაავადების ტესტი. მაგალითად, ინფექციური ჰეპატიტის დროს Fe-ის კონცენტრაცია იზრდება დაავადების სიმძიმის პროპორციულად, ხოლო თორმეტგოჯა ნაწლავის წყლულოვანი დაავადების დროს ხდება მისი შემცირება.

რკინის შემცველობის ცვლილების ყველაზე ფართო ზღვრები დადგენილია მიოკარდის ინფარქტის დროს. ამ დროს ხდება Fe-ის მიმოცვლის მოშლა.

ჩვეულებრივი რაციონიდან ადამიანი ითვისებს, მხოლოდ 5-15% რკინას და ეს რაოდენობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ადამიანის ჯანმრთელობის მდგომარეობაზეც.

კუჭ-ნაწლავის ტრაქტიდან Fe-ის შეწოვა და მისი რაოდენობრივი კონტროლი ხდება ორგანიზმის მოთხოვნილების მიხედვით. შეწოვა ხდება ნაწლავის ლორწოვანი გარსით. შეწოვა წყდება, როდესაც მისი მარაგი საკმაოდ დიდია ორგანიზმში.

ჰემოგლობინის დაშლის შედეგად ნალველში რკინის შემცველობა

დღე-ღამეში 1 მგ აღწევს. შარდით გამოყოფილი Fe შეადგენს საშუალოდ 0,2-0,3 მგ დღე-ღამეში, ხოლო საერთო რაოდენობა – 0,6-1,0 მგ. ეს არ არის მცირე რაოდენობა, რადგან ორგანიზმი დღე-ღამეში ითვისებს მხოლოდ 1,0-1,5 მგ-მდე Fe-ს.

რკინის ბალანსის პრობლემა ქალებისათვის მნიშვნელოვნად უფრო რთულია, ვიდრე მამაკაცებისათვის. პრობლემა დაკავშირებულია ორსულობასთან და მშობიარობასთან.

**Co** – კობალტი არის ცხოველმყოფელობისათვის აუცილებელი მიკროელემენტი. აღსანიშნავია, რომ **Co**-ის შემცველობა ადამიანის ორგანიზმსა და ცხოველურ ორგანიზმებში ერთი და იგივეა, საშუალოდ 1,1 მგ. ადამიანის ორგანიზმის დღეღამური მოთხოვნილება **Co**-ზე შეადგენს 0,05-0,1 მგ. ორგანიზმს ჭარბი **Co** შემცველობის დროს უქვეითდება იმუნოგლობული რეაქციისუნარიანობა, ირღვევა პირობითად რეფლექსური მოქმედება, ზიანდება სისხლის წარმოქმნილი ორგანოები და სხვა.

ამჟამად **Co** მნიშვნელობა ადამიანისათვის, პირველ რიგში, განისაზღვრება ვიტამინ  $B_{12}$ -ით. იგი მონაწილეობას ღებულობს სისხლის (ერითროციტების) წარმოქმნაში. მას, როგორც პრეპარატს, იყენებენ ავთვისებიანი ანემიების მკურნალობისთვის და, შეიძლება ითქვას, რომ იგი ამ თვალსაზრისით ხასიათდება ყველაზე მაღალი ფიზიოლოგიური აქტივობით. დღე-ღამის განმავლობაში 2 მგ საკმარისია აღნიშნული ავადმყოფობის სამკურნალოდ.  $B_{12}$  არის კობალტის ერთადერთი კომპლექსნაერთი.

სამედიცინო პრაქტიკაში გამოიყენება აქვს აგრეთვე **Co**-ის არაორგანულ მარილებს – **Co(II)** სულფატს, **Co(II)** ქლორიდს და სხვა. კობალტის სულფატს იყენებენ ორსულობით და მშობიარობით გამოწვეული ანემიების სამკურნალოდ. კობალტის ქლორიდს კომპლექსურად იყენებენ მშობიარობის სტიმულაციისათვის და მშობიარობის შემდგომ საშვილოსნოდან სისხლდენის დროს.

**Co**-ის პრეპარატებს, მაგნიუმის პრეპარატებთან ერთად, ფართოდ იყენებენ სისხლძარღვების ანთებითი დაავადების, ლვიძლის დაავადების,

ეპილეფსიისა და ჰიპერტონიული დაავადებებისას.

Co-ის შემცველ შენადნობებს იყენებენ სტომატოლოგიურ პრაქტიკაში. Co-ის მრავალნაირი გამოყენების ასპექტი მიგვანიშნებს მის მნიშვნელოვან როლზე ცოცხალი ბუნების სინამდვილეში.

**Ni** – ნიკელის ძირითადი დეპოა ლვიძლი, თირკმელი და კუჭქვეშა ჯირკვალი. მისი პრეპარატები გარკვეულ გავლენას ახდენენ სისხლის წარმოქმნაზე, კერძოდ, სისხლის მორფოლოგიურ შედგენილობაზე. Ni-ს განსაკუთრებით დიდი რაოდენობით შეიცავს ჩაი (7,6 მგ/კგ) და წიწიბურა (6,4 მგ/კგ). ანემიის სხვადასხვა ფორმის დროს სისხლში Ni-ის შემცველობა მცირდება. ლეიკოზის მძიმე ფორმის დროს შენიშნულია ნიკელის კონცენტრაციის მკვეთრი ზრდა სისხლსა და ძვლის ტვინში.

Ni ითვლება ნაკლებტოქსიკურ ელემენტად. მისი რაოდენობა მცირდება ქრონიკული კორონარული უკმარისობის დროს. პირველ ხანებში ნიკელის კონცენტრაციის მკვეთრი გაზრდა შეიძლება ჩაითვალოს მიოკარდის ინფარქტის დიაგნოსტიკურ ტესტად.

## რეკომენდებული ლიტერატურა

- ასათიანი ა., ზაქარაია ა. ბიოლოგიური ფიზიკა. „განათლება“, თბ., 1991
- ბერეჟიანი ლ. ფიზიკური ქიმიის კურსი. „განათლება“, თბ., 1987
- გაბრიძე თ., არზიანი ბ. სამედიცინო ქიმია. „ინტელექტი“, თბ., 2003
- მანათაძე ც., ცინცაძე შ., შამულაშვილი ა. კოორდინაციული ქიმიის საფუძვლები. სტუ, თბ., 2000
- მრეველიშვილი გ. ბიოპოლიმერების ქიმია. თსუ, თბ., 1999
- შველაშვილი ა. ბიოარაორგანული და ბიოფიზიკური ქიმია. თბ., 1990
- F[vtnjd Y C\ Ytjhufybxtcrfz [bvbz= n\ I @Dscifz irj kf@= V\= 1975
- <thcerth B\ <\ "ktrnhjyyjt cnhjtybt b cdjqcndf rjjhlbyfwbjyys[ cjt lbytybq\ Ddtltybt d ntjhb.\ @ {bvbz@= K\= 1975
- <hfey N\= Kvtvq U\ {bvbz d wtynht yfer\ n\1\= gthtd\ c fyuk\ @Dscifz irj kf@= V\= 1983
- Ukbyrf Y\ K\ J, ofz [bvbz\ @ {bvbz@= K\= 1977
- Rfhfgtnmzyw V\ {\ Ddtltybt d ntjhb. [bvbxtcrb\ ghjwccjd\ @Dscifz irj kf@= V\= 1975
- Rtvgtk L\ Cjdhtvtyy fz j, ofz [bvbz= n\ 1=2\ @Vbh@= V\= 1975
- Ktybyl;th F\ <bj [bvbz\ @Vbh@= V\= 1976
- Ktycrbq F\ Ddtltybt d ,bjytjhufybxtcre. b d ,bjabpbxtcre. [bvb.\ @Vbh@= V\= 1989
- Ytrhfcd <\ D\ Jcyjds j, otq [bvbb\ @ {bvbz@= V\= n\ I\ 1965+ n\ II= 1967+ n\ III= 1970
- Gjkbyu K\ J, ofz [bvbz\ @Vbh@= V\= 1974
- Gjkbyu K\= Gjkbyu G\ {bvbz\ @Vbh@= V\= 1978
- Htvb U\ Rehc ytjhufybxtcrjq [bvbb= n\ 1\ @Vbh@= V\= 1972+ n\2= @Vbh@= V\= 1973
- Nfntdcrbq D\ V\ Cnhjtybt vjktrek\ @ {bvbz@= V\= 1977
- Ahbifynk V\ {bvbz d ltqcndbb= n\ 1\ @Vbh@= V\= 1991

**Theodore A., Browix Z.** and others. Chemistry — the central science. vol. I. Prentice, Inc., Engelwood Cliffs, 1983

**Uno Kask J. David Rown** "General Chemistry", 1993. Wm. C. Brown. publishers Dubuque, Iowa. Melbourne, Australia. Oxford, England.

**Keith J. Laidler, John H. Meiser.** "Physical Chemistry". The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Menlo Park, California. Reading, Massachusetts. London. Amsterdam. Don Mills, Ontario. Sidney.

## სარჩევი

წინასიტყვაობა.....	3
ატომის ელექტრონული აღნაგობის თეორია.....	5
ატომთა ძირითადი თვისებები.....	9
მოლეკულური ორბიტალების მეთოდი – „მომ“.....	11
ბიოსისტემებში არსებული ქიმიური ბმები.....	13
ელექტრონის დუალისტური ბუნება. დე-ბროილის განტოლება.....	16
ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპი.....	17
შრედინგერის განტოლება.....	18
ქიმიური თერმოდინამიკა და ბიოენერგეტიკა.....	20
თერმოდინამიკის I კანონი.....	22
თერმოდინამიკის I კანონის გამოყენება ღია სისტემებში.....	24
თერმოდინამიკის II კანონი.....	25
ქიმიური წონასწორობა.....	27
ღია სისტემების თერმოდინამიკა.....	28
ხსნარები.....	31
ხსნარების თერმოდინამიკა.....	35
ოსმოსის როლი ბიოლოგიურ სისტემებში.....	41
აირთა ხსნადობა სითხეებში.....	41
ელექტროლიტები.....	43
ძლიერი ელექტროლიტების თეორია.....	45
ელექტროლიტების როლი ცოცხალ ორგანიზმში.....	50
ბუფერული ხსნარები.....	54
ორგანიზმის ფუძე-მჟავური წონასწორობა.....	58
მიოგლობინის და ჰემოგლობინის გაჯერება ჟანგბადით.....	58
კოლოიდური ქიმიკა.....	62
დისპერსიული სისტემების კლასიფიკაცია.....	63
კოლოიდური სისტემების მოლეკულურ-კინეტიკური თვისებები.....	65
აღსორბცია.....	66
კოლოიდური ნაწილაკების აღნაგობა.....	67
კოლოიდური ხსნარები.....	69
კომპლექსური ნაერთები.....	81
კომპლექსების კლასიფიკაცია.....	83

ციკლური, ანუ ხელატური, კომპლექსური ნაერთები .....	84
იზომერია კოორდინაციულ ნაერთებში .....	85
კომპლექსნაერთების სახელწოდებები.....	87
ბიოლოგიურად აქტიური კომპლექსური ნაერთების აღნაგობა. ლითონფერმენტები. ლითონ-ლიგანდის ჰომეოსტაზის დარ- ღვევა ორგანიზმში. ხელატოთერაპიის ქიმიური საფუძვლები..	87
ელექტროქიმია.....	93
ელექტროლიტების ხსნართა ელექტროგამტარობა. ხვედრითი და ექვივალენტური ელექტროგამტარობა.....	93
იონთა ძვრადობა. გადატანის რიცხვი.....	95
ელექტროფორეზისა და რელაქსაციის ეფექტები ძლიერ ელექტროლიტებში .....	98
ქსოვილებისა და უჯრედების ელექტროგამტარობა .....	99
გალვანური ელემენტები.....	100
ელექტროდის სტანდარტული პოტენციალი. წყალბადის სტანდარტული ელექტროდი .....	103
I და II გვარის ელექტროდები.....	104
რედ-ოქსი ელექტროდები და ელემენტები.....	106
ელექტრული დენის ქიმიური წყაროები.....	108
მინის ელექტროდი .....	110
ქიმიური კინეტიკა და კატალიზი .....	114
ქიმიური რეაქციის სიჩქარე.....	114
მოქმედ მასათა კანონი.....	116
აქტივაციის ენერგია .....	117
მარტივი და რთული რეაქციები. რეაქციის მექანიზმი. რეაქციის მოლეკულურობა .....	120
რეაქციის სიჩქარის დამოკიდებულება რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებათა კონცენტრაციაზე. რეაქციის რივი .....	122
ფერმენტები.....	123
ფერმენტული რეაქციების კინეტიკა.....	124
მიკროელემენტების როლი ცოცხალ ორგანიზმებში. s-, -p, d- ელემენტები .....	126
s-ელემენტები .....	126
p-ელემენტები.....	130
d-ელემენტები.....	135
რეკომენდებული ლიტერატურა .....	144

რეზო კლდიაშვილი, სათუნა დიდიძე

ბიოარაორგანული და ბიოფიზიკური  
ქიმია

თბილისი  
2006

რედაქტორი  
კომპიუტერული  
უზრუნველყოფა  
პოლიგრაფიული  
უზრუნველყოფა

მანანა უკლება

თამარ ბუჯიაშვილის

მიხეილ სადოევის

---

<<გამომცემლობა „ცოდნა“>>  
თბილისი, რუსთაველის გამზ. 42  
ტელ. 934 932  
E-mail: ph\_tsodna@yahoo.com