



Պ. Զ. ՎԱՐԴԵՎԱՆՅԱՆ,  
Ա. Վ. ՆԵՐԿԱՐԱՐՅԱՆ,  
Մ. Ա. ՇԱՀԻՆՅԱՆ,  
Մ. Ս. ՄԻՔԱԵԼՅԱՆ

# ԿԵՆՍԱԿՑԻԶԻԿԱՅԻ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐ ԱՆԽԱՏԱՆՔՆԵՐԻ ՁԵՌՆԱԴՐԿ

**ՄԱՍ 2**

(Ուսումնամեթոդական ձեռնարկ)

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ  
ՆԱԽԱՆՍԱՐԱՆ

**ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ**

**Պ. Հ. ՎԱՐԴԵՎԱՆՅԱՆ, Ա. Վ. ՆԵՐԿԱՐԱՐՅԱՆ,  
Մ. Ա. ՇԱՀԻՆՅԱՆ, Մ. Ս. ՄԻՔԱԵԼՅԱՆ**

**ԿԵՆՍԱԾԻՉԻԿԱՅԻ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐ  
ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԻ ՁԵՌՆԱՐԿ**

**ՄԱՍ 2**

*(Ուսումնամեթոդական ձեռնարկ)*

**Երևան  
ԵՊՀ հրատարակչություն  
2019**

*Հրապարակության է երաշխավորել  
ԵՊՀ կենսաբանության ֆակուլտետի  
գիտական խորհուրդը*

**Հեղինակներ՝**

Պ. Հ. ՎԱՐԴԵՎԱՆՅԱՆ, կենսաբանական գիտությունների դոկտոր,  
պրոֆեսոր  
Ա. Վ. ՆԵՐԿԱՐԱՐՅԱՆ, կենսաբանական գիտությունների թեկնածու,  
դոցենտ  
Մ. Ա. ՇԱՀԻՆՅԱՆ, կենսաբանական գիտությունների թեկնածու  
Մ. Ս. ՄԻԶԱԵԼՅԱՆ, կենսաբանական գիտությունների թեկնածու

*ՀՀ ԳԱԱ քղթակից անդամ, կենս. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր  
Է. Ս. Գեորգյանի խմբագրությամբ*

**Գրախոսներ՝**

Ե. Բ. ԴԱԼՅԱՆ, ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտոր,  
պրոֆեսոր  
Ն. Մ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, կենսաբանական գիտությունների դոկտոր

Կ 414 Կենսաֆիզիկայի լաբորատոր աշխատանքների ձեռնարկ, մաս  
2 (Ուսումնամեթոդական ձեռնարկ)/Պ. Հ. Վարդևանյան, Ա. Վ.  
Ներկարարյան, Մ. Ա. Շահինյան, Մ. Ս. Միքաելյան: -Եր., ԵՊՀ  
հրատ., 2019, 146 էջ:

Ձեռնարկը ներառում է Կենսաբանության ֆակուլտետում «Կենսաֆիզիկա» առարկայի դասավանդման հիմնական թեմաների վերաբերյալ իրականացվող լաբորատոր աշխատանքները: Այն նախատեսված է Կենսաբանության ֆակուլտետում ուսումնական ծրագրով իրականացվող «Կենսաֆիզիկա»-ի լաբորատոր աշխատանքների կազմակերպման և անցկացման համար: Օգտակար է Կենսաբանության ֆակուլտետի ուսանողների, երիտասարդ գիտաշխատողների և բոլոր նրանց համար, ովքեր ուսումնասիրում են «Կենսաֆիզիկա» առարկան:

ՀՏԴ 577.35(07)  
ԳՄԴ 28.071

ISBN 978-5-8084-2350-3

© ԵՊՀ հրատ., 2019  
© Հեղ. խումբ, 2019

## ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Կենսամոլեկուլների ուռչեցման մեխանիզմի ուսումնասիրությունը .....                      | 5   |
| 2. Բջջիջների և հյուսվածքների թափանցելիության ուսումնասիրությունը .....                  | 12  |
| 3. Կենսաբանական հեղուկների մակերևութային լարվածությունը..                               | 30  |
| 4. Աբսորբցիոն սպեկտրաֆոտոմետրիայի եղանակը կենսաբանական հետազոտություններում .....       | 51  |
| 5. Ֆլուորեսցենտային սպեկտրաֆոտոմետրիայի եղանակը կենսաբանական հետազոտություններում ..... | 64  |
| 6. Մակրոմոլեկուլների լուծույթների ուսումնասիրությունը մածուցիկաչափության մեթոդով .....  | 73  |
| 7. Էրիթրոցիտների թաղանթների դիմացկունության ուսումնասիրությունը .....                   | 80  |
| 8. Բջջաթաղանթների մակերևույթի էլեկտրական հատկությունները .....                          | 98  |
| 9. Դիֆուզիոն և ֆազային պոտենցիալներ .....                                               | 120 |
| 10. Բույսերի կենսաէլեկտրագեներգ .....                                                   | 133 |
| Գրականության ցանկ .....                                                                 | 145 |



## **1. ԿԵՆՍԱԾՄՈՒԼԵԿՈՒԼՆԵՐԻ ՈՒՈՉԵՑՄԱՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄԻ ՌԻՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

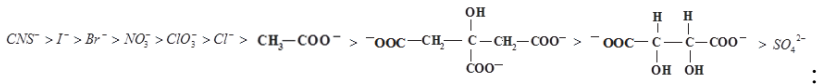
Օրգանիզմի կենսագործունեության մեջ կարևոր դերակատարություն ունի կենսակոլոիդների ուռչեցումը, որը ջրի փոխադրման, բջիջների, ինչպես նաև հյուսվածքների ջրային հաշվեկշիռը կարգավորող գործոններից մեկն է:

Ֆիզիկական քիմիայում «ուռչեցում» տերմինը նշանակում է ժելի կողմից հեղուկի կլանումը, որն ուղեկցվում է դրա ծավալի և քաշի մեծացումով: Ժելերի տարբեր տեսակներ դրսևորում են ընտրողական ուռչեցման ընդունակություն՝ յուրաքանչյուրի համար որոշակի լուծիչում:

Ուռչեցման սկզբնական փուլը զուգակցված է կոլոիդային մասնիկների մակերևույթին գտնվող ակտիվ խմբերի շուրջը սովատային թաղանթի առաջացման հետ: Այս փուլում կոլոիդային մասնիկների շուրջը լուծիչի միամոլեկուլային շերտի ձևավորումն ուղեկցվում է ջերմության զգալի անջատումով: Դրան հակառակ՝ ուռչեցման վերջին փուլը կապված է միջմիջեղային տարածություններ լուծիչի թափանցման հետ և նկատելի ջերմային էֆեկտով չի ուղեկցվում:

Բջիջները և հյուսվածքները լավ ուռչում են ջրում և ջրային լուծույթներում: Սակայն հյուսվածքները չոր ժելեր չեն և ի սկզբանե պարունակում են ջրի մեծ քանակություն, ուստի կենդանի բջիջների և հյուսվածքների ուռչեցման օրինաչափությունները որոշակիորեն տարբերվում են արհեստական ժելերի ուռչեցման օրինաչափություններից: Հյուսվածքների ուռչեցման աստիճանը կախված է դրանց գործառական վիճակից, այն առանձնապես կտրուկ է փոխվում ախտաբանական վիճակներում (այրվածքներ, բորբոքումներ, չարորակ վերափոխումներ): Ուռչեցման գործընթացի վրա զգալի ազդեցություն են գործում բազմաթիվ ֆիզիկաքիմիական գործոններ, այդ թվում՝ միջավայրի աղային բաղադրությունը, ջրածնի իոնների խտությունը, կոլոիդային օսմոտիկ ճնշումը և այլն:

Հատկապես մեծ է ուռչեցման արագության և աստիճանի վրա անիոնների ազդեցությունը: Տարբեր անիոնների՝ ուռչեցումն ուժեղացնելու ունակությունը տարբեր է: Ստորև բերված շարքում ներկայացված է որոշ անիոնների հաջորդականությունը՝ ըստ այդ ունակության՝



Առավել մեծ ազդեցություն ունի հյուսվածքների ուռչեցման վրա ջրածնի իոնների խտությունը: Նվազագույն ուռչեցում է դիտվում կենսակոլոիդների իզոէլեկտրիկ կետում: Մինչև որոշակի սահման միջավայրի թթվայնացումը կամ հիմնայնացումը բարձրացնում է ուռչեցման աստիճանը: Միջավայրի թթվայնության կամ հիմնայնության հետագա բարձրացումը բերում է ուռչեցման անկմանը, ինչը բացատրվում է էլեկտրալիտների բարձր խտությունների դեհիդրատացնող ազդեցությամբ՝ հրահրում է հյուսվածքից արտաքին միջավայր ջրի անցումը: Բորբոքային գործընթացների զարգացման ժամանակ ջրածնի իոնների խտության աճը և օսմոտիկ ճնշման բարձրացումը (սպիտակուցների քայքայման և մոլեկուլների ընդհանուր թվի բարձրացման հետևանքով) բերում են կենսակոլոիդների ուռչեցման աստիճանի բարձրացմանը: Ուռչեցման հետագոտման ժամանակ հստակ տարբերակվում է 2 հասկացություն՝ ուռչեցման աստիճան և ուռչեցման արագություն (ուժգնություն):

**Ուռչեցման աստիճանը** որոշվում է հեղուկի առավելագույն քանակությամբ, որը կլանվում է կոլոիդի (կամ հյուսվածքի) կողմից՝ ըստ միավոր քաշի կամ ծավալի: Ուռչեցման աստիճանը կախված է միցելների տվյալացումից, ժելի առաձգականությունից, ամրությունից և հետագայում լուծվելու ունակությունից, ինչպես նաև ջերմաստիճանից: Հյուսվածքների համար ուռչեցման առավելագույն աստիճանը, որն արտացոլում է ջուրն իրենց մեջ պահելու կենսակոլոիդների ունակությունը, տվյալ պայմաններում դրանց հիդրատացման աստիճանի բնութագրիչն է:

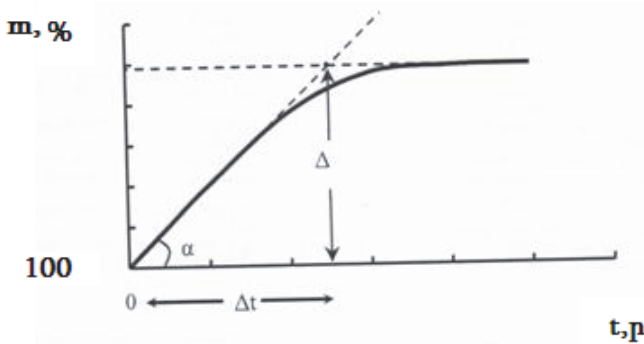
Ուռչեցման արագությունը որոշվում է հետազոտվող մոլեկուլի կողմից ուռչեցման ընթացքում միավոր ժամանակում կլանված հեղուկի քանակությամբ: Այն կախված է առաջին հերթին կլանվող հեղուկի ներքին շփումից և գործնականում շատ քիչ է կախված ջերմաստիճանից: Ուռչեցման կինետիկայի ուսումնասիրությունը ցույց է տվել, որ այդ գործընթացն իրականանում է մոնոմոլեկուլային ռեակցիայի տիպով:

Հյուսվածքների ուռչեցման գործընթացի ընդհանուր օրինաչափությունները, դրա աստիճանը և արագությունը որոշվում են հյուսվածքների կառուցվածքի ֆիզիկաքիմիական առանձնահատկություններով: Պարզվել է, որ կենսաբանական թաղանթներում առկա են ակվապորիններ՝ անցքուղի առաջացնող սպիտակուցներ, որոնք դիտարկվում են որպես հյուսվածքների նյութափոխանակության և ջրային փոխանակության կարգավորող ներգործությունների (ֆիզիոլոգիական և դեղաբանական) իրականացման մոլեկուլային կենտրոններ:

Հյուսվածքների թափանցելիության մեջ կարևոր են նաև «ճեղքային հպումները», որոնք իրենցից ներկայացնում են թաղանթային անցքուղիների կլաստերներ: Այդ կլաստերները միավորում են հարևան բջիջների ցիտոպլազմաները: Նման անցքուղիներով անցնում են ոչ մեծ մոլեկուլներ՝ ջուրը, անօրգանական իոնները, նյութափոխանակության արգասիքները:

Սովորաբար ճեղքային հպումների անցքուղիները բաց են: Դրանք փակվում են, երբ նյութափոխանակության արագությունը նվազում է: Անցքուղու փակվելու համար առաջնային ազդանշան կարող են լինել  $Ca^{2+}$ -ի խտության բարձրացումը, թաղանթային պոտենցիալի փոփոխությունը կամ միջավայրի թթվայնացումը: Ուստի տարբեր պայմաններում հյուսվածքների ուռչեցման կորերի հետազոտությունը թույլ է տալիս ստանալ երկու կարևորագույն գործընթացների քանակական բնութագիրը, որն արտացոլում է հյուսվածքի վիճակը (նկ. 1): Այսպես՝ ուռչեցման աստիճանը ( $\Delta m$ ) փաստացի հյուսվածքային կոլոիդների հիդրատացման և ջրի մոլեկուլները պա-

հելու ունակության բնութագրիչն է, իսկ ուռչեցման արագությունը  $\left(\frac{dm}{dt}\right)$ , ըստ էության, ջրի և էլեկտրոլիտների հյուսվածքի բջջաթաղանթների համար թափանցելիության բնութագրիչն է:



**Նկ. 1. Հյուսվածքի կտորի ուռչեցման կոր**

$\Delta m\%$ -ն ուռչեցման աստիճանն է,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dm}{dt} = V_0 \text{ -ն՝ ուռչեցման սկզբնական արագությունը:}$$

Արհեստական ժելերի և կենսաբանական հյուսվածքների ուռչեցման աստիճանը չափվում է տարբեր եղանակներով, որոնք հիմնված են ուռչող ժելի կամ հյուսվածքի երկարության, ծավալի և քաշի չափման վրա:

## **ՓՈՐՁԱԲԱՐԱԿԱՆ ՄԱՍ**

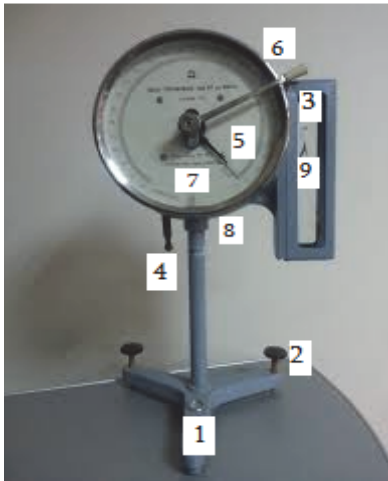
### **ՀՅՈՒՄՎԱԾՔՆԵՐԻ ՈՒՌՉԵՑՄԱՆ ԿՇՈՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԸ**

Գորտին տեղադրել սառցաջրով լցված ամանի մեջ և տեղափոխել սառնարան 30 րոպե տևողությամբ: Գորտը հայտնվում է անաբիոզի վիճակում: Այնուհետև կենդանուն տեղափոխել սառցե պատվանդանի վրա, բացել որովայնի խոռոչը և առանձնացնել լյարդը,

սիրտը, ինչպես նաև ազդրի մաշկը և մկանը: Առանձնացված հյուսվածքները և օրգանները տեղադրել Պետրիի թասի մեջ և բաժանել հավասար մասերի՝ 100-200 մգ քաշով: Հետևել, որպեսզի կտրվածքների մակերեսները լինեն հնարավորինս հարթ: Վերջինս կապահովի հեղուկի ներծծման հավասար մակերես: Հյուսվածքի մմուշները ամրացնել կեռիկների վրա և կշռել: Այդ կեռիկները պետք է մնան հյուսվածքի մեջ ամբողջ փորձի ընթացքում:

### Անհրաժեշտ պարագաներ և սարքեր

Ոլորակշեռք (նկ. 2), ֆիզիոլոգիական լուծույթ սառնարյուն կենդանիների համար ( $NaCl$  -ի 0,65% լուծույթ), ֆիլտրի թուղթ, պատրաստուկային գործիքներ, ապակյա բաժակներ՝ 5-10 մլ ծավալով, կաթոցիչներ՝ 1-5 մլ, գորտեր,  $CaCl_2$  -ի 10% լուծույթ:

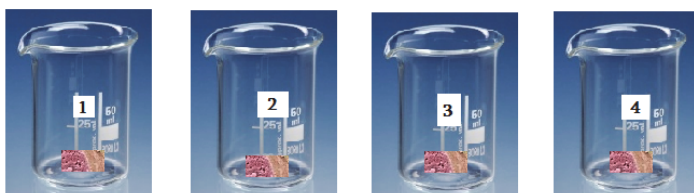


**Նկ. 2. Ոլորակշեռքի կառուցվածքը**

1. Հարթացույց, 2. հենակային պտտակներ, 3. կշռալծակ, 4. ամրացման լծակ, 5. կշռի սանդղակ, 6. լարման լծակ, 7. ստուգիչ լծակ, 8. կարգավորման գլխիկ, 9. կեռիկ:

## **ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ. $Ca^{2+}$ ԻՈՆՆԵՐԻ ԱՉԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԳՈՐՏԻ ԿՄԱԽՔԱՅԻՆ ՄԿԱՆՆԵՐԻ ԵՎ ՄԱՇԿԻ ՈՒՌՉԵՑՄԱՆ ՎՐԱ**

Գորտի ձկնամման մկանի չորս կշռված կտորներ տեղադրել չորս ապակյա բաժակների մեջ, որոնցից մեկը՝ ստուգիչը, պարունակում է ֆիզիոլոգիական լուծույթ, մյուս երեքը՝ ֆիզիոլոգիական լուծույթ և  $CaCl_2$ -ի 10% լուծույթ՝ հետևյալ ծավալային հարաբերությամբ (նկ. 3).



 **հետազոտվող հյուսվածք**

### **Նկ. 3. Փորձի կատարման սխեման**

- 1) Ստուգիչ՝ ֆիզիոլոգիական լուծույթ, 5 մլ,
2. 0,1 մլ  $CaCl_2$ -ի 10% լուծույթ և 5 մլ ֆիզիոլոգիական լուծույթ,
3. 0,2 մլ  $CaCl_2$ -ի 10% լուծույթ և 5 մլ ֆիզիոլոգիական լուծույթ,
4. 0,3 մլ  $CaCl_2$ -ի 10% լուծույթ և 5 մլ ֆիզիոլոգիական լուծույթ:

Նույն բաղադրությամբ լուծույթներ պարունակող մյուս չորս բաժակների մեջ տեղադրել ուռչեցման համար առանձնացված մաշկի կտորները:

Նախօրոք կշռված կտորները տեղադրել լուծույթի մեջ կեռիկի հետ միասին: Հեղուկի ծավալը բաժակում պետք է լինի այնպիսին, որ հյուսվածքի կտորն ամբողջությամբ ընկղմվի նրա մեջ:

Հինգ րոպե հետո հյուսվածքը (կեռիկի հետ միասին) հանել լուծույթից և չորացնել ֆիլտրի թղթով՝ գոլուշությամբ հպելով ֆիլտրի թուրքը հյուսվածքի ստորին մասին, կշռել և վերադարձնել նույն լուծույթի մեջ: Գործողությունները կրկնել յուրաքանչյուր 5 րոպեից մեկ՝

այնքան ժամանակ, մինչև հյուսվածքի կշիռն այլևս չփոխվի. փորձը համարվում է ավարտված, եթե իրար հաջորդող 3 կշռումները տալիս են նույն արդյունքը:

Ստացված տվյալներն անցկացնել աղյուսակ 1-ի մեջ: Առաջին ուղղահայաց սյունակում գրանցել հյուսվածքի անվանումը կամ դրա մշակման եղանակը, եթե փորձում ուսումնասիրվել է միևնույն հյուսվածքի ուռչեցումը տարբեր պայմաններում:

Բացի դրանից՝ ստացված արդյունքները ներկայացնել գրաֆիկների տեսքով՝ արսցիսների առանցքի վրա նշել ժամանակը, իսկ օր-դինատների առանցքի վրա՝ հյուսվածքի քաշի փոփոխության չափը՝ արտահայտված %-ով՝ սկզբնական քաշի նկատմամբ, որն ընդունվում է որպես 100% (նկ. 1): Հաշվել ուռչեցման սկզբնական արագությունը:

**Աղյուսակ 1.**

| Հյուսվածքը և փորձի պայմանները | Հյուսվածքի կտորի սկզբնական քաշը | 5 րոպե |   | 10 րոպե |   | 15 րոպե |   | 25 րոպե |   | Ուռչեցման առավելագույն աստիճանը, % | Ուռչեցման սկզբնական արագությունը, $\frac{dm}{dt}$ |
|-------------------------------|---------------------------------|--------|---|---------|---|---------|---|---------|---|------------------------------------|---------------------------------------------------|
|                               |                                 | մգ     | % | մգ      | % | մգ      | % | մգ      | % |                                    |                                                   |
|                               |                                 |        |   |         |   |         |   |         |   |                                    |                                                   |
|                               |                                 |        |   |         |   |         |   |         |   |                                    |                                                   |

## 2. ԲՋԻՋՆԵՐԻ ԵՎ ՀՅՈՒՍՎԱԾՔՆԵՐԻ ԹԱՓԱՆՑԵԼԻՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

**Թափանցելիություն** է կոչվում գազեր, ջուր և տարբեր նյութերի լուծույթներ ներս թողնելու բջիջների և հյուսվածքների հատկությունը: Նյութերի անցումը կենսաբանական թաղանթներով կարող է իրականանալ ակտիվ և պասիվ մեխանիզմների միջոցով: Թափանցելիության պասիվ մեխանիզմների շարքին է դասվում նյութերի շարժումն ըստ խտության, օսմոտիկ և էլեկտրական գրադիենտների, ինչպես նաև հիդրոստատիկ ճնշման տարբերության հաշվին: Խտությունների գրադիենտի առկայության դեպքում նյութերի տեղափոխությունը բացատրվում է դիֆուզիայի օրենքներով: Ըստ էության, թափանցելիության հիմքում ընկած է դիֆուզիայի երևույթը, որը նկարագրվում է Ֆիկի օրենքով՝

$$\frac{dm}{dt} = -DS \frac{dc}{dx}, \quad (1)$$

որտեղ  $m$  -ը նյութի քանակությունն է, գր.,

$t$  -ն՝ ժամանակը, վրկ.,

$D$  -ն՝ դիֆուզիայի գործակիցը, սմ<sup>2</sup>·վրկ<sup>-1</sup>,

$S$  -ը՝ դիֆուզիայի ուղղությանն ուղղահայաց մակերևույթի մակերեսը,

$c$  -ն՝ նյութի խտությունը, գ·սմ<sup>-3</sup>,

$x$  -ը՝ դիֆուզիայի ելակետային կետից հեռավորությունը, սմ:

Հետևաբար, համաձայն Ֆիկի օրենքի, դիֆուզվող նյութի դիֆուզման արագությունը ( $\frac{dm}{dt}$ ) ուղիղ համեմատական է ինչպես մակերևույթի մակերեսին, որով տեղի է ունենում դիֆուզիան, այնպես էլ խտությունների գրադիենտին ( $\frac{dc}{dx}$ ), և հակադարձ համեմատական է

հեռավորությանը, որի վրա տեղի է ունենում դիֆուզիան: Այս բանաձևը նկարագրում է նյութի տեղաշարժման օրինաչափություններն ազատ դիֆուզիայի պայմաններում: Թաղանթներով նյութի դիֆուզ-

ման երևույթը բացատրելու համար խտությունների գրադիենտը կարելի է ներկայացնել որպես արտաքին լուծույթում և կենսաբանական օբյեկտում նյութի խտությունների տարբերություն: Եթե ֆազերի բաժանման մակերևույթին կիսաթափանցիկ թաղանթի հաստությունը հավասար է  $b$ -ի, ապա խտությունների գրադիենտն արտահայտվում է  $\frac{(c_{\text{ա}} - c_{\text{ն}})}{b}$  հարաբերությամբ:

Հաշվի առնելով թաղանթների հետ նյութերի փոխազդեցությունների տարբեր հնարավորությունները՝ ազատ դիֆուզիայի գործակցի ( $D$ ) փոխարեն (1) բանաձևում ընդգրկվում է թաղանթի թափանցելիության գործակիցը ( $P'$ ), որը հաշվի է առնում այդ փոխազդեցությունները՝

$$\frac{dm}{dt} = \frac{-P'S(c_{\text{ա}} - c_{\text{ն}})}{b} : \quad (2)$$

Հաճախ հնարավոր չէ ճշգրիտ որոշել կիսաթափանցիկ թաղանթի հաստությունը, ուստի հնարավոր չէ որոշել խտությունների գրադիենտը: Այդ դեպքում օգտագործվում է խտությունների տարբերությունը, իսկ  $b$ -ի անհայտ արժեքն ընդգրկվում է թափանցելիության գործակցում՝  $P = \frac{P'}{b}$ , և թաղանթով դիֆուզիայի հավասարումն ընդունում է հետևյալ տեսքը՝

$$\frac{dm}{dt} = -PS(c_{\text{ա}} - c_{\text{ն}}) : \quad (3)$$

## ԲԶՋԱԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ԹԱՓԱՆՑԵԼԻՈՒԹՅՈՒՆ

Թաղանթի թափանցելիության գործակցի՝  $P$  -ի հաշվարկն իրականացվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$P = \frac{D \cdot \beta}{b}, \quad (4)$$

որտեղ  $b$  -ն կենսաբանական թաղանթի հաստությունն է,

$D$  -ն՝ դիֆուզիայի գործակիցը,

$\beta$  -ն՝ ջրի և լիպիդի միջև այս կամ այն նյութի բաշխման գործակիցը՝

$$\beta = e^{\frac{\Delta w}{K \cdot T}},$$

$\Delta W$  -ն՝ ջրում և լիպիդում տվյալ նյութի մոլեկուլների էներգիաների տարբերությունը:

Առավել մեծ է մոլեկուլների էներգիայի կախվածությունը միջավայրի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունից ( $\varepsilon$ ): Մասնավորապես, իոններն առավել ուժեղ են փոխազդում այն միջավայրի մոլեկուլների հետ, որի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունն ավելի մեծ է՝  $W = f(\varepsilon)$ :

Հաստատուն էլեկտրական դաշտում  $\varepsilon_{H_2O}$  -ը  $\approx 80$  է, իսկ  $\varepsilon_{\text{լիպ.}}$ -ը հավասար է 2-3, հետևաբար՝ էներգիաների տարբերությունը ( $\Delta W$ ), որով օժտված են տվյալ նյութի մոլեկուլները ջրում և լիպիդում, ուղիղ համեմատական է այդ միջավայրերի դիէլեկտրիկ թափանցելիության տարբերությանը ( $\Delta \varepsilon$ ): Քանի որ  $\Delta W$  -ն բանաձևում մտնում է բնական հիմքով լոգարիթմի ցուցիչի (արգումենտ) մեջ,  $\Delta \varepsilon$  -ը շատ խիստ է ազդում  $\beta$  -ի մեծության վրա: Պոտենցիալ պատմեշը, որն անհրաժեշտ է հաղթահարել թաղանթի երկշերտով միջբջջային նյութից մեկ իոնի տեղափոխության համար, հաշվարկվում է Բոռնի բանաձևով՝

$$\Delta W = \frac{z^2 \cdot e^2}{2r \cdot K \cdot T} \cdot (\varepsilon_{\text{լիպ.}}^{-1} - \varepsilon_{\text{ջուր}}^{-1}), \quad (5)$$

որտեղ  $z$  -ը իոնի վալենտականությունն է,

$e$  -ն՝ էլեկտրոնի լիցքը,

$r$  -ը՝ իոնի շառավիղը,

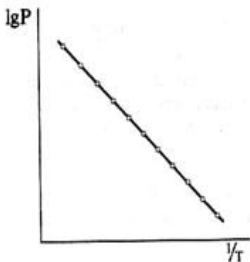
$K$  -ն՝ Բոլցմանի հաստատունը ( $K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ջ} \cdot \text{Կ}^{-1}$ ),

$T$  -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը (Կ):

Հաշվարկը ցույց է տալիս, որ  $0,2$  նմ շառավղով կենսաբանական թաղանթով միավալենտ իոնի տեղափոխման համար անհրաժեշտ է ծախսել  $\Delta W$  էներգիա, որը հավասար է  $70kT$ , ինչը համապատասխանում է  $\beta \approx 10^{-20}$ : Դա նշանակում է, որ իոնների և այլ հիդրոֆիլ նյութերի անցումը թաղանթի լիպիդային երկշերտով գրեթե հնարավոր չէ: Հիդրոֆոր նյութերի դեպքում  $\beta$ -ն մի քանի կարգով ավելի մեծ է, և քանի որ այդ նյութերը լուծվում են թաղանթային լիպիդներում, այդ պատճառով կենսաբանական թաղանթներով հիդրոֆոր և հիդրոֆիլ նյութերի տեղափոխության մեխանիզմներն արմատապես տարբերվում են:

1895 թ. Է. Օվերտոնը պարզեց, որ որքան բարձր է նյութի լուծելիությունը լիպիդներում, այնքան ավելի հեշտ է այդ նյութը թափանցում բջիջ: Այդպիսի հատկությամբ օժտված են չրեռացված նյութերը:

**Լիպոֆիլ միացություններն** անցնում են կենսաբանական թաղանթներով՝ լուծվելով վերջիններիս լիպիդների մեջ և շարժվելով մածուցիկ միջավայրում՝ համաձայն դիֆուզիայի օրենքների: Նման տեղափոխությունը կախված է թափանցող մոլեկուլի մեծությունից և ձևից, ինչպես նաև թաղանթի մածուցիկությունից: Բնական է, որ ճարպալույծ նյութերի փոխադրումը թաղանթով զգալիորեն կախված է ջերմաստիճանից: Որոշելով տարբեր նյութերի համար թաղանթի թափանցելիության կախվածությունը ջերմաստիճանից (նկ. 1)՝ որոշում են կենսաբանական թաղանթով դրանց փոխադրման ակտիվացման էներգիան ( $\Delta W_w$ ):



**Նկ. 1.** Կենսաբանական թաղանթի թափանցելիության կախվածությունը ջերմաստիճանի հակառակ մեծությունից

Պարզվել է, որ համապատասխանաբար  $60 \text{ կՋ}\cdot\text{մոլ}^{-1}$  էթիլեն գլիկոլի,  $77 \text{ կՋ}\cdot\text{մոլ}^{-1}$  գլիցերինի,  $87 \text{ կՋ}\cdot\text{մոլ}^{-1}$  էրիթրիտի ակտիվացման էներգիայի մեծությունը մոտ է այդ սպիրտների դեհիդրատացման էներգիային:

Ենթադրվում է, որ մինչև լիպիդային երկշերտ մտնելը ոչ էլեկտրալիտների մոլեկուլները ենթարկվում են դեհիդրատացման: Միայն ջրային թաղանթից ազատվելուց հետո են դրանք ներթափանցում կենսաբանական թաղանթի բյուրեղային կառույցի մեջ և դիֆուզվում են դրանում: Պարզվել է, որ գլիցերինի փոխադրումը մարդու և առնետների էրիթրոցիտների պլազմալեմմոլ բնութագրվում է ավելի բարձր արագությամբ և ցածր  $\Delta W_w$ -ով՝ համեմատած դեհիդրատացման էներգիայի հետ: Դա վկայում է այն մասին, որ այստեղ անհրաժեշտ չէ նախնական դեհիդրատացում, և, հետևաբար, գլիցերինը չի դիֆուզվում մարդու և առնետների էրիթրոցիտների թաղանթների լիպիդների երկշերտի միջով: Ենթադրվում է, որ թաղանթում գոյություն ունեն գլիցերինի հատուկ փոխադրիչներ: Այդպիսի փոխադրիչները բացակայում են անգամ այս թաղանթներին մոտ այնպիսի թաղանթային համակարգերում, ինչպիսիք են խոզի, ոչխարի, կովի էրիթրոցիտների պլազմալեմմոլները: Այս կենդանիների մոտ էրիթրոցիտների թաղանթներով գլիցերինի փոխադրման ակտիվացման էներգիայի փորձարարական արժեքները համապատասխանում են դրա դեհիդրատացման էներգիային:

Նշենք, որ բջջաթաղանթի մոլեկուլային բաղադրիչներն անընդհատ շարժվում են, տեղափոխվում իրենց շերտի սահմաններում (լատերալ դիֆուզիա)՝ մնալով նույն տեղում  $\approx 10^{-7}$  վրկ: Ուստի, գոյություն ունեն ակնթառքներ, երբ ազատված տեղերը դեռևս զբաղեցված չեն հարևան մոլեկուլներով: Այս գործընթացը նման է բյուրեղային ցանցում թափուր տեղերի (անցքերի) առաջացմանը, սակայն հեղուկ բյուրեղներում անցքերի առաջացման հավանականությունը մի քանի կարգով ավելի բարձր է, քան պինդ բյուրեղներում:

Ոչ էլեկտրալիտների մոլեկուլները կարող են զբաղեցնել կենսաբանական թաղանթում մի ակնթարթ առաջացած անցքը՝ ֆիզիկաքիմիական գրադիենտների ազդեցության տակ: Այդպիսի ներխուժումը հեղուկ-բյուրեղային կառույցի մեջ հնարավոր է միայն այն դեպքում, երբ դիֆուզիվ մոլեկուլն իր երկրաչափական բնութագրիչներով համապատասխանում է անցքի չափերին: Սակայն, եթե թափանցող մոլեկուլի չափերը մեծ են անցքի չափերից, և դրա մեծությունը տատանվում է անցքի՝ 1-ից 2 տրամաչափի մեծության միջակայքում, ապա մոլեկուլի տեղաշարժը մեկ քայլով կարող է իրականանալ միայն այն դեպքում, երբ անմիջապես թափանցող մոլեկուլի հարևանությամբ միաժամանակ ազատվեն երկու հարևան տեղամասեր՝ առաջանալով միմյանց կից երկու անցքեր: Նման իրադարձության հավանականությունն ավելի փոքր է, քան մեկ անցքի առաջացման հավանականությունը, սակայն հեղուկ բյուրեղում, այնուամենայնիվ, դա հնարավոր է: Էլ ավելի փոքր է, բայց հնարավոր, երեք հարևան անցքերի առաջացման հավանականությունն անմիջապես դիֆուզիվ մոլեկուլի տեղակայման հատվածում, որի չափերը երեք անգամ գերազանցում են ազատվող անցքի չափերը: Հետևաբար, նման բնութագրիչներ ունեցող, սակայն չափերով տարբերվող մասնիկների՝ թաղանթով անցնելու հավանականությունը հակադարձ համեմատական է վերջիններիս չափսերին՝ որքան մեծ է մասնիկը, այնքան ավելի փոքր է դրա՝ թաղանթով թափանցման հավանականությունը:

Դա անդրադառնում է թաղանթով նյութի տեղափոխման արագության վրա. խոշոր մոլեկուլներն ավելի երկար են սպասում այն պահին, երբ կկարողանան մի քայլով առաջ անցնել, ուստի կենսաբանական թաղանթով ավելի դանդաղ են անցնում: Ցածրամոլեկուլային ոչ էլեկտրալիտների թափանցման արագությունը հակադարձ համեմատական է դրանց մոլեկուլային զանգվածի քառակուսուն, իսկ բարձրամոլեկուլայիններինը՝ մոլեկուլային զանգվածի խորանարդին:

Կենսաբանական թաղանթով նյութի տեղափոխման արագության ցուցանիշ է ծառայում դիֆուզիայի գործակիցը՝  $D$ -ն: Այդ

պատճառով վերը նշված կախվածությունները մոլեկուլային զանգվածից ( $\mu$ ), սովորաբար արտահայտում են հետևյալ կերպ՝

➤ մանր մոլեկուլների համար (ջրածնից մինչև եռաշաքարներ)՝

$$D \cdot \mu^{\frac{1}{2}} = const ,$$

➤ ավելի խոշոր մոլեկուլների համար՝  $D \cdot \mu^{\frac{1}{3}} = const :$

Դիֆուզիոն նյութի մոլեկուլները տեղաշարժվում են կենսաբանական թաղանթով ոչ թե անընդհատ, այլ ընդհատումներով՝ ցատկելով մի ազատ տեղամասից մյուսը, այդ ընթացքում սպասելով մինչև այն կառաջանա, ինչի հետևանքով փոխադրման գործընթացի նկարագրված սխեման ստացել է «ցատկերի վարկած» անվանումը: Այս վարկածն անվանում են նաև «**կինկերի վարկած**»: «**Կինկ**» են անվանում լաբիլ (անկայուն, ժամանակավոր գոյություն ունեցող) և անընդհատ տեղաշարժվող կառուցվածքային արատները կենսաբանական թաղանթի ածխաջրածնական մասում: Կինկերով է որոշվում թաղանթում ազատ ծավալների (ժամանակավոր անցքերի) գոյությունը: Համաձայն կինկերի վարկածի՝ նման ժամանակավոր անցքերի մեջ կարող են ներկառուցվել ոչ էլեկտրալիտների մանր մոլեկուլներ (այդ թվում նաև ջրի հետ ասոցացված) և գաղթել դրանց հետ, այդ պատճառով կինկերը բնութագրվում են որպես թաղանթի «կինետիկ անցուղիներ»:

Կինկերի և դրանց կողմից թափանցող նյութի զավթված մոլեկուլների դիֆուզիայի գործակիցը բավականին բարձր է՝ մինչև  $10^{-9}$  մ<sup>2</sup>·վրկ<sup>-1</sup>, հետևաբար կինկերն ապահովում են արագ դիֆուզիան:

Ցատկերի և կինկերի վարկածների միջև (դրանց դասական տարբերակներում), այնուամենայնիվ, կան որոշ տարբերություններ, օրինակ՝ ջրի փոխադրման հնարավորության վերաբերյալ: Սակայն սկզբունքային դրույթներում այդ վարկածները նման են և բացատրում են թաղանթով գլխավորապես ճարպալույծ միացությունների փոխադրման մեխանիզմը:

**Հիդրոֆիլ նյութերն** ընդունակ չեն ջրային լուծույթից (միջ-բջջային նյութից կամ ցիտոպլազմայից) անցնել բջջաթաղանթի լիպիդային երկշերտով: Թաղանթով տեղափոխվելու համար դրանք ունեն երկու հնարավորություն: Առաջինը պատվելն է հիդրոֆոբ պատյանով և այդ տեսքով լուծվելը թաղանթի լիպիդային ֆազում: Դա նման է վալինոմիցինի օգնությամբ  $K^+$  իոնների տեղափոխությանը: Այդպես է տեղի ունենում հիդրոֆիլ նյութերի տեղափոխությունը թաղանթով փոխադրիչների օգնությամբ: Թաղանթով թափանցման երկրորդ հնարավորությունն է անցնել կենսաթանալան թաղանթի այն տեղամասերով, որտեղ բարձր է դիլեկտրիկ թափանցելիությունը: Հարկ է նշել, որ թաղանթում բարձր դիլեկտրիկ թափանցելիություն՝ հավասար միջբջջային նյութի և ցիտոպլազմայի դիլեկտրիկ թափանցելիությանը, դիտվում է թաղանթի ջրով լցված ծակոտիներում, այսինքն՝ հիդրոֆիլ նյութերի տեղափոխությունն իրականանում է թաղանթային անցքոտիներով: Հաշվի առնելով բջջաթաղանթների ընտրողական թափանցելիությունը և յուրաքանչյուր առանձին նյութի համար թաղանթով թափանցման հնարավորությունը՝ որոշ հեղինակների կողմից առաջարկվել է դիֆուզման արագությունը որոշել հետևյալ բանաձևով՝

$$\frac{dm}{dt} = -PS(c - c_i), \quad (6)$$

որտեղ  $P$  -ն թափանցելիության հաստատունն է,

$S$  -ը՝ բջջի մակերևույթի մակերեսը,

$c$  -ն՝ նյութի սկզբնական խտությունը,

$c_i$  -ն՝ նյութի խտությունն այն պահին, երբ հաստատվում է դիֆուզիոն հավասարակշռությունը:

Քանի որ դիֆուզիան իրենից ներկայացնում է պասիվ պրոցես, այն իրականանում է երկու ուղղություններով, և ժամանակի ընթացքում տեղի է ունենում դիֆուզիայի հանդիպակաց հոսքերի հավասարեցում:

Ինչպես վկայում են ներկայացված բանաձևերը, նյութի դիֆուզիայի և բջիջ թափանցելու արագությունը ժամանակի ընթացքում կնվազի խտությունների գրադիենտի նվազմանը զուգընթաց:

Կենդանի օրգանիզմներում առկա են բազմաթաղանթային համակարգեր, որոնք բնութագրվում են նյութերի փոխանակման որոշակի ինտենսիվությամբ: Բազմաթաղանթային համակարգերով նյութերի փոխադրման գործընթացում իրենց ուրույն տեղն ունեն մասնակողմանի հոսքերը, որոնք իրականացվում են ակտիվ տրանսպորտի մեխանիզմների միջոցով: Բազմաբջիջ օրգանիզմում իրականացվող իրական ֆիզիոլոգիական գործընթացները կապված են մի քանի հաջորդաբար դասավորված կենսաթաղանթներով զազերի, հեղուկների և դրանցում լուծված մոլեկուլների տեղափոխման հետ, ընդ որում՝ այդ թաղանթների միայն մի մասն են բջջաթաղանթներ: Թաղանթների մյուս տիպը հիմնովին տարբերվում է բջջաթաղանթներից: Դրանցում բացակայում է ֆոսֆոլիպիդային հենքը: Այս (երկրորդ տիպի) թաղանթները բաղկացած են առավելապես գլիկոպրոտեիդներից և պրոտեոգլիկաններից, տեղակայված են բջջից դուրս, ձևավորում են յուրահատուկ միջնաշերտեր բջջիցների միջև:

**Բազմաթաղանթային փոխադրող համակարգերում**, որոնք ընդգրկում են էպիթելային հյուսվածքները, էպիթելային բջջիցների հիմքին հարում է **հիմային թաղանթը**: Հիմային թաղանթում տարբերում են գլիկոպրոտեիդային մատրիքսը (գլիկոկալիքս) և կոլագենային բաղադրիչը (IV տիպի կոլագեն), որոնք արտադրվում են էպիթելային, էնդոթելային և որոշ այլ տիպի բջջիցների կողմից: Կենսագործունեության ընթացքում այդ բջջիցները ձևավորում են լրացուցիչ թաղանթ սեփական թաղանթի սահմաններից դուրս: Հիմային թաղանթը պլազմալեմից հաստ է, սակայն ավելի քիչ է խոչընդոտում նյութերի մեծ մասի փոխադրմանը, քանի որ այս թաղանթի ծակոտիներն ավելի խոշոր են, քան պլազմալեմինը: Օրինակ՝ երիկամային մարմնիկի ծակոտիի տրամագիծը մոտ 3 նմ է, ինչը 10 անգամ գերազանցում է պլազմալեմի տվյալ բնութագրիչը: Հիմային թաղանթը գուրկ է ակտիվ տեղափոխության համակարգից, և ակնհայտ է, որ ծառայում է որ-

պես պասիվ ֆիլտր: Սակայն հիմային թաղանթի ծակոտիների չափսերը կարող են փոխվել մեխանաքիմիական գործընթացների ժամանակ, որոնցում ներգրավված են թաղանթային մոլեկուլները (օրինակ՝ գլիկոպրոտեիդների ապապոլիմերիզացման ժամանակ): Սովորաբար հիմային թաղանթի մոլեկուլային բաղադրիչները կրում են բացասական մակերևութային լիցք, որն իր դերն ունի նյութերի՝ թաղանթներով փոխադրման գործընթացում:

Բազմաթաղանթային համակարգերում ակտիվ տրանսպորտի մեխանիզմների շնորհիվ իրականանում է նյութի տեղափոխություն՝ հակառակ կոնցենտրացիոն գրադիենտի, որն իրականանում է էներգիայի ծախսով: Բացի դրանից՝ թաղանթների միակողմանի թափանցելիությունը որոշվում է.

- ֆիզիկաքիմիական անհամաչափությամբ, որը պայմանավորված է թաղանթների բազմաշերտությամբ,
- տարբեր շերտերում լուծված նյութերի մոլեկուլների ադսորբման տարբեր աստիճանի ընդունակությամբ,
- շերտերի տարբեր խնամակցությամբ՝ տարբեր pH ունեցող նյութերի նկատմամբ:

Միակողմանի թափանցելիությամբ օժտված կենսաբանական թաղանթի դասական մոդել է գորտի մաշկը: Այն բաղկացած է 2 շերտից՝ շարակցահյուսվածքային և էպիթելային: Էպիթելային հյուսվածքն ավելի լավ է կապում այնպիսի գունանյութեր, ինչպիսիք են մեթիլենային կապույտը, տոլուիդինային կապույտը, թիոնինը և այլն: Շարակցահյուսվածքային շերտի ադսորբման հատկությունն ավելի թույլ է, ուստի թիազոլային խմբի ներկանյութերի մոլեկուլները տեղաշարժվում են շարակցական հյուսվածքից դեպի էպիթելային: Բացի դրանից՝ գորտի մաշկը բնութագրվում է արտահայտված միակողմանի թափանցելիությամբ թթվահիմնային ինդիկատորների համար: Շարակցական հյուսվածքն ունի թույլ հիմնային ռեակցիա, իսկ էպիթելայինը՝ թթվային: Այդ պատճառով այնպիսի հիմնային ինդիկատոր, ինչպիսին չեզոք կարմիրն է, թափանցում է շարակցականից դեպի էպիթելային հյուսվածք, որտեղ այդ նյութի մոլեկուլները դիֆուզ-

վում են: Փոխելով ինդիկատորի լուծույթի pH-ը գորտի մաշկի մի կողմում և աղային լուծույթինը՝ հակառակ կողմում՝ կարելի է ուժեղացնել, թուլացնել կամ արգելակել ինդիկատորների մոլեկուլների միակողմանի շարժումը, անգամ փոխել շարժման ուղղությունը  $180^0$ -ով:

## **ՓՈՐՉԱՐԱՐԱԿԱՆ ՄԱՍ ԳՈՐՏԻ ՄԱՇԿԻ ԹԱՓԱՆՑԵԼԻՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ**

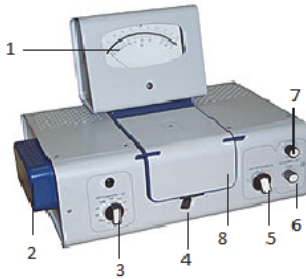
### **Աշխատանքի նպատակները**

1. Ուսումնասիրել գորտի մաշկի բափանցելիությունը տարբեր ներկանյութերի համար՝ կախված մաշկի դիրքից:
2. Ուսումնասիրել գորտի մաշկի բափանցելիությունը տարբեր քիմիական գործոնների և pH-ի ազդեցության ներքո:

### **Անհրաժեշտ պարագաներ և սարքեր**

Ֆիզիոլոգիական լուծույթ սառնարյուն կենդանիների համար՝ մատրիումի քլորիդի 0.65% լուծույթ, 0.65% ֆիզիոլոգիական լուծույթով պատրաստած մեթիլենային կապույտի 0.05% լուծույթ, չեզոք կարմիրի 0.125% և 0.01% լուծույթներ, երկտեղակալված մատրիումի ֆոսֆատի ( $Na_2HPO_4$ ) 1/15 Մ լուծույթ, միատեղակալված կալիումի ֆոսֆատի ( $KH_2PO_4$ ) 1/15 Մ լուծույթ, ծծմբական թթվի 2% լուծույթ, ունելյակ, մկրատներ, ասեղ, ֆոտոէլեկտրակոլորիմետր (ՖԷԿ) (նկ. 2), pH-մետր:

**Հետազոտման օբյեկտ՝** ձկան կամ գորտի մաշկ:



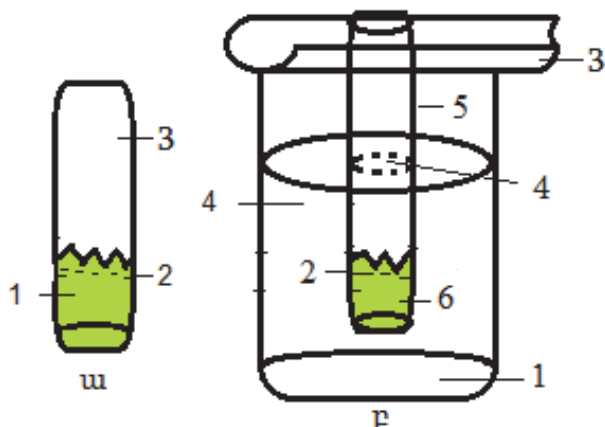
**Նկ. 2. KFK-2 տիպի կոլորիմետրի  
ընդհանուր տեսքը**

1. Օպտիկական խտության չափման սանդղակ,
2. լույսի աղբյուր,
3. լուսազտիչի բռնակ,
4. տեղափոխման լծակ,
5. զգայնության բռնակ,
6. կոպիտ կարգավորման բռնակ,
7. ճշգրիտ կարգավորման բռնակ,
8. կյուվետային խցիկի կափարիչ:

**ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ 1**

**ՄԵԹԻԼԵՆԱՅԻՆ ԿԼՊՈՒՅՏԻ ՀԱՄԱՐ ԿԵՆԴՐԱՌԻ ՄԱՇԿԻ  
ԹՎՓՎՆՅԵԼԻՈՒԹՅՈՒՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՄԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

**Աշխատանքի ընթացքը:** Պատրաստել անհրաժեշտ լուծույթներ: Նատրիումի քլորիդի 0.65% լուծույթի հիման վրա պատրաստել մեթիլենային կապույտի 0.05% լուծույթ: Գորտին անշարժացնել՝ ասեղի օգնությամբ վնասելով ողնուղեղը և գլխուղեղը: Մկրատով առանձնացնել կենդանու մեջքի կամ փորիկի մաշկի 8 հատվածներ  $\approx 4-5$  սմ $\times$ 4-5 սմ մակերեսով: Առանձնացված հատվածներից երկուսն օգտագործել առանց նախնական մշակման, իսկ վեցը՝ մշակումից հետո: Թելի կամ ռետինաքուղի օգնությամբ մաշկը ամրացնել գլանի բացվածքի վրա (նկ. 3, ա): Չորս գլանների վրա կենդանու մաշկի հատվածներն ամրացնել էպիթելային շերտով դեպի ներս՝ համար 1-4, իսկ մյուս չորս գլանների վրա՝ էպիթելային շերտով դեպի դուրս՝ համար 5-8: Ապակյա գլաններն ամրացնել որևէ հենարանի վրա՝ բաժակի մեջ կախելու համար (նկ. 3, բ): Ութ բաժակներից յուրաքանչյուրի մեջ լցնել 10 մլ նատրիումի քլորիդի 0.65% լուծույթ:



**Նկ. 3. Գորտի մաշկի թափանցելիության ուսումնասիրման համար  
նախատեսված պատրաստուկի նախապատրաստում**

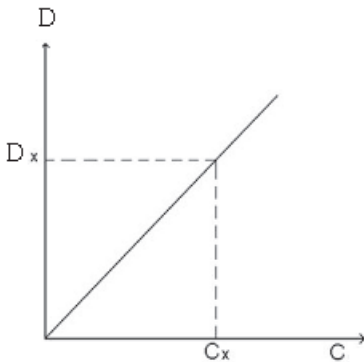
**ա)** Ապակյա գլան մաշկի հատվածով (1. մաշկ, 2. թել, 3. գլան),  
**բ)** գորտի մաշկով գլանը ֆիզիոլոգիական լուծույթով բաժակում (1. բաժակ,  
2. թել, 3. բաժակում գլանը կախելու համար նախատեսված հենարան, 4. բաժակի  
և գլանի մեջ լցված լուծույթներ, 5. գլան, 6. մաշկ):

Կենդանու մաշկը գլանին ամրացնելուց հետո յուրաքանչյուր ապակյա գլանի մեջ լցնել 2 մլ ֆիզիոլոգիական լուծույթ (բաժակում և գլանում լուծույթների հարաբերությունը պետք է հավասար լինի 5:1)՝ համոզվելու համար, որ այն հերմետիկ փակ է՝ լուծույթը չի արտահոսում: Այնուհետև ֆիզիոլոգիական լուծույթը հեռացնել գլաններից և համար 1 ու համար 5 գլանների մեջ լցնել 2 մլ մեթիլենային կապույտի 0.05% լուծույթ: Կենդանու մաշկով և ներկանյութով ապակյա գլանները ընկղմել ֆիզիոլոգիական լուծույթով բաժակի մեջ: Անհրաժեշտ է, որ բաժակում և ապակյա գլանում առկա լուծույթների մակարդակները համընկնեն: Գլանով բաժակները տեղադրել թերմոստատում 3 ժամ՝ 22<sup>0</sup>C ջերմաստիճանում: 3 ժամը լրանալուց հետո

չափել բաժակի և գլանի լուծույթների օպտիկական խտությունները՝ լուծույթներում ներկանյութի խտությունը որոշելու համար:

Որպես ստուգիչ օգտագործել 0.65% ֆիզիոլոգիական լուծույթը:

Լուծույթում ներկանյութի խտությունը որոշել՝ օգտագործելով տրամաչափիչ կորը (նկ. 4): Տրամաչափիչ կորը կառուցելու համար որոշել ներկանյութի տարբեր խտությամբ՝ 0.02%, 0.03%, 0.04% լուծույթների օպտիկական խտությունները և կառուցել լուծույթի խտությունից օպտիկական խտության կախվածության կորը: Ըստ փորձում ստացված օպտիկական խտության արժեքի ( $D_x$ )՝ որոշել լուծույթում ներկանյութի խտության  $C_x$  արժեքը տրամաչափիչ կորի օգնությամբ՝  $D_x$  կետից տանել օրդինատների առանցքին ուղղահայաց գիծ՝ մինչև տրամաչափիչ կորի հետ հատվելը: Հատման կետից իջեցնել ուղղահայաց գիծ աբսցիսների առանցքի վրա, հատման կետը ներկանյութի խտության որոշվող արժեքն է՝  $C_x$ :



#### **Նկ. 4. Տրամաչափիչ կոր**

Աբսցիսների առանցքի վրա ներկանյութի կոնցենտրացիան է, օրդինատների առանցքի վրա՝ ներկանյութի օպտիկական խտությունը:

Փորձը կրկնել կենդանու մաշկի մնացած հատվածների հետ, որոնք նախօրոք 30 րոպեի ընթացքում ենթարկվել են մշակման՝ երկուական կտոր մշակման յուրաքանչյուր տարբերակով՝ 1) թորած ջրով, 2) 70° էթիլ սպիրտով, 3) կալիումի քլորիդի 0,125 Մ լուծույթով:

Թորած ջրով մշակված հատվածներն ամրացնել №2 և №6 գլանների, էթիլ սպիրտով մշակվածները՝ №3 և №7 գլաններին, *KCl* -ի լուծույթով մշակվածները՝ №4 և №8 գլաններին: Արդյունքները գրանցել աղյ. 1-ում:

Աղյուսակ 1.

Տարբեր լուծույթների ազդեցությունը գորտի մաշկի թափանցելիության վրա

| Հետազոտվող օբյեկտ            | Ներկանյութի քանակը թափանցած մաշկով մշակված |            |               |                  |
|------------------------------|--------------------------------------------|------------|---------------|------------------|
|                              | ֆիզիոլոգիական լուծույթով                   | թորած ջրով | 70% էթա-նոլով | <i>KCl</i> - ուլ |
| Էպիթելային շերտը դե-պի ներս  |                                            |            |               |                  |
| Էպիթելային շերտը դե-պի դուրս |                                            |            |               |                  |

## ԱՌԱՋԱԳՐԱՆՔ 2

### ԳՈՐՏԻ ՄՆՇԿԻ ԹԱՓԱՆԳԵԼԻՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ *pH*-Ի ԱԶԳԵՅՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Կենդանու մաշկի միակողմանի թափանցելիության վրա *pH*-ի ազդեցության ուսումնասիրման համար նախօրոք պատրաստել բու-ֆերային լուծույթներ՝ ըստ Սերենսենի: Այդ նպատակով պատրաստել միատեղակալված կալիումի ֆոսֆատի 1/15 Մ լուծույթ ( $KH_2PO_4$ ) և երկտեղակալված մատրիումի ֆոսֆատի 1/15 Մ լուծույթ ( $Na_2HPO_4$ ): Ելակետային լուծույթները պատրաստել թորած ջրով: Թորած ջրից նախօրոք հեռացնել լուծված ածխաթթու գազը՝ եռացնելով և սառեցնելով ջուրը փակ անոթում: Լուծույթների խառ-նույթը ևս իրականացնել փակ ծավալում (խուսափելու համար մթնոլորտային օդից մեծ քանակությամբ ածխաթթու գազի անցումից), ինչը կկանխի լուծույթի թթվայնացումը:

Աշխատանքի համար անհրաժեշտ է պատրաստել  $pH$  5.28 և 7.73 խառնուրդներ ըստ աղյ. 2-ի:

Պատրաստել 0.65% նատրիումի քլորիդի լուծույթ՝ ֆիզիոլոգիական լուծույթ սառնարյուն կենդանիների համար: Որպես հիմնային ինդիկատոր օգտագործել չեզոք կարմիրի 0.125% լուծույթը՝ որպես լուծիչ օգտագործելով 0.65% նատրիումի քլորիդի լուծույթը: Ինդիկատորի լուծույթը բուֆերացնել 1 ծավալ բուֆերային լուծույթ / 2 ծավալ ինդիկատորի լուծույթ հարաբերությամբ և ստացված խառնուրդները տեղափոխել գլանների մեջ: Որպես ստուգիչ օգտագործել մույն հարաբերությամբ բուֆերացված 0.65% ֆիզիոլոգիական լուծույթը:

**Աղյուսակ 2.**

**Սերենսենի ֆոսֆատային խառնուրդ**

| $pH$ | 1/15 Մ $Na_2HPO_4$ լուծույթ, մլ | 1/15 Մ լուծույթ, $KH_2PO_4$ , մլ |
|------|---------------------------------|----------------------------------|
| 5.28 | 0.25                            | 9.75                             |
| 5.58 | 0.5                             | 9.5                              |
| 5.90 | 1.0                             | 9.0                              |
| 6.23 | 2.0                             | 8.0                              |
| 6.46 | 3.0                             | 7.0                              |
| 6.64 | 4.0                             | 6.0                              |
| 6.97 | 6.0                             | 4.0                              |
| 7.16 | 7.0                             | 3.0                              |
| 7.38 | 8.0                             | 2.0                              |
| 7.73 | 9.0                             | 1.0                              |
| 8.04 | 9.5                             | 0.5                              |

Ապակյա բաժակների մեջ լցվող ֆիզիոլոգիական լուծույթն օգտագործելուց առաջ մույնպես բուֆերացնել վերը նշված հարաբերությամբ: Կենդանու մաշկի թափանցելիության վրա միջավայրի հատկությունների ազդեցության ուսումնասիրության համար հետազոտել բաժակի և գլանի լուծույթների  $pH$ -ի արժեքների տարբեր համակցություններ (աղյ. 3):

Ներկայնյութի բուֆերացված լուծույթով լցված կենդանու մաշկով ապակյա գլաններն ընկղմել բաժակների մեջ լցված բուֆերացված ֆիզիոլոգիական լուծույթի մեջ և դրանք տեղափոխել թերմոստատ  $22^{\circ}\text{C}$  պայմաններում, թողնել 3 ժամ:

Անհրաժեշտ է, որպեսզի բաժակի և գլանի մեջ գտնվող լուծույթների մակարդակները համընկնեն: 3 ժամ հետո որոշել գլանի և բաժակի մեջ եղած լուծույթների օպտիկական խտությունը:

### Աղյուսակ 3.

**Արտաքին և ներքին լուծույթների զուգորդումներ՝ ըստ pH-ի**

| <b>Բաժակի լուծույթի համար նախատեսված ֆոսֆատային խառնուրդի pH-ը</b> | <b>Գլանի լուծույթի համար նախատեսված ֆոսֆատային խառնուրդի pH-ը</b> |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 5.28                                                               | 5.28                                                              |
| 5.28                                                               | 7.73                                                              |
| 7.73                                                               | 5.28                                                              |
| 7.73                                                               | 7.73                                                              |

Օպտիկական խտությունը որոշելուց առաջ բաժակների պարունակությունը թթվայնացնել 1 կաթիլ  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -ի 2% լուծույթով: Որպես ստուգիչ օգտագործել  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -ի 2% լուծույթով թթվայնացված չեզոք կարմիրի 0.01% լուծույթը՝ պատրաստված  $\text{NaCl}$ -ի 0.65% լուծույթով: Հաշվարկել թափանցելիության գործակիցը հետևյալ բանաձևով՝  $\frac{dm}{dt} = -PSx(C_e - C_i)$ , որտեղ  $\frac{dm}{dt}$ -ը միավոր ժամանակում դիֆուզվող նյութի քանակությունն է,  $P$ -ն՝ թափանցելիության գործակիցը,  $S$ -ը՝ մակերեսը, որով տեղի է ունենում դիֆուզիան,  $C_e$ -ն՝ տվյալ նյութի խտությունների տարբերությունն արտաքին լուծույթում,  $C_i$ -ն՝ տվյալ նյութի խտությունների տարբերությունը կենսաբանական օբյեկտի ներսում: Ստացված տվյալները գրանցել աղյուսակ 4-ում և գրել եզրակացություն:

**Աղյուսակ 4.**

**Միջավայրի ակտիվ ռեակցիայի ազդեցությունը չեզոք կարմիրի համար գորտի մաշկի միակողմանի թափանցելիության վրա**

| pH                   |                        | Ներկանյութի օպտիկական խտությունը |                    | Ներկանյութի խտությունը լուծույթում |                    |
|----------------------|------------------------|----------------------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------|
| Ներկանյութի լուծույթ | Ֆիզիոլոգիական լուծույթ | Էպիթելը դեպի ներս                | Էպիթելը դեպի դուրս | Էպիթելը դեպի ներս                  | Էպիթելը դեպի դուրս |
| 5.28                 | 5.28                   |                                  |                    |                                    |                    |
| 5.28                 | 7.73                   |                                  |                    |                                    |                    |
| 7.73                 | 5.28                   |                                  |                    |                                    |                    |
| 7.73                 | 7.73                   |                                  |                    |                                    |                    |

### **3. ԿԵՆՍԱԲԱՆԱԿԱՆ ՀԵՂՈՒԿՆԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԼԱՐՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Կենսահամակարգերի կառուցվածքային կազմավորման շատ կարևոր առանձնահատկություն է ձևավորված և դիմամիկրոեն կայուն ֆազերի բաժանման մակերևույթների արտակարգ բազմազանությունը: Դրանցից են տարատեսակ թաղանթային գոյացությունները՝ բջջաթաղանթները (պլազմային թաղանթը, էնդոպլազմային ցանցը, միտոքոնդրիումների, պլաստիդների, Գոլջիի ապարատի, կորիզների և այլ օրգանոիդների թաղանթները), արյունատար անոթների պատերի մակերևույթները, լորձաթաղանթները, մաշկը: Ֆազերի բաժանման մակերևույթների մակերեսները շատ մեծ են, օրինակ՝ մարդու մաշկի մակերևույթի մակերեսը  $1.5-2 \text{ մ}^2$  է, մարդու արյան էրիթրոցիտներինը՝  $2500-3800 \text{ մ}^2$ , լյարդի մազանոթներինը՝ մոտ  $400 \text{ մ}^2$ , թոքաբշտերինը՝ մոտ  $150 \text{ մ}^2$  և այլն: Հայտնի է, որ օրգանիզմում ընթացող կարևորագույն կենսաքիմիական գործընթացների բացարձակ մեծամասնությունն իրականանում է կենսաբանական թաղանթների մակերևույթներին, ուստի, այդ գործընթացների մեխանիզմը հասկանալու համար անհրաժեշտ է իմանալ մակերևութային երևույթների հիմնական օրինաչափությունները: Մակերևութային երևույթներ են անվանում ֆազերի բաժանման սահմանի մակերևութային (սահմանային) շերտի կազմի և կառուցվածքի առանձնահատկություններով պայմանավորված մոլեկուլային փոխազդեցությունները:

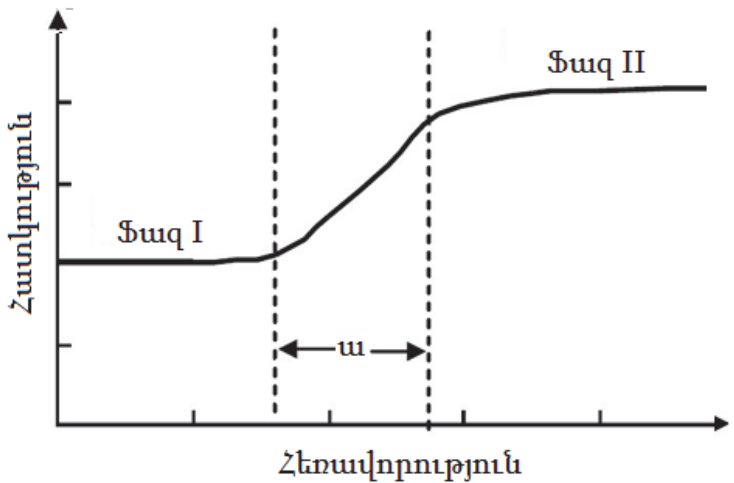
Տարբեր ֆազերի բաժանման սահմանին առաջացող մակերևութային շերտը ներկայացնում է միջանկյալ ֆազ, որի հաստությունը, համաձայն Գիբսի, հավասար է մի քանի մոլեկուլային տրամագծի: Այդ շերտի հատկությունները տարբեր կետերում խիստ տարբեր են (նկ. 1):

Եթե մակերևութային շերտի հաստությունը մոտավորապես հավասար է մոլեկուլի տրամագծին, ապա այն անվանում են միամոլեկուլային (մոնոմոլեկուլային):

Կախված սահմանակից ֆազերի ագրեգատային վիճակից՝ տարբերում են 2 տիպի բաժանման մակերևույթներ՝

1. շարժուն բաժանման մակերևույթներ՝ հեղուկի և գազի (հ-գ), ինչպես նաև երկու չխառնվող հեղուկների (հ-հ) միջև,

2. անշարժ բաժանման մակերևույթներ՝ պինդ նյութի և գազի (պ-գ), պինդ նյութի և հեղուկի (պ-հ), երկու պինդ նյութերի (պ-պ) միջև:



**Նկ. 1. Սահմանային շերտում հատկությունների փոփոխությունը**  
( $u$  - սահմանային շերտ)

Բաժանման մակերևույթի մակերեսը ( $S$ ) տվյալ համակարգի տրված հաստատուն զանգվածի դեպքում աճում է վերջինիս մասերի չափերի նվազմանը զուգընթաց: Ֆազերի բաժանման մակերևույթի ազդեցությունը համակարգի հատկությունների վրա աճում է տեսակարար մակերևույթի մակերեսի մեծության աճին զուգընթաց: Ֆազի տեսակարար մակերևույթ ( $S_m$ ) են անվանում ֆազի սահմանային

մակերևույթի գումարային մակերեսի ( $S_{\text{գում}}$ ) և ծավալի ( $V$ ) հարաբերությունը՝

$$S_{\text{տ}} = \frac{S_{\text{գում}}}{V} : \quad (1)$$

Համակարգի Գիբսի ընդհանուր էներգիան ( $G$ ) կարելի է բաժանել երկու գումարելիների՝ ծավալային ֆազի Գիբսի էներգիայի ( $G_V$ ) և Գիբսի մակերևութային էներգիայի ( $G_S$ )՝

$$G = G_V + G_S : \quad (2)$$

Ծավալային ֆազի Գիբսի էներգիան ուղիղ համեմատական է դրա զանգվածին, հետևաբար նաև համակարգի զբաղեցրած ծավալին՝

$$G_V = kV , \quad (3)$$

որտեղ  $k$  -ն համեմատականության գործակիցն է,  $V$  -ն՝ զբաղեցրած ծավալը:

Համակարգում Գիբսի մակերևութային էներգիան համեմատական է միջֆազային մակերևույթի մակերեսին՝

$$G_S = \sigma S , \quad (4)$$

որտեղ  $G_S$  -ը համակարգում Գիբսի մակերևութային էներգիան է,  $\sigma$  -ն՝ համեմատականության գործակիցը, որն անվանում են մակերևութային լարվածություն,  $\sigma$  -ն<sup>2</sup>:  $S$  -ը՝ միջֆազային մակերևույթի մակերեսը, մ<sup>2</sup>:

**Մակերևութային լարվածությունը ( $\sigma$ )** մակերևութային շերտի միավոր մակերեսին համապատասխանող Գիբսի էներգիայի մեծություն է:  $\sigma$  -ի թվային արժեքը հավասար է այն աշխատանքին ( $A$ ), որն անհրաժեշտ է կատարել հաստատուն ջերմաստիճանի պայմաններում ֆազերի բաժանման միավոր մակերեսի առաջացման համար՝

$$\sigma = \frac{A}{S} :$$

Հաշվի առնելով (3)-ը և (4)-ը՝ Գիբսի էներգիայի համար կստանանք հետևյալ հավասարումները.

$$G = kV + \sigma S, \quad (5)$$

$S = S_{\text{գուծ}}$ , հետևաբար՝

$$\frac{G}{V} = k + \sigma S_{\text{տ}} : \quad (6)$$

6-րդ հավասարումից հետևում է, որ համակարգի միավոր ծավալի հաշվարկով Գիբսի էներգիան աճում է համակարգի տեսակարար մակերևույթի աճին գուրընթաց: Տեսակարար մակերևույթի փոքր արժեքների դեպքում համակարգի Գիբսի մակերևութային էներգիան կարելի է անտեսել, իսկ  $S_{\text{տ}}$ -ի մեծ արժեքների դեպքում այն անհրաժեշտ է հաշվի առնել:

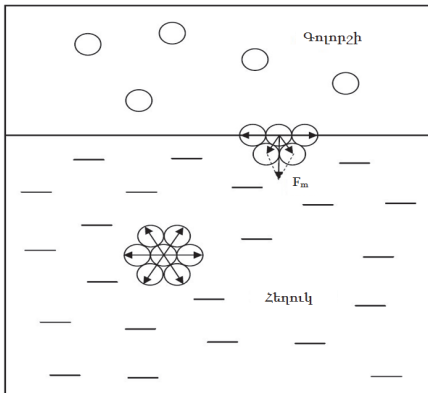
Կենդանի օրգանիզմներն իրենցից ներկայացնում են լավ զարգացած բաժանման մակերևույթներով համակարգեր: Բաժանման մակերևույթներից են մաշկը, լորձաթաղանթները, արյունատար անոթների պատերը, բջջաթաղանթները, ներբջջային թաղանթները և այլն:

Օրգանիզմում կենսականորեն կարևոր կենսաքիմիական շատ գործընթացներ իրականանում են ֆազերի բաժանման մակերևույթներին, ուստի դրանց մեխանիզմները հասկանալու համար անհրաժեշտ է իմանալ այն հիմնական օրինաչափությունները, որոնց ենթարկվում են մակերևութային գործընթացները:

## **ՍԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԸ ՀԵՂՈՒԿ-ԳԱՁ ԵՎ ՀԵՂՈՒԿ-ՀԵՂՈՒԿ ԲԱԺԱՆՄԱՆ ՍԱՀՄԱՆՆԵՐԻՆ**

Ֆազերի բաժանման մակերևույթին գտնվող ատոմների, իոնների, մոլեկուլների և ֆազի խորքում գտնվող մնամատիպ մասնիկների

վրա ազդող ուժերը տարբեր են (նկ. 2): Հեղուկի ներսում գտնվող մոլեկուլները շրջապատված են նման մոլեկուլներով: Դրանց վրա բոլոր կողմերից ազդող ուժերը հավասար են, և այդ ուժերի արդյունքարարը ( $F$ ) հավասար է զրոյի: Քանի որ հեղուկ վիճակում գտնվող նյութի մոլեկուլների միջև փոխազդեցություններն ավելի ուժեղ են, քան գազային վիճակում գտնվող նյութերինը, ֆազերի բաժանման սահմանին գտնվող մոլեկուլների վրա գազային և հեղուկ ֆազերի կողմից ազդող ուժերը տարբեր են: Մոլեկուլային փոխազդեցություններն ուղղահայաց ուղղությամբ հավասարակշռված չեն, ուստի մոլեկուլային ուժերի արդյունքարարը հավասար չէ զրոյի և ուղղված է դեպի հեղուկ ֆազի խորքը: Հեղուկի խորքից դեպի մակերևույթ մոլեկուլների անցման ժամանակ կատարվում է աշխատանք ( $A$ )՝ այդ ուժը հաղթահարելու համար: Արդյունքում առաջանում է մոլեկուլների մակերևութային շերտ, որոնք ունեն Գիբսի մակերևութային էներգիայի ավելցուկ:



**Նկ. 2. Մակերևութային շերտում և հեղուկի ծավալում մոլեկուլի վրա ազդող միջմոլեկուլային ուժերը**

Տարբեր հեղուկների մակերևութային լարվածությունը տատանվում է բավական լայն միջակայքում (աղյ. 1) և կախված է հեղուկի բնույթից, ջերմաստիճանից, մթնոլորտային ճնշումից, իսկ լուծույթների համար՝ նաև լուծված նյութերի խտությունից:

# Աղյուսակ 1.

**Տարբեր հեղուկների՝ օդի հետ սահմանին մակերևութային լարվածության արտահայտման եղանակները՝ 293 Կ դեպքում**

| Միացություն      | $\sigma = A / S$       |                                      |                                |
|------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
|                  | $\sigma = F / l$ (Ն/մ) | $\sigma = G / S$ (Ջ/մ <sup>2</sup> ) | $\sigma = P / 2\pi r$ (դին/սմ) |
| Ջուր             | 0.0728                 | 0.0728                               | 72.75                          |
| Գլիցերին         | 0.0647                 | 0.0647                               | 63.4                           |
| Քացախաթթու       | 0.0276                 | 0.0276                               | 27.63                          |
| Եթերայուղ (oliv) | 0.033                  | 0.033                                | 33.06                          |
| Քլորոֆորմ        | 0.0271                 | 0.0271                               | 26.0                           |
| Էթանոլ           | 0.0223                 | 0.0223                               | 22.27                          |
| Մեթանոլ          | 0.0226                 | 0.0226                               | 23.0                           |
| Էթիլ եթեր        | 0.0171                 | 0.0171                               | 16.96                          |
| Արյան շիճուկ     | 0.0454                 | 0.0454                               | 45.42                          |
| Բենզոլ           | 0.0294                 | 0.0294                               | 28.88                          |
| Լեղի             | 0.048                  | 0.048                                | 48.31                          |
| Կաթ              | 0.05                   | 0.05                                 | 50.23                          |
| Սնդիկ            | 0.47                   | 0.436                                | 465.0                          |

$F$  - ֆազերի բաժանման սահմանին գտնվող մոլեկուլի վրա ազդող արդյունարար ուժը,

$G$  - Գիբսի մակերևութային էներգիան հեղուկ-գազ համակարգում,

$P$  - պինդ մարմնի (օղակի) պոկման իրական ուժը (դին-ով),

$l$  - հեռավորությունը, որի վրա ազդում է ուժը, (մ),

$r$  - օղակի արտաքին շառավիղը (սմ):

Հեղուկ-գազ սահմանին մակերևութային լարվածությունն աճում է հեղուկի մոլեկուլների փոխազդեցության աճին զուգընթաց:

Հեղուկների մակերևութային լարվածությունը նվազում է ջերմաստիճանի աճին զուգընթաց և կրիտիկական ջերմաստիճանի մոտակայքում հավասարվում է զրոյի (ամիեռտանում է ֆազերի բաժանման մակերևութը):

Ճնշման աճին զուգընթաց՝ մակերևութային լարվածությունը հեղուկ-գազ սահմանին նվազում է, քանի որ աճում է մոլեկուլների

խառնությունը գազային ֆազում, և մակերևութային շերտում գտնվող հեղուկի մոլեկուլների վրա գործող ուժերի արդյունաբար  $F$  -ը նվազում է:

## **ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅՈՒՆ**

Լուծված նյութերը կարող են բարձրացնել, նվազեցնել կամ գործնականում չազդել հեղուկների մակերևութային լարվածության վրա:

Լուծիչի մակերևութային լարվածությունը փոխելու՝ լուծված նյութերի ունակությունը կոչվում է մակերևութային ակտիվություն: Այն լուծված նյութերը, որոնք իջեցնում են լուծիչի մակերևութային լարվածությունը, անվանում են մակերևութային ակտիվ նյութեր (ՄԱՆ): Ջրի նկատմամբ ՄԱՆ են համարվում շատ օրգանական միացություններ, օրինակ՝ սպիրտները, թթուները, բարդ եթերները, սպիտակուցները և այլն:

Եթե լուծված նյութը թեկուզ չնչին չափով բարձրացնում է մակերևութային լարվածությունը, ապա այն անվանում են մակերևութային ինակտիվ նյութ (ՄԻՆ): Ջրի նկատմամբ ՄԻՆ են անօրգանական թթուները, հիմքերը, աղերը, ինչպես նաև այնպիսի օրգանական միացությունները, ինչպիսիք են գլիցերինը,  $\alpha$ -ամինաթթուները և այլն:

Մակերևութային ոչ ակտիվ նյութեր (ՄՈՆ) են անվանում այն նյութերը, որոնք գործնականում չեն փոխում լուծիչի մակերևութային լարվածությունը: Ջրի նկատմամբ այդպիսի նյութերից է սախարոզը:

Կենսահամակարգերում առավել կարևոր են մակերևութային ակտիվ նյութերը:

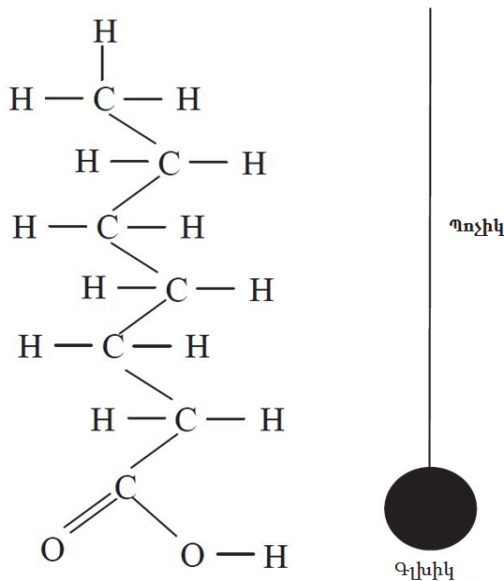
Որպեսզի նյութն օժտված լինի ջրի մակերևութային լարվածությունն իջեցնելու ընդունակությամբ, դրա մոլեկուլները պետք է բաղկացած լինեն չբևեռացված (հիդրոֆոբ) ամֆսաջրածնային մասից («պոչիկ») և բևեռացված (հիդրոֆիլ) խմբից («գլխիկ»): Այդպիսի

նյութերը հաճախ անվանում են երկֆիլ: Բևեռացված խմբերից են,

օրինակ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $\begin{array}{c} \text{-O-C=O,} \\ | \end{array}$ ,  $-\text{NH}_2$ ,  $\begin{array}{c} \text{-N-C=O} \\ | \quad | \end{array}$ ,  $-\text{SO}_3$  և  
այլն: Մակերևութային ակտիվ նյութի մոլեկուլի սխեմատիկ կառուց-  
վածքը ներկայացված է նկ. 3-ում:

ՄԱՆ-ի խտության աճին զուգընթաց համակարգի մակերևու-  
թային ակտիվությունը նվազում է: Մակերևութային ակտիվությունը  
կախված է ՄԱՆ-ի բնույթից:

Համաձայն Դյուկլո-Տրաուբեի կանոնի՝ նույն հոմոլոգիական  
շարքի նյութերի ածխաջրածնային շղթայի՝ մեկ մեթիլենային խմբով  
( $-\text{CH}_2-$ ) աճի դեպքում մակերևութային ակտիվությունն աճում է մոտ 3  
անգամ:



**Նկ. 3. ՄԱՆ-ի մոլեկուլի մոդելը հեպտանաթթվի օրինակով**

Նույն հոմոլոգիական շարքին պատկանող նյութերի կենսաբա-  
նական ակտիվությունը (թմրեցնող ազդեցություն, մանրէասպան

հատկություն և այլն) բարձրանում է դրանց մակերևութային ակտիվության աճին զուգընթաց, այսինքն՝ համաձայն Դյուկլո-Տրաուբեի կանոնի:

ՄԱՆ օգտագործում են վիրաբուժությունում որպես հակասեպտիկներ: ՄԱՆ-ի մանրէասպան ակտիվությունը բացատրվում է այդ նյութերի ներգործության հետևանքով բջջաթաղանթի թափանցելիության աճով և ազդեցությամբ՝ մանրէների ֆերմենտային համակարգերի վրա: Ընդունված է տարբերել **ստատիկ և դինամիկ մակերևութային լարվածություն:**

**Դինամիկ մակերևութային լարվածությունը** բնութագրում է հենց նոր ձևավորված ֆազերի բաժանման մակերևույթը, որի կազմը նույնական է լուծույթի կազմին, վերջինիս ամբողջ հաստության մեջ:

**Ստատիկ մակերևութային լարվածությունը** բնութագրում է բաժանման մակերևույթը՝ հաստատված աղստրբցիոն հավասարակշռության պայմաններում:

Բացարձակ մաքուր հեղուկների (ջուր, բենզոլ, բացարձակ էթանոլ և այլն) մակերևութային շերտը և հեղուկ ֆազի ամբողջ հաստությունը լիովին համարժեք են ըստ կազմի: Նման հեղուկների մակերևութային լարվածությունը ժամանակի ընթացքում չի փոխվում, ուստի այդ հեղուկների ստատիկ և դինամիկ մակերևութային լարվածության արժեքները համընկնում են՝  $\sigma_{\text{ստ.}} = \sigma_{\text{դին.}}$ :

Հակառակը՝ մակերևութային ակտիվ նյութերի լուծույթների մակերևութային շերտի հատկությունները մոտ են հեղուկ ֆազի ամբողջ հաստության հատկություններին միայն բաժանման մակերևույթի ձևավորման պահին: Բաժանման մակերևույթի ձևավորումից անմիջապես հետո սկսվում է մակերևութային ակտիվ նյութերի աղստրբումը, որն ավարտվում է որոշ ժամանակ անց աղստրբցիոն հավասարակշռության հաստատումով:

Քանի որ մակերևութային ակտիվ նյութերը նվազեցնում են մակերևութային լարվածությունը, այդպիսի նյութերի լուծույթներում ստատիկ մակերևութային լարվածությունը միշտ փոքր է դինամիկից՝  $\sigma_{\text{ստ.}} < \sigma_{\text{դին.}}$ :

Որոշ կենսաբանական հեղուկներում ստատիկ և դինամիկ մակերևութային լարվածությունների միջև առկա են հատուկ փոխհարաբերություններ: Օրինակ՝ արյան պլազման և շիճուկն ընդունակ են վերականգնելու ՄԱՆ-ի ներմուծման արդյունքում նվազած մակերևութային լարվածության ելակետային արժեքը: Մակերևութային լարվածության արժեքի վերականգնման լուծույթների մեծ հատկությունը կոչվում է մակերևութային բուֆերականություն:

Շիճուկի մակերևութային բուֆերականությունը պայմանավորված է դրանում առկա  $Ca^{2+}$  իոններով: Վերջիններս, փոխազդելով մակերևութային ակտիվ ճարպաթթուների հետ, առաջացնում են չլուծվող աղեր, որոնք ընդունակ չեն փոխելու մակերևութային լարվածության մեծությունը: Արյան պլազմայի և շիճուկի մակերևութային լարվածության հաստատունության պահպանման գործընթացում կարևոր դերակատարում ունեն այդ հեղուկներում պարունակվող սպիտակուցները, որոնք աղտոտում են մակերևութային ակտիվ նյութերը:

Այսպիսով, շնորհիվ սպիտակուցների և կալցիումի իոնների, արյան պլազման և շիճուկը պահպանում են մակերևութային լարվածության մեծության հարաբերական հաստատունությունը, որը խախտվում է միայն ծանր հիվանդությունների դեպքում: Օրինակ՝ դեղնախտով հիվանդի արյան հուն մեծ քանակությամբ լեղաթթուների անցման հետևանքով կտրուկ նվազում է պլազմայի մակերևութային լարվածությունը:

Համակարգի մակերևութային բուֆերականության ուսումնասիրման ժամանակ անհրաժեշտ է հետևել դինամիկ մակերևութային լարվածության՝ ստատիկի անցման կինետիկային՝ լուծույթին մակերևութային ակտիվ նյութ ավելացնելուց հետո: Մակերևութային բուֆերականությամբ օժտված ցանկացած լուծույթ պետք է աստիճանաբար վերականգնի ՄԱՆ-ի ազդեցությամբ իջած մակերևութային լարվածության մեծությունը:

## **ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԼԱՐՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ**

Մակերևութային լարվածության որոշման գոյություն ունեցող եղանակները բաժանվում են 3 խմբի՝ ստատիկ, կիսաստատիկ և դինամիկ:

**Ստատիկ եղանակներով** որոշվում է տվյալ պահից շատ ավելի շուտ ձևավորված, ուստի հեղուկի ծավալի հետ հավասարակշռության վիճակում գտնվող, գործնականում անշարժ մակերևույթների մակերևութային լարվածությունը: Այդ եղանակների շարքին են դասվում մագնոթային բարձրացման և պառկած կամ կախված կաթիլի (բշտիկ) եղանակները:

**Դինամիկ եղանակների** հիմքում այն փաստն է, որ հեղուկի վրա մեխանիկական ներգործությունների որոշ տեսակներ ուղեկցվում են վերջիններիս մակերևույթի պարբերական ձգումներով և սեղմումներով, որոնց վրա ազդում է մակերևութային լարվածությունը: Նշված եղանակներով որոշվում է մակերևութային լարվածության ( $\sigma$ ) անհավասարակշռական արժեքը:

Դինամիկ եղանակների շարքին են դասվում մագնոթային ալիքների և տատանվող շիթի եղանակները:

**Կիսաստատիկ են** անվանում մակերևութային լարվածության որոշման այն եղանակները, որոնք թույլ են տալիս որոշել չափման ընթացքում առաջացող և պարբերաբար նորոգվող ֆազերի բաժանման սահմանի մակերևութային լարվածությունը: Այդ եղանակներից են բշտիկի առավելագույն ճնշման և ստալագմոմետրիկ, ինչպես նաև օղակի պոկման և թիթեղի ներքաշման եղանակները: Այս եղանակները թույլ են տալիս որոշել մակերևութային լարվածության հավասարակշռական արժեքը, եթե չափումներն իրականացվում են այնպիսի պայմաններում, որ այն ժամանակահատվածը, որի ընթացքում տեղի է ունենում բաժանման մակերևույթի ձևավորումը, շատ ավելի մեծ է ժամանակահատվածից, որն անհրաժեշտ է համակարգում հավասարակշռության հաստատման համար:

## ՄԱՁԱՆՈԹԱՅԻՆ ԲԱՐՉՐԱՅՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԸ

Մագանոթային եղանակի հիմքում ընկած է բաժանման կոր սահմանի հատկությունը, որի էությունն այն է, որ հեղուկի ճնշումը կորացած և հարթ մակերևույթների տակ միանման չէ և տարբերվում է մագանոթային ճնշման մեծության չափով ( $p$ )`

$$p = \sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad (1)$$

որտեղ  $r_1$  -ը և  $r_2$  -ը գնդի մակերևույթի կորության երկու գլխավոր շառավիղներն են,

$\sigma$  -ն` մակերևութային լարվածությունը:

Գնդի համար (սֆերիկ մակերևույթ, կաթիլ)  $r_1 = r_2 = r_3$ , իսկ գլանի համար`  $r_1 = r_4$ ,  $r_2 = \infty$ , որտեղ  $r_3$  -ը գնդի շառավիղն է,  $r_4$  -ը` գլանի շառավիղը:

Մագանոթային ճնշումը ծառայում է որպես շարժիչ ուժ մասամբ հեղուկի մեջ ընկղմված մագանոթում այդ հեղուկի բարձրացման կամ իջեցման համար:

Այդ համակարգում, որը բաղկացած է խիստ տարբերվող լուսածերպով երկհաղորդակցվող հեղուկով լցված անոթներից, հեղուկով մագանոթի մակերևույթի թրջման դեպքում ձևավորվում է գոգավոր (մենիսկի գագաթը դեպի վար) մակերևույթ, որի տակ ճնշումն ավելի փոքր է, քան լայն անոթում հարթ մակերևույթի տակ գտնվող հեղուկում:

Եթե հեղուկը չի թրջում մագանոթի մակերևույթը, ապա նրանում ձևավորվում է հեղուկի ուռուցիկ մակերևույթ (մենիսկի գագաթը դեպի վեր), որի տակ հեղուկի ճնշումն ավելի մեծ է, քան հարթ մակերևույթի տակ: Դրա հետևանքով հեղուկի մակարդակը մագանոթում ցածր կլինի լայն անոթում գտնվող հեղուկի մակարդակից: Գլանի ձև ունեցող մագանոթներում ձևավորվում է սֆերիկ մակերևույթ, որի համար  $r_1 = r_2 = r_3$  և (1) հավասարումը ստանում է հետևյալ տեսքը`

$$p = \frac{2\sigma}{r} :$$

Տվյալ դեպքում մեխանիկական հավասարակշռության պայմանը ֆազերի բաժանման կամայական կորության մակերևույթի առկայության դեպքում բնութագրվում է հետևյալ հավասարմամբ՝

$$\frac{2\sigma}{r} = h(\rho_2 - \rho_1)g, \quad (2)$$

որտեղ  $r$ -ը սֆերիկ մակերևույթի կորության շառավիղն է,

$h$ -ը՝ մագնոթում հեղուկի մակարդակի փոփոխության բարձրացման կամ իջեցման չափը,

$\rho_1$ -ը և  $\rho_2$ -ը՝ հեղուկի և հազեցած գոլորշու խտությունները:

(2) բանաձևից հետևում է, որ մակերևույթի կորության շառավիղի մեծությունն իմանալու դեպքում կարելի է որոշել մակերևութային լարվածությունը՝ չափելով հեղուկի սյան բարձրությունը մագնոթում: Քանի որ փորձական ճանապարհով մակերևույթի կորության շառավիղը հնարավոր չէ որոշել (նկ. 4), օգտագործելու համար (2) հավասարումը բերվում է հարմար տեսքի՝ դրա մեջ տեղադրելով հետևյալ արտահայտությունը՝

$$r \cos \theta = R,$$

որտեղ  $\theta$ -ն եզրային անկյունն է,

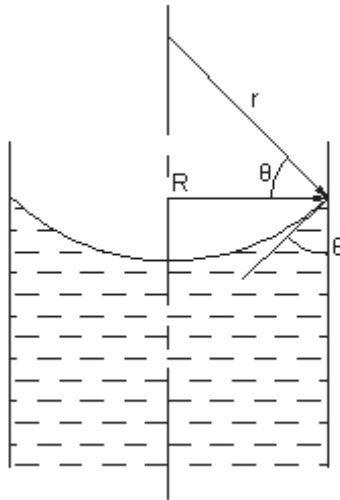
$R$ -ը՝ մագնոթում հեղուկի մակերևույթի կորության շառավիղը:

Այսպիսով՝ ըստ մագնոթում հեղուկի սյան բարձրության հեղուկի մակերևութային լարվածության ճշգրիտ որոշման համար, մագնոթի շառավիղը որոշելուց բացի, անհրաժեշտ է չափել նաև  $\theta$  անկյունը: Դա ներկայացվող եղանակի թերությունն է:

Ջրի և շատ օրգանական հեղուկների համար  $\theta$  անկյունը մոտ է 0-ի, ուստի անկյան որոշումն անհրաժեշտ չէ, և կարելի է ընդունել, որ  $r = R$ :

Մագնոթով հեղուկի բարձրացման եղանակով մակերևութային լարվածությունը որոշելու համար անհրաժեշտ է 0.2-0.3 մմ տրամա-

գծով մազանոթ, որը որևէ եղանակով միացվում է անոթին, որի մեջ լցվում է հետազոտվող հեղուկը:



**Նկ. 4. Մակերևույթի կորության շառավղի ( $r$ ) և մազանոթի շառավղի ( $R$ ) հա-  
րաբերությունը պարզաբանող սխեման**

Մազանոթով հեղուկի բարձրացման չափը որոշող սարքը՝ **կատե-  
տամետրոն**<sup>1</sup> է, որն ապահովում է  $\pm 1$  մկմ ճշգրտություն, անհրաժեշտ է  
մասն մենիսկը լուսավորելու համար որևէ սարք: Մազանոթի շառավի-  
ղը որոշվում է ըստ մազանոթի հայտնի զանգվածով սնդիկի սյան եր-  
կարության: Եթե չի պահանջվում շատ մեծ ճշգրտություն, ապա մա-  
զանոթի տրամագիծը կարելի է որոշել ըստ հայտնի մակերևութային  
լարվածությամբ ( $\sigma_0$ ) ստանդարտ հեղուկի՝ մազանոթում բարձրաց-  
ման մեծության՝ ըստ հետևյալ հավասարման՝  $R = 2\sigma_0 / (h_0 \rho_0 g)$ :

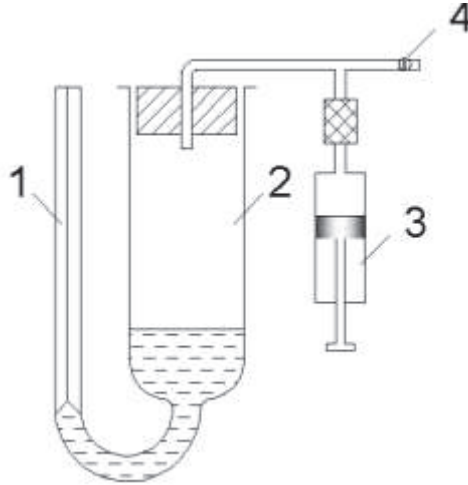
Այս դեպքում հետազոտվող հեղուկի մակերևութային լարվածու-  
թյունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

<sup>1</sup> Էջաչափ՝ երկու կետերի ուղղաձիգ հեռավորությունը չափող սարք:

$$\sigma = \sigma_0 \frac{h\rho}{h_0\rho_0} : \quad (3)$$

Հետագոտվող հեղուկի համար նախատեսվող անոթը պետք է ունենա բավականաչափ մեծ տրամագիծ (մեծ կամ հավասար 30 մմ), որպեսզի հեղուկի մակերևույթն այդ անոթում հարթ լինի:

Մազանոթում և լայն տրամագծով անոթում հեղուկի մակարդակը պետք է որոշել նեղ (2-5 մմ) ճեղք ունեցող մուգ էկրանի ֆոնի վրա, որը լուսավորվում է լամպով: Որպես մազանոթում հեղուկի սյան բարձրացման չափ ( $h$ ) ընդունվում է մենիսկի բևեռի և հեղուկի հարթ մակերևույթի (լայն տրամագծով անոթում) մակարդակների միջև եղած հեռավորությունը:



**Նկ. 5. Մազանոթային բարձրացման եղանակով մակերևութային լարվածության որոշման սարք**

1. Մազանոթ, 2. հետագոտվող հեղուկի համար նախատեսված ծունկ,
3. ներարկիչ, 4. ծորակ:

Նկ. 5-ում ներկայացված է քննարկվող եղանակով մակերևութային լարվածության որոշման սարքավորման հնարավոր տարբերակներից մեկը: Սարքը պատրաստված է Ս-աձև խողովակի տես-

քով, որի մի ծնկի տրամագիծը  $\approx 30$  մմ է (2), իսկ երկրորդ ծունկը թվակալված մազանոթ է (1):

Հեղուկի մակերևութային լարվածությունը որոշելու համար սարքը նախապես լավ լվանալ և չորացնել, ամրացնել ուղղահայաց դիրքով: Սարքի (2) ծնկի մեջ կաթոցիչով զգուշությամբ լցնել հետազոտվող հեղուկը և փակել ռետինե խցանով, որի մեջ տեղադրված է ծորակով ապակե խողովակ (4), որը պետք է բաց լինի խցանով խողովակը փակելու պահին: Խողովակն ունի ելուստ՝ ներարկիչին (3) միանալու համար: Անոթի լայն ծունկը փակելուց հետո ծորակը (4) փակել և ներարկիչի միջոցով հեղուկն արդեն հաստատված մակարդակից բարձրացնել 10-15 մմ-ով, ապա բացել ծորակը և մենիսկի իջնելուց հետո չափել մազանոթում հեղուկի բարձրացման մակարդակը: Չափումները կրկնել 3-5 անգամ և ստացված տվյալները գրանցել աղյուսակ 2-ում:

**Աղյուսակ 2.**

| <b>Մազանոթում հեղուկի բարձրացման որոշումը</b> |                                                                                 |                                         |                                                                     |                                     |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Փորձի համարը<br/>№</b>                     | <b>Կատետամետրի սանդղակի ցուցմունքներն այն դեպքում, երբ սարքն ուղղված է դեպի</b> |                                         | <b>Մազանոթային բարձրացման բարձրությունը,<br/><math>h</math>, մմ</b> | <b><math>h</math><br/>միջին, մմ</b> |
|                                               | <b>մենիսկը<br/>մազանոթում</b>                                                   | <b>հեղուկի հարթ մակերևույթը անոթում</b> |                                                                     |                                     |
|                                               |                                                                                 |                                         |                                                                     |                                     |

Կարևոր է հիշել, որ մենիսկի արագ իջեցման ժամանակ կարող է տեղի ունենալ հեղուկի սյան խզում, քանի որ հեղուկի մի մասը մնում է մազանոթի պատերին և ծանրության ուժի ազդեցության տակ հավաքվում առանձին սյունակներում: «Խզումները» վերացնելու համար անհրաժեշտ է ամբողջ մազանոթը լցնել հեղուկով, ապա ֆիլտրի թղթով մազանոթի վերին ծայրից հեռացնել հեղուկի ավելցուկը և մենիսկը դանդաղ իջեցնել մինչև հավասարակշռական դիրքը:

Մազանոթային եղանակի տարբերակներից մեկը հիմնված է ճնշման չափման վրա, որն անհրաժեշտ է գործադրել մինչև հեղուկի հարթ մակերևույթը (անոթ 2-ում) մենիսկն իջեցնելու համար: Նշված

եղանակը կիրառելու համար սարքում ծորակին ամրացվում է մանոմետր:

## ԲՇՏԻԿՆԵՐԻ ԱՌԱՎԵԼԱԳՈՒՅՆ ՃՆՇՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ

**Անհրաժեշտ պարագաներ և սարքեր՝**  $NaCl$  -ի ( $CuSO_4$  -ի) 0,2%, 0,5%, 0,7%, 0,9% լուծույթներ, մանոմետր, տանձիկ:

Տվյալ եղանակը հիմնված է այն փաստի վրա, որ հեղուկի մակերևույթին հավող մազանոթի ծայրին առաջացած բշտիկում ճնշման բարձրացման ընթացքում այն կաճի այնքան ժամանակ, մինչև չհաստատվի որոշակի սահմանային ճնշում, որը համեմատական է հեղուկի մակերևութային լարվածությանը: Այդ պահին բշտիկը պոկվում է հեղուկի մակերևույթին հավող մազանոթի ծայրից, և բշտիկում ճնշումն ընկնում է մինչև 0: Մազանոթը կրկին օդով լցնելու դեպքում կրկին կառաջանա և կաճի բշտիկ: Եթե  $P$  -ն բշտիկի պոկման ճնշումն է, ապա  $\sigma$  մակերևութային լարվածությունը հավասար է

$$\sigma = K \cdot P, \quad (4)$$

որտեղ  $K$  -ն մազանոթի տրամագծից կախված հաստատուն է,  $K$  -ի մեծությունը կախված չէ հեղուկի բնույթից, ուստի այն կարելի է որոշել ջրի միջոցով, որի մակերևութային լարվածության արժեքները տարբեր ջերմաստիճաններում հայտնի են աղյ. 3-ից:

**Աղյուսակ 3.**

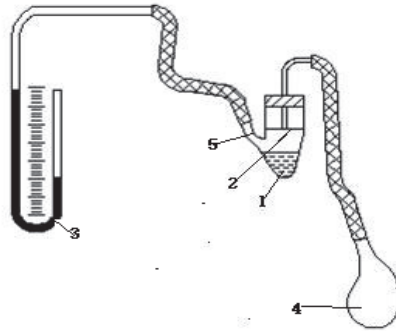
| $t^{\circ} C$ | $\sigma, \text{Ն/մ}$ | $t^{\circ} C$ | $\sigma, \text{Ն/մ}$ |
|---------------|----------------------|---------------|----------------------|
| 12            | 73,70                | 22            | 72,22                |
| 14            | 73,41                | 24            | 71,93                |
| 16            | 73,11                | 26            | 71,63                |
| 18            | 72,82                | 28            | 71,33                |
| 20            | 72,53                | 30            | 71,03                |

Եթե ջրի համար բշտիկի պոկման ճնշումը նշանակենք  $P_{H_2O}$ ,

ապա  $K = \frac{\sigma_{H_2O}}{P_{H_2O}}$ , հետևաբար՝

$$\sigma_x = \frac{\sigma_{H_2O}}{P_{H_2O}} \cdot P_x : \quad (5)$$

Մակերևութային լարվածությունը որոշելու համար օգտագործում են նկ. 3-ում ներկայացված սարքը: Անոթ 1-ի մեջ լցնել որոշ քանակությամբ թորած ջուր՝ այնքան, որ նրա մակարդակը լինի կողային ճյուղավորումից (5) ցածր: Անոթն ամուր փակել խցանով, որով անցնում է մագնոթը (2): Մագնոթի ազատ ծայրը պետք է հպվի հեղուկի մակերևութին և մի թեթև կորացնի վերջինիս: Տանձիկի (4) օգնությամբ զգուշությամբ բարձրացնել ճնշումը և բշտիկի պոկման պահին գրանցել մանոմետրի (3) վրա հեղուկի մակարդակների տարբերությունը: Փորձը կատարել մի քանի անգամ և հաշվարկել ճնշման միջին արժեքը՝  $P_{H_2O}$ : Հաշվարկել  $K$ -ի արժեքը: Դրանից հետո ջուրը հեռացնել անոթից և փոխարինել հետազոտվող լուծույթով, հաջորդաբար փոխելով հետազոտվող լուծույթները՝ որոշել յուրաքանչյուրի համար բշտիկի պոկման ճնշումը վերոհիշյալ եղանակով:



**Նկ. 3. Քշտիկի առավելագույն ճնշման եղանակով մակերևութային լարվածության որոշման սարքի սխեման**

1. Հետագոտվող հեղուկի համար նախատեսված ապակյա անոթ, 2. մագանոթ, 3. մանոմետր, 4. տանձիկ, 5. ապակյա անոթի կողային ելուստ:

Ստացած տվյալները գրանցել աղյուսակ 4-ում:

**Աղյուսակ 4.**

**Քշտիկների առավելագույն ճնշման եղանակով մակերևութային լարվածության որոշման արդյունքները**

| Լուծույթի խտությունը<br>(մոլ/լ) | $P_x$ , մմ ստ. ջուր | $\sigma_x$ , Ն/մ |
|---------------------------------|---------------------|------------------|
|                                 |                     |                  |

## **ՕՂԱԿԻ ՊՈԿՄԱՆ ԴՅՈՒՆՅՈՒՒ ԵՂԱՆԱԿ**

### **ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ 1**

#### **ԿԵՆՍԱԲԱՆԱԿԱՆ ՀԵՂՈՒԿՆԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԼԱՐՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԱԿՏԻՎ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՆԵՐԳՈՐԾՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Սառնարյուն կենդանիների համար ֆիզիոլոգիական և Ռինգերի լուծույթների մակերևութային լարվածության վրա ՄԱՆ-ի (մակերևութային ակտիվ նյութ) ներգործությունն ուսումնասիրելու համար կարելի է կիրառել հեղուկից պոկման ուժի որոշման եղանակը:

Ժամացույցի ապակու վրա կաթոցիչով լցնել 0,5-1 մլ սառնարյուն կենդանիներին բնորոշ ֆիզիոլոգիական լուծույթ և որոշել վերջինիս մակերևութային լարվածությունը (օղակի պոկման իրական ուժը՝ P) ներքոհիշյալ եղանակով: Կշեռքի լծակի օգնությամբ պոկել օղակը ֆիզիոլոգիական լուծույթի կաթիլի մակերևութից, հաշվարկել օղակի պոկման իրական ուժը: Գործողությունը կրկնել 3-5 ր անց, ապակու վրայի կաթիլին ավելացնել նատրիումի օլեատի 0.1% լուծույթի 2 կաթիլ և անմիջապես որոշել օղակի պոկման ուժը: Օղակի պոկման հաջորդ որոշումներն իրականացնել ֆիզիոլոգիական լուծույթին նատրիումի օլեատի ավելացումից 1, 3, 5, 10, 15, 20 րոպե անց և յուրաքանչյուր պոկման արդյունքում հաշվարկել օղակի պոկման ուժը: Նույն եղանակով որոշել սառնարյուն կենդանիներին բնորոշ Ռինգերի լուծույթից օղակի պոկման իրական ուժը: Ստացված արդյունքների հիման վրա կառուցել ժամանակի ընթացքում մակերևութային լարվածության փոփոխությունն արտացոլող կորերը: Աբսցիսների առանցքի վրա նշել ժամանակը (ր-ով), օրդինատների առանցքի վրա՝ օղակի պոկման իրական ուժը (մգ-ով):

Գրել եզրակացություն:

**ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ 2**  
**ԱՐՅԱՆ ՊԼԱՉՄԱՅԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ**  
**ԲՈՒՖԵՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Գործն իրականացվում է առաջադրանք 1-ում նշված հաջորդականությամբ: Ժամացույցի ապակու վրա լցնել 0,5-1 մլ արյան պլազմա: Սկզբում չափվում է արյան պլազմայի մակերևույթից օղակի պոկման ուժի մեծությունը (եյակետային): 3-5 ր հետո գործողությունները կրկնել: Այնուհետև ժամացույցի ապակու վրա գտնվող արյան պլազմայի վրա ավելացնել 2 կաթիլ 0,1% նատրիումի օլեատի լուծույթ՝ նախապես 10 անգամ ֆիզիոլոգիական լուծույթով նոսրացված (ֆիզիոլոգիական լուծույթով նոսրացումը կատարվում է արյան պլազմայի օսմոտիկ ճնշման փոփոխությունը կանխելու համար): Արյան պլազմայից օղակի իրական պոկման ուժը չափել նատրիումի օլեատի լուծույթի ավելացումից անմիջապես հետո, ապա 1, 3, 5, 10, 20, 30 ր անց: Եթե 30 ր անց արյան պլազմայի մակերևույթից օղակի պոկման ուժի մեծությունը չի վերադարձել եյակետայինին, ապա փորձն անհրաժեշտ է շարունակել: Նույն եղանակով իրականացնել ստուգիչ փորձը՝ նատրիումի օլեատի փոխարեն ավելացնելով 2 կաթիլ 0,1% նատրիումի քլորիդի լուծույթ:

Ստացված տվյալների հիման վրա կառուցել կորեր, որոնք արտացոլում են մակերևութային լարվածության փոփոխությունը (օղակի պոկման իրական ուժի շնորհիվ) ժամանակի ընթացքում: Աբսցիսների առանցքի վրա նշվում է ժամանակը, օրդինատների առանցքի վրա՝ օղակի իրական պոկման ուժը:

#### **4. ԱՐՍՈՐԲՅՈՆ ՍՊԵԿՏՐԱՖՈՏՈՄԵՏՐԻԱՅԻ ԵՂԱՆԱԿԸ ԿԵՆՍԱՐԱՆԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ**

Հետազոտման սպեկտրալ մեթոդները հիմնված են հետազոտվող նյութի ատոմների կամ մոլեկուլների կողմից էլեկտրամագնիսական ճառագայթման կլանման երևույթի վրա:

Հետազոտվող նյութի կողմից էլեկտրամագնիսական էներգիայի քվանտների առաքումը կամ կլանումը կարելի է դիտարկել որպես բնութագրական ազդանշանների առաջացման գործընթաց, որն արտահայտվում է կլանման կամ առաքման սպեկտրների տեսքով, որոնք տեղեկատվություն են կրում տվյալ նմուշի համապատասխանաբար որակական և քանակական կազմի մասին: Հետազոտվող նյութի կողմից էլեկտրամագնիսական ճառագայթման ընտրողական կլանման վրա հիմնված վերլուծության եղանակներն անվանում են սպեկտրաֆոտոմետրիկ եղանակներ:

Մոլեկուլային սպեկտրաֆոտոմետրիայի եղանակները թույլ են տալիս դիտել հետազոտվող նյութի մոլեկուլների հետ օպտիկական տիրույթի էլեկտրամագնիսական ճառագայթման փոխազդեցության արդյունքները: Մոլեկուլային սպեկտրասկոպիկ վերլուծության նպատակների համար օգտագործվող էլեկտրամագնիսական ճառագայթման օպտիկական միջակայքն ընդգրկում է 100-ից մինչև 0.01 Էվ էներգիաների մեծությունների միջավայրը (սպեկտրի ինֆրակարմիր, տեսանելի և ուլտրամանուշակագույն տիրույթներ): Օպտիկական մոլեկուլային սպեկտրասկոպիայի (սպեկտրաֆոտոմետրիայի) մեթոդները կարելի է դասակարգել ըստ տվյալ միջակայքի ճառագայթման հետ նյութի մոլեկուլների փոխազդեցության բնույթի: Ըստ նշված դասակարգման սկզբունքի՝ կարելի է առանձնացնել օպտիկական մոլեկուլային սպեկտրասկոպիայի բաժիններ, որոնցից յուրաքանչյուրը կապված է ալիքի երկարությունների որոշակի սպեկտրալ միջակայքի հետ: Այսպես՝ ինֆրակարմիր ճառագայթման քվանտների էներգիան բավարար է միայն մոլեկուլների պտտական և տատանողական վիճակների (էներգիայի մակարդակների) փո-

փոխման համար, ինչն օգտագործում են միկրոալիքային և ինֆրակարմիր (ԻԿ) սպեկտրաֆոտոմետրիայի եղանակներում: Տեսանելի և ուլտրամանուշակագույն (ՈՒՄ) միջակայքի քվանտների էներգիան զգալի չափով գերազանցում է ԻԿ ճառագայթման քվանտների էներգիան, ուստի նյութի մոլեկուլների հետ տեսանելի և ուլտրամանուշակագույն միջակայքերի ճառագայթման փոխազդեցության ժամանակ հնարավոր են դառնում նաև էլեկտրոնային անցումները:

### **ՆՅՈՒԹԻ ԿՈՂՄԻՑ ԼՈՒՅՍԻ ԿԼԱՆՄԱՆ ՕՐԻՆԱԶՄՓՈԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Տեսանելի և ՈՒՄ սպեկտրաֆոտոմետրիան հետազոտում է կլանման էլեկտրոնային սպեկտրները, այսինքն՝ այն սպեկտրները, որոնք պայմանավորված են էլեկտրոնների անցումներով դեպի ավելի բարձր էներգիական մակարդակ, որոնք տեղի են ունենում տեսանելի կամ ՈՒՄ լույսի քվանտի էներգիայի կլանումով: Ենթադրվում է, որ տվյալ միջակայքի ճառագայթման կլանումը տեղի է ունենում որոշակի էլեկտրոնային անցումներով, որոնք պայմանավորված են հետազոտվող նյութի մոլեկուլների կառուցվածքով: Դա թույլ է տալիս, հիմնվելով տեսանելի և ուլտրամանուշակագույն տիրույթում կլանման սպեկտրների վրա, ստանալ տեղեկատվություն տվյալ նյութի մոլեկուլներում ատոմների որոշակի խմբերի առկայության, ինչպես նաև հետազոտվող նյութի մոլեկուլների կառուցվածքային վիճակի մասին: Այս մեթոդները կիրառվում են նաև լուծույթում կլանող նյութի խտության որոշման համար: Դեղագործության մեջ դրանք կիրառվում են դեղանյութերի կառուցվածքի պարզաբանման, մաքրության գնահատման և խառնուրդներում վերջիններիս քանակության որոշման համար:

Նյութի կլանման ունակության բնութագրման համար օգտագործում են այնպիսի մեծություններ, ինչպիսիք են օպտիկական խտությունը, լուսաբացթողումը և լուսակլանումը:

Օպտիկական խտությունը՝  $D$ -ն, իրենից ներկայացնում է մնուշի վրա ընկնող լույսի  $I_0$  և մնուշից դուրս եկող լույսի  $I$  ինտենսիվությունների հարաբերության տասնորդական լոգարիթմը՝

$$D = \lg \frac{I_0}{I} : \quad (1)$$

Օպտիկական խտությունը չունի չափողականություն:

Լուսաբացթողումը՝  $T$ -ն, մնուշից դուրս եկող լույսի ինտենսիվության և մնուշի վրա ընկնող լույսի ինտենսիվության հարաբերությունն է՝

$$T = \frac{I}{I_0} : \quad (2)$$

Լուսակլանումը՝  $\alpha$ -ն, մնուշով անցնող լույսի ինտենսիվության հարաբերական փոփոխությունն է, որի մեծությունը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\alpha = 1 - T : \quad (3)$$

Լուսակլանումը և լուսաբացթողումը չափվում են մասնաբաժիններով կամ տոկոսներով:

Լույսի կլանումը դրսևորվում է հետազոտվող օբյեկտով անցնելուց հետո լուսային հոսքի թուլացմամբ: Այդ օրինաչափությունն արտահայտվում է Բուգեր-Լամբերտ-Բերի օրենքով: Եթե ընկնող մոնոքրոմատիկ լույսի հոսքի ինտենսիվությունը հավասար է  $I_0$ , ապա նյութի շերտով անցած լույսի ինտենսիվությունը նյութի կողմից կլանումից հետո հավասար կլինի

$$I = I_0 10^{-\alpha c l} , \quad (4)$$

որտեղ  $\varepsilon$ -ը էքստինկցիայի (կլանման) մոլային գործակիցն է, լ/մոլ·սմ,

$c$ -ն՝ նյութի կոնցենտրացիան, մոլ/լ,

$l$ -ը՝ օպտիկական ուղղու երկարությունը (նյութի շերտի հաստությունը), սմ:

Էքստինկցիայի գործակիցը բնութագրում է նյութի մոլեկուլների կողմից որոշակի ավիքի երկարությամբ լույս կլանելու ընդունակությունը և որոշվում է տվյալ նյութի մոլեկուլների կառուցվածքային առանձնահատկություններով:

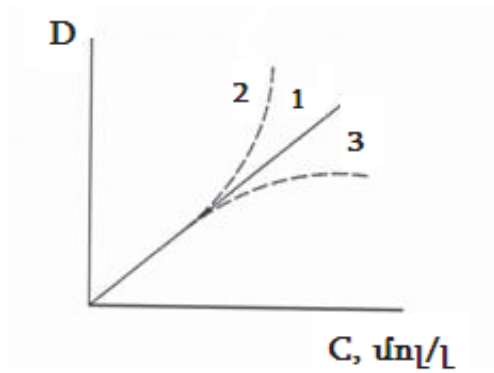
**Էքստինկցիայի գործակիցը համապատասխանում է նյութի 1 մոլ/լ կոնցենտրացիայով լուծույթի օպտիկական խտությանը, երբ օպտիկական ուղղի երկարությունը 1սմ է:**

Բուգեր-Լամբերտ-Բերի օրենքի կարևորագույն հետևությունն է հետևյալ դրույթը՝ օպտիկական խտությունն ուղիղ համեմատական է նյութի կոնցենտրացիային՝

$$D = \varepsilon l : \quad (5)$$

Բուգեր-Լամբերտ-Բերի օրենքը սահմանված է բավականաչափ նոսրացված լուծույթների համար և մոնոքրոմատիկ լույսի օգտագործման պայմաններում: Օրենքից հնարավոր են զգալի շեղումներ, որոնք կարող են պայմանավորված լինել.

- Հետազոտվող մնուշի հատկություններով՝ մեծ կոնցենտրացիաների դեպքում նյութի մոլեկուլների ագրեգատներ առաջացնելու ունակությամբ, ինչը հանգեցնում է լուսացրման աճին և օպտիկական խտության թվացյալ աճին (նկ. 1, կոր 2): Այդ պատճառով հետազոտվող լուծույթը պետք է մնա իրական հետազոտվող մոլեկուլային կոնցենտրացիաների ամբողջ միջակայքում: Եթե այս պայմանը չի պահպանվում, անհրաժեշտ է անցնել ավելի ցածր կոնցենտրացիաների տիրույթ կամ օգտագործել պաշտպանող կոլոիդներ, որոնք խոչընդոտում են պինդ ֆազի առաջացմանը:
- Սարքի կառուցվածքով՝ ոչ մոնոքրոմատիկ լույսի փնջի օգտագործման դեպքում, օրինակ, լուսազտիչներով ֆոտոէլեկտրակոլորիմետրի հետ աշխատելիս (նկ. 1, կոր 3), ինչպես նաև այն միջակայքերում աշխատելիս, որտեղ սարքի սխալն առավելագույնն է:



**Նկ. 1. Օպտիկական խտության կախվածությունը նյութի կոնցենտրացիայից**

1. Բուգեր-Լամբերտ-Բերի օրենքին ենթարկվելու դեպքում,
2. դրական շեղման դեպքում,
3. բացասական շեղման դեպքում:

**Կլանման սպեկտրն** օբյեկտի վրա ընկնող լույսի ալիքի երկարությունից օպտիկական խտության (կամ էքստինկցիայի գործակցի) կախվածության կորն է: Գրաֆիկը կառուցելիս օրոյինատների առանցքի վրա նշվում է օպտիկական խտությունը կամ էքստինկցիայի գործակիցը, արսցիսների առանցքի վրա՝ չափման ալիքի երկարությունը (նմ):

Միաէլեկտրոնային անցման դեպքում օպտիկական խտության  $D$ -ի կամ էքստինկցիայի գործակցի՝  $\varepsilon$ -ի կախվածությունն ալիքի երկարությունից՝  $\lambda$ -ից, սովորաբար նկարագրվում է Գաուսի բաշխման կորով: Սպեկտրում կլանման շերտը բնութագրվում է երեք հիմնական չափորոշիչներով.

- օպտիկական խտության առավելագույն արժեքով՝  $D_{\max}$ , կամ էքստինկցիայի մոլային գործակցի առավելագույն արժեքով՝  $\varepsilon_{\max}$  (կլանման մաքսիմում),
- առավելագույն կլանմանը համապատասխանող ալիքի երկարությամբ՝  $\lambda_{\max}$  (նմ),
- կլանման շերտի արդյունավետ լայնությամբ կամ կլանման շերտի կիսալայնությամբ՝  $\Delta\lambda_{1/2}$ , որը համապատասխանում

է առավելագույն օպտիկական խտության կեսին ( $\frac{1}{2}D_{\max}$ )

հավասար բարձրության վրա գտնվող կլանման շերտի երկու կետերի միջև եղած հեռավորությանը:  $\Delta\lambda_{1/2}$ -ը չափվում է մմ-երով:

Այսպիսով՝ կլանման սպեկտրների վերլուծության ժամանակ անհրաժեշտ է նշել կլանման շերտերի տեղակայումը, դրանց ինտենսիվությունը ( $D_{\max}$ ) և կիսալայնությունը:

Լույսի կլանումն իրականացվում է ոչ թե ամբողջ մոլեկուլով, այլ վերջինիս որոշակի տեղամասերով՝ քրոմոֆորներով: **Քրոմոֆորները նյութի մոլեկուլի ատոմների առանձին խմբեր են, որոնք կլանում են լույսի քվանտներ:** Սպիտակուցներում հիմնական քրոմոֆորներն են պեպտիդային խմբերը, արոմատիկ (թիրոզին, տրիպտոֆան, ֆենիլալանին) և ծծումբ պարունակող (ցիստին, ցիստեին, մեթիոնին) ամինոթթուները: Նուկլեինաթթուներում քրոմոֆորներ են պուրինային և պիրիմիդինային ազոտական հիմքերը: Նշված քրոմոֆորները կլանում են սպեկտրի ուլտրամանուշակագույն տիրույթում: Միաբաղադրիչ չներկված սպիտակուցները (շիճուկային և ձվի ալբումինները, տրիպսինը, պեպսինը, գլոբուլինները և այլ սպիտակուցներ) չեն կլանում լույսը տեսանելի տիրույթում (400-700 մմ): Տեսանելի տիրույթում բարդ սպիտակուցների, մասնավորապես հեմոպրոտեինների քրոմոֆորներ են հեմային խմբերը: Այսպես, շնորհիվ հեմոգլոբինի կազմում երկաթապորֆիրինի առկայության, օքսիհեմոգլոբինի լուծույթը տեսանելի տիրույթում դրսևորում է կլանման մի քանի մաքսիմումներ. առավել ինտենսիվ է կլանումը 412-414 մմ ալիքի երկարության տիրույթում (Սորեի շերտ), և երկու ավելի փոքր ինտենսիվությամբ մաքսիմումներ դիտվում են 542 մմ և 578 մմ ալիքի երկարության դեպքում:

Տեսանելի և ուլտրամանուշակագույն լույսի կլանումը տեղի է ունենում գլխավորապես  $\pi$  և  $n$  էլեկտրոնների մասնակցությամբ ( $\pi - \pi^*$  և  $n - \pi^*$  անցումներ): Որքան երկար է մոլեկուլում համակց-

ված կապերի համակարգը, այնքան մեծ է ալիքի երկարությունը, որի դեպքում կլանումն առավելագույնն է:

Կլանման սպեկտրները կիրառվում են դեղամիջոցների որակական (կառուցվածքի պարզաբանման, մաքրության, իրական՝ չկեղծված լինելու) և քանակական (ալիքների անալիտիկ երկարությունների ընտրություն) վերլուծության համար:

Հետազոտման սպեկտրալ մեթոդները կիրառվում են նաև նյութի քանակական որոշման համար՝ տրամաչափիչ կորի օգնությամբ կամ (5) բանաձևի կիրառման միջոցով:

Հնարավոր է երկ- և եռաբաղադրիչ համակարգերի սպեկտրաֆոտոմետրիկ վերլուծություն: Պարտադիր պայման է ադիտիվության (գումարման) սկզբունքը, որը սահմանել է Կ. Ֆիրորդտը: Համաձայն այդ սկզբունքի՝ Բուգեր-Լամբերտ-Բերի օրենքին ենթարկվող և միմյանց հետ քիմիական փոխազդեցության մեջ չմտնող միացությունների խառնուրդի օպտիկական խտությունը հավասար է յուրաքանչյուր բաղադրիչի օպտիկական խտությունների գումարին: Երկբաղադրիչ փոշիների բաղադրիչների պարունակության որոշման համար կիրառվում է դիֆերենցիալ ֆոտոմետրիայի եղանակը՝ պատրաստում են հետազոտվող փոշու և յուրաքանչյուր բաղադրիչի հավասար կոնցենտրացիաներով լուծույթներ, չափում են հետազոտվող լուծույթի խառնուրդի օպտիկական խտությունը, առաջին բաղադրիչի լուծույթի ( $D_1$ ) և երկրորդ բաղադրիչի լուծույթի ( $D_2$ ) նկատմամբ այն ալիքի երկարության տակ, որի դեպքում դիֆերենցիալ օպտիկական խտության արժեքներն առավելագույնն են: Բաղադրիչների պարունակությունը հաշվարկում են հետևյալ բանաձևով՝

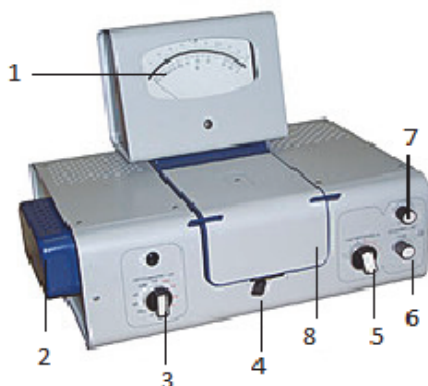
$$g_1 = \frac{D_2 P}{(D_1 + D_2)}, \quad g_2 = P - g_1, \quad (6)$$

որտեղ  $g_1$ -ը և  $g_2$ -ը հետազոտվող փոշու կամ պատրաստուկի առաջին և երկրորդ բաղադրիչների պարունակությունն են, գ.,

$P$  -ն՝ փոշու տրված զանգվածը, գ.:

## ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՄԱՍ

**Անհրաժեշտ պարագաներ և սարքեր՝** ֆոտոէլեկտրակոլորիմետր կամ սպեկտրաֆոտոմետր, թերմոստատ, ջերմաչափ, վայրկյանաչափ, հետազոտվող նյութերի լուծույթներ, փորձանոթներ, կաթոցիչներ, չափիչ կոլբաներ, ֆիլտրի թուղթ:



### **Նկ. 2. КФК-2 տիպի կոլորիմետրի ընդհանուր տեսքը**

1. Օպտիկական խտության և բացթողման չափման սանդղակներ,
2. լույսի աղբյուր, 3. լուսազտիչի բռնակ, 4. կյուվետների փոխարկիչ բռնակ,
5. զգայնության բռնակ, 6. կոպիտ կարգավորման բռնակ, 7. ճշգրիտ կարգավորման բռնակ, 8. կյուվետային խցիկի կափարիչ:

## **ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ 1**

### **ԼՈՒԾՈՒՅԹՈՒՄ ՀԵՏԱԶՈՏՎՈՂ ՆՅՈՒԹԻ ԿՈՆՅԵՆՏՐԱՅԻԱՅԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ**

Աշխատանքի նպատակը՝ որոշել լուծույթում հետազոտվող նյութի խտությունը տրամաչափիչ կորի միջոցով:

**Աշխատանքի ընթացքը:** Պատրաստել հետազոտվող նյութի լուծույթ առաջարկված կոնցենտրացիայով, որոշել հետազոտվող լուծույթի օպտիկական խտությունն ալիքի տարբեր երկարությունների դեպքում՝ կիրառելով տարբեր լուսազտիչներ: Տվյալներն անցկացնել աղյուսակի մեջ (աղյ. 1):

**Աղյուսակ 1.**

**Լուծույթի օպտիկական խտության կախվածությունն ալիքի երկարությունից**

| Նմուշ № | λ, նմ | D |
|---------|-------|---|
|         |       |   |

Կառուցել հետազոտվող լուծույթի կլանման սպեկտրը: Հետագա հետազոտությունների համար ընտրել այն լուսազտիչը (կամ ալիքի երկարությունը), որի դեպքում հետազոտվող լուծույթի օպտիկական խտության արժեքն առավելագույնն է, քանի որ հետագա չափումներն անհրաժեշտ է իրականացնել հետազոտվող նմուշի առավելագույն կլանման տիրույթում:

Նոսրացնել հետազոտվող լուծույթը 2, 4, 6, 8, 10 և 15 անգամ, չափել պատրաստված լուծույթների օպտիկական խտությունը ընտրված ալիքի երկարության տակ և գրանցել աղյ. 2-ում:

**Աղյուսակ 2.**

**Հետազոտվող լուծույթների օպտիկական խտության կախվածությունը վերջիններիս կոնցենտրացիայից**

| Նմուշ № | C, մոլ/լ | D |
|---------|----------|---|
|         |          |   |

Կառուցել տրամաչափիչ կորը՝ աբսցիսների առանցքի վրա տեղադրելով էտալոնային (չափանմուշային) լուծույթների կոնցենտրացիաները, իսկ օրդինատների առանցքի վրա՝ օպտիկական խտությունների արժեքները: Տրամաչափիչ կորի օգնությամբ որոշել սպիտակուցի կոնցենտրացիան, որը համապատասխանում է հետազոտվող լուծույթի օպտիկական խտության չափված արժեքին: Տվյալ գրաֆիկը թույլ է տալիս պարզել, թե հետազոտվող նյութերի կոն-

ցնմտրացիաների ո՞ր միջակայքում է կիրառելի Բուգեր-Լամբերտ-Բերի օրենքը:

Չափել անհայտ կոնցենտրացիայով լուծույթի օպտիկական խտությունը, որոշել լուծույթում նյութի կոնցենտրացիան տրամաչափիչ կորի օգնությամբ: Վերլուծել ստացված տվյալները և գրել եզրակացություններ հետազոտվող նյութի սպեկտրալ հատկությունների և լուծույթում նյութի կոնցենտրացիայի որոշման համար Բուգեր-Լամբերտ-Բերի օրենքի կիրառման հնարավորության վերաբերյալ:

**ԱՌԱՋԱԳՐԱՆՔ 2**  
**ՕՔՍԻՀԵՄՈԳԼՈՔԻՆԻ ԼՈՒԾՈՒՅԹԻ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ**  
**ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ԱԶԳԵՅՈՒԹՅԱՆ**  
**ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Աշխատանքի նպատակը՝ ուսումնասիրել օքսիհեմոգլոբինի օպտիկական հատկությունների կախվածությունը ջերմաստիճանից:

**Աշխատանքի ընթացքը:** Պատրաստել  $1 \cdot 10^{-5}$  մոլ/լ կոնցենտրացիայով օքսիհեմոգլոբինի լուծույթ, չափել փորձնական լուծույթի օպտիկական խտությունն ալիքի տարբեր երկարությունների դեպքում: Ստացված տվյալները գրանցել աղյ. 3-ում:

**Աղյուսակ 3.**

**Լուծույթի օպտիկական խտության կախվածությունն ալիքի երկարությունից**

| Նմուշ № | λ, մմ | D |
|---------|-------|---|
|         |       |   |

Կառուցել օքսիհեմոգլոբինի լուծույթի կլանման սպեկտրը:

Հետագա հետազոտությունների համար օգտագործել այն ալիքի երկարությամբ լուսազտիչը, որի դեպքում օքսիհեմոգլոբինի լուծույթի կլանումն առավելագույնն է: Թերմոստատը տաքացնել մինչև անհրաժեշտ ջերմաստիճանը և նրանում տեղադրել հեմոգլոբինի լուծույթները (ստորև տրված են ջերմաստիճանային մշակման պայ-

մանները): Չափել ջերմաստիճանային մշակման ենթարկված սպիտակուցի լուծույթների օպտիկական խտությունը: Գրել եզրակացություններ տարբեր ջերմաստիճանների ներգործության հետևանքով վերափոխված հեմոգլոբինի լուծույթների օպտիկական հատկությունների և կենսապոլիմերի մոլեկուլի կառուցվածքի ու օպտիկական հատկությունների միջև կապի մասին:

Ջերմաստիճանային մշակման պայմանները.

**Տարբերակ 1:** Սպիտակուցի լուծույթները թերմոստատում ենթարկել 20 րոպե տևողությամբ ջերմային մշակման  $35^{\circ}\text{C}$ ,  $45^{\circ}\text{C}$  և  $50^{\circ}\text{C}$  ջերմաստիճանի պայմաններում:

**Տարբերակ 2:** Սպիտակուցի լուծույթները տաքացնել  $40^{\circ}\text{C}$  պայմաններում 10, 15, 30 և 40 րոպեների ընթացքում:

**Տարբերակ 3:** Սպիտակուցի լուծույթները տաքացնել  $50^{\circ}\text{C}$  պայմաններում 5, 10, 15, 20 րոպեների ընթացքում:

### **ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ 3**

#### **ՄԵԹԻԼԱՅԻՆ ՄԱՆՈՒՇԱԿԱԳՈՒՅՆԻ ԿԱՄՄԵԹԻԼԵՆ ԿԱՊՈՒՅՑԻ ԼՈՒԾՈՒՅԹԻ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ԽՏՈՒԹՅԱՆ ԿԱԽՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ pH-ԻՑ ՏԵՄԱՆԵԼԻ ՏԻՐՈՒՅԹՈՒՄ**

**Անհրաժեշտ նյութեր և սարքավորումներ՝** ֆոտոէլեկտրակոլորիմետր կամ սպեկտրաֆոտոմետր, հետազոտվող նյութի՝ մեթիլային մանուշակագույնի տարբեր խտությամբ լուծույթներ (լուծիչը՝ սալիլտ), փորձանոթներ, կաթոցիչներ, չափիչ կոլբաներ, ֆիլտրի թուղթ:

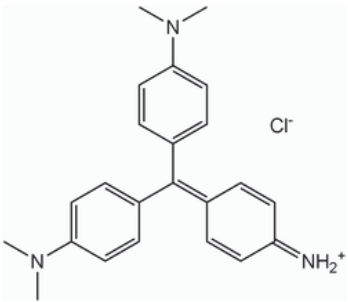
Պատրաստել մեթիլային մանուշակագույնի կամ մեթիլեն կապույտի 0.02%, 0.06% և 0.08% խտությամբ լուծույթներ և հաջորդաբար տիտրել  $\text{HCl}$ -ի 0.1N լուծույթով: Յուրաքանչյուր կաթիլն ավելացնելուց հետո չափել մեթիլային մանուշակագույնի լուծույթի օպտիկական խտությունը տեսանելի տիրույթում՝ 490 և 670 նմ ալիքի երկարությունների դեպքում:

Նույն գործողությունները կրկնել՝ տիտրելով մեթիլային մանուշակագույնի լուծույթները  $NaOH$  -ի 0.1N լուծույթով:

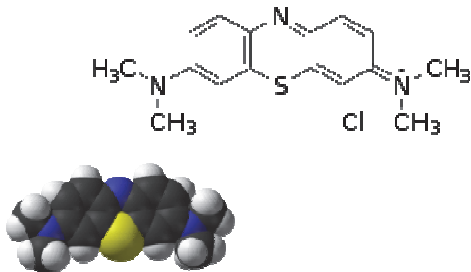
Ստացված տվյալները գրանցել աղյ. 4-ում: Կառուցել հետազոտվող նյութի կլանման սպեկտրի կորերը: Վերլուծել ստացված արդյունքները և գրել եզրակացություն:

**Աղյուսակ 4.**

| Ալիքի երկարություն | Մեթիլային մանուշակագույնի կոնցենտրացիան | Թթվի կամ հիմքի քանակությունը, մլ | Օպտիկական խտությունը |
|--------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
|                    |                                         |                                  |                      |
|                    |                                         |                                  |                      |
|                    |                                         |                                  |                      |

| Մեթիլային մանուշակագույնի բնութագրիչները                                           |              |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|  |              |
| Ընդհանուր                                                                          |              |
| Քիմ. բանաձև՝ $C_{24}H_{28}N_3Cl$                                                   |              |
| <b>Ֆիզիկական հատկությունները</b>                                                   |              |
| Ագրեգատային վիճակ                                                                  | պինդ         |
| Մոլային զանգվածը                                                                   | 393,94 գ/մոլ |

|                                |                           |
|--------------------------------|---------------------------|
| Մաքսիմալ կլանումը              | 585 նմ (570-600)          |
| <b>Քիմիական հատկություններ</b> |                           |
| Լուծելիություն                 | լուծելի է ջրում, սպիրտում |

|                                                                                   |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Մեթիլեն կապույտի բնութագրիչները                                                   |                               |
|  |                               |
| Ընդհանուր                                                                         |                               |
| Քիմ. բանաձև՝ $C_{16}H_{18}ClN_3S$                                                 |                               |
| <b>Ֆիզիկական հատկությունները</b>                                                  |                               |
| Ագրեգատային վիճակ                                                                 | պինդ                          |
| Մոլային զանգվածը                                                                  | 319,85 գ/մոլ                  |
| <b>Քիմիական հատկություններ</b>                                                    |                               |
| Լուծելիություն                                                                    | քիչ լուծելի է ջրում, սպիրտում |

## **5. ՖԼՈՒՈՐԵՍԵՆՏԱՅԻՆ ՍՊԵԿՏՐԱՖՈՏՈՄԵՏՐԻԱՅԻ ԵՂԱՆԱԿԸ ԿԵՆՍԱԲԱՆԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ**

Լյումինեսցենցիան իրենից ներկայացնում է ցանկացած նյութից լույսի առաքումը, որը տեղի է ունենում էլեկտրոնային գրգռված վիճակներից: Պայմանականորեն լյումինեսցենցիան բաժանվում է երկու կատեգորիայի՝ ֆլուորեսցենցիա և ֆոսֆորեսցենցիա, ինչը կախված է գրգռված վիճակի բնույթից: Գրգռված սինգլետ վիճակում էլեկտրոնը գրգռված օրբիտալում գուգավորվում է (հակառակ սպինով) երկրորդ էլեկտրոնի հետ, որը գտնվում է հիմնական վիճակի օրբիտալում: Հետևաբար, վերադարձը դեպի հիմնական վիճակ սպին թույլատրելի է և տեղի է ունենում արագորեն ֆոտոնների առաքման հաշվին: Ֆլուորեսցենցիայի առաքման արագությունը միջինում  $10^8$  վ<sup>-1</sup> է, հետևաբար, տիպիկ ֆլուորեսցենցիայի կյանքի տևողությունը մոտ  $10$  նվրկ է ( $10 \times 10^{-9}$  վրկ): Ֆլուորոֆորների կյանքի տևողությունը ( $\tau$ ) նրա գրգռման և հիմնական վիճակի վերադարձի միջև ընկած միջին տևողությունն է: Հարկ է նշել, որ  $1$  նվրկ տևողությունը գտնվում է լույսի արագության համատեքստում: Լույսը տեղաշարժվում է  $30$  սմ  $1$  նանովայրկյանում: Շատ ֆլուորոֆորներ ունեն ենթամանովայրկյանային կյանքի տևողություն: Ֆլուորեսցենցիայի կարճ տևողության հաշվին ժամանակ-կախյալ առաքման չափումը պահանջում է համապատասխան օպտիկա և էլեկտրոնիկա: Ի տարբերություն հավելյալ կոմպլեքսայնության՝ ժամանակ-կախյալ ֆլուորեսցենցիան լայնորեն կիրառվում է՝ շնորհիվ տվյալներից ստացվող տեղեկատվության՝ համեմատած ստացիոնար կամ կայուն վիճակում գտնվելու դեպքում կատարված հետազոտությունների:

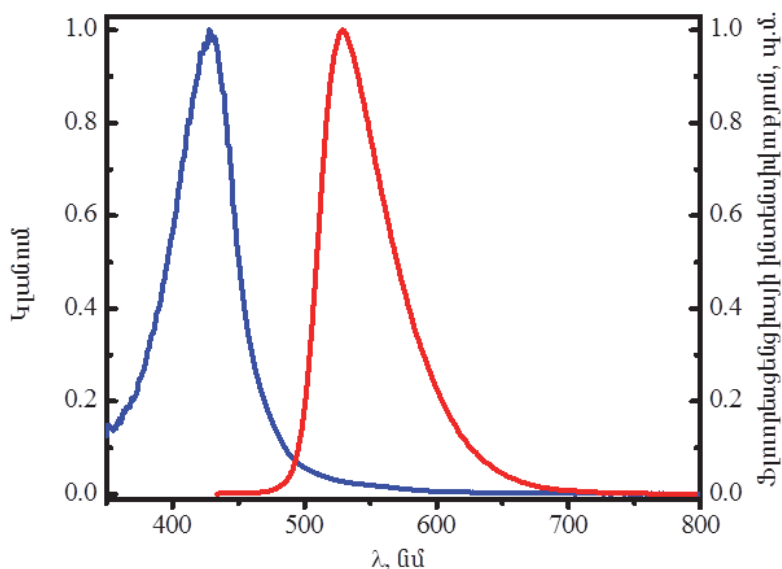
Ֆոսֆորեսցենցիան լույսի առաքումն է տրիպլետ գրգռված վիճակից, որում գրգռված օրբիտալի էլեկտրոնն ունի մույն կողմնորոշումը, ինչ հիմնական վիճակում գտնվող էլեկտրոնը: Հիմնական վիճակի անցումն անթույլատրելի է, և առաքման արագությունները փոքր են ( $10^3$ -ից  $10^0$  վրկ<sup>-1</sup>), ուստի ֆոսֆորեսցենցիայի կյանքի տևողությունը սովորաբար միլիվայրկյաններից մինչև վայրկյաններ է:

Հնարավոր է նույնիսկ կյանքի ավելի երկար տևողություն, օրինակ՝ «մթում շողացող» խաղալիքները: Լույսի ազդեցությունից հետո ֆոսֆորեսցենցող նյութերը շողում են մի քանի րոպե, մինչև ֆոսֆորոֆորները դանդաղ վերադառնան հիմնական վիճակի: Սովորաբար սենյակային ջերմաստիճանում հեղուկ լուծույթներում ֆոսֆորեսցենցիան տեսանելի չէ: Դա բացատրվում է նրանով, որ գոյություն ունեն բազմաթիվ ապասկտիվացնող պրոցեսներ, որոնք մրցակցում են առաքման հետ, ինչպես, օրինակ, ոչ-ռադիացիոն քայքայումը և մարող պրոցեսները: Հարկ է նշել, որ ֆլուորեսցենցիայի և ֆոսֆորեսցենցիայի միջև տարբերությունը միշտ պարզ չէ: Մետաղ-լիգանդ կոմպլեքսներին անցումը, որը պարունակում է մետաղ կամ մեկ կամ ավելի օրգանական լիգանդներ, ցուցաբերում է խառը սինգլետ-տրիպլետ վիճակ: Այս մետաղ-լիգանդ կոմպլեքսներն ունեն միջանկյալ կյանքի տևողություն՝ հարյուրավոր նանովայրկյաններից մինչև մի քանի միկրովայրկյաններ:

Սովորաբար ֆլուորեսցենցիան տեղի է ունենում արոմատիկ մոլեկուլներից: Շատ հաճախ կենսամակրոմոլեկուլները գուրկ են սեփական ֆլուորեսցենցող քրոմոֆորից, ուստի հետազոտվող մոլեկուլի մեջ մտցվում է ֆլուորեսցենցող քրոմոֆոր, որը քիմիական կապ է առաջացնում կենսամակրոմոլեկուլի հետ: Սովորաբար նման մոլեկուլներն անվանում են ֆլուորեսցենցող նիշ կամ զոնդ, իսկ ֆլուորեսցենցիայի գրանցման այս եղանակը՝ «ներմուծված ֆլուորեսցենցիա»: Տվյալ նիշը պետք է բավարարի մի քանի պայմանների. 1. այն պետք է ամուր կապվի մակրոմոլեկուլի որոշակի հատվածի հետ, 2. նրա ֆլուորեսցենցիան պետք է զգալուն լինի շրջակա միջավայրի նկատմամբ, 3. այն չպետք է ազդի հետազոտվող մակրոմոլեկուլի հատկությունների վրա: Սպիտակուցների համար առավել տարածված ֆլուորեսցենցող նիշերից են 1-անիլին-8-նալֆալինատլֆոնատանինոնը (ԱՆՍ), 1-դիմեթիլամինոնալֆալին-5-սուլֆոնատ-անիոնը (ԴՆՍ) և նրա բլոր-անհիդրիդը, դանսիլբլորիդը, ռոդամինը, ֆլուորեսցենինը և այլն: Նուկլեինաթթուների համար օգտագործվում են ակրիդինային նարնջագույնը, պրոֆլավինը, էթիդիումի բրոմիդը և այլն:

ԱՆՍ-ի, ԴՆՍ-ի կարևոր հատկություններից մեկն այն է, որ ջրային միջավայրերում դրանք ֆլուորեսցենցում են շատ թույլ: Սակայն ոչ բևեռային միջավայրում դրանց ֆլուորեսցենցիայի ինտենսիվությունն էականորեն մեծանում է, և սպեկտրը տեղաշարժվում է դեպի ավելի երկարալիք տիրույթ: Դանսիլքլորիդը, օրինակ, փոխազդում է ամինոթթուների որոշակի հաջորդականությունների հետ սպիտակուցներում: Այս նյութերը լայնորեն կիրառվում են սպիտակուցներում ոչ բևեռային հատվածների հայտնաբերման համար, որոնց հետ վերջիններիս կապման դեպքում տեղի է ունենում ֆլուորեսցենցիայի ինտենսիվության աճ:

Ֆլուորեսցենցիայի սպեկտրալ տվյալները հիմնականում ներկայացվում են որպես առաքման սպեկտրներ: Ֆլուորեսցենցիայի առաքման սպեկտրն իրենից ներկայացնում է ֆլուորեսցենցիայի ինտենսիվությունների կախվածությունն ալիքի երկարությունից (նաև մետրեր) կամ ալիքային թվից ( $\text{սմ}^{-1}$ ): Նկ. 1-ում ներկայացված են տիպիկ կլանման և ֆլուորեսցենցիայի սպեկտրները: Առաքման սպեկտրները տարբեր են և կախված են ֆլուորոֆորի և լուծվող նյութի քիմիական կառուցվածքից: Որոշ միացությունների սպեկտրներ, օրինակ՝ պերիլենինը, որոշակի կառուցվածք ունեն՝ շնորհիվ հիմնական և գրգռված վիճակների անհատական տատանողական էներգիայի մակարդակների: Մյուս միացությունները, օրինակ քուինինը, զուրկ են տատանողական կառուցվածքից:



**Նկ. 1. Էլեկտրոնային կլանման և ֆլուորեսցենցիայի սպեկտրներն ակրիդինային նարնջագույնի օրինակով**

### **ՅԱՐԼՈՆՍԿՈՒ ԴԻԱԳՐԱՄԸ**

Լույսի կլանման և առաքման միջև տեղի ունեցող պրոցեսները ներկայացվում են Յարլոնսկու դիագրամի տեսքով: Յարլոնսկու դիագրամն օգտագործվում է որպես լույսի կլանման և առաքման բննարկման մեկնարկային կետ: Այս դիագրամներն անվանվել են պրոֆ. Ալեքսանդր Յարլոնսկու անունով (նկ. 2), որը համարվում է ֆլուորեսցենտային սպեկտրասկոպիայի հայրը՝ շնորհիվ այս բնագավառում իր մեծ ներդրման, այդ թվում ապարևեռացման կոնցենտրացիոն նկարագրությանը և «անիզոտրոպիա» տերմինի սահմանմանը, որը նկարագրում է լուծույթներից բևեռացված առաքումը: Մինգլետ հիմնական, առաջին և երկրորդ էլեկտրոնային վիճակները պատկերված են համապատասխանաբար որպես  $S_0$ ,  $S_1$  և  $S_2$ : Այս

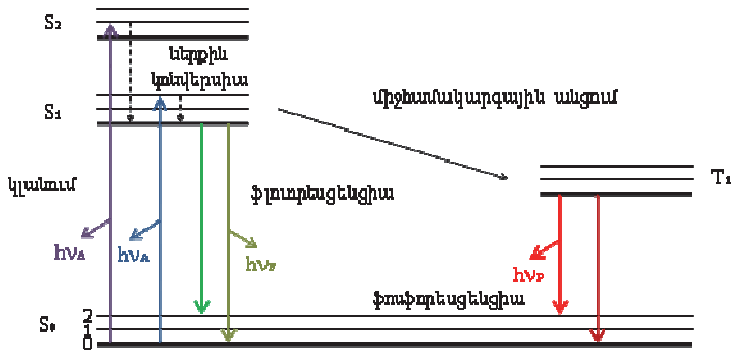
էլեկտրոնային էներգետիկ մակարդակներից յուրաքանչյուրում ֆլուորոֆորները կարող են գոյություն ունենալ տարբեր տատանողական մակարդակներում (0, 1, 2 և այլն): Այս դիագրամում մենք բացառել ենք մի շարք փոխազդեցություններ, որոնցից են մարումը, էներգիայի փոխանցումը, լուծիչի հետ փոխազդեցությունը և այլն: Վիճակների միջև անցումները պատկերված են ուղղահայաց գծերով, որոնք ակնառու են դարձնում լույսի կլանման ակնթաթային բնույթը: Անցումները տեղի են ունենում  $10^{-15}$  վրկ-ում, որը շատ փոքր է միջուկների էական տեղաշարժի համար:

Մենյակային ջերմաստիճանում ջերմային էներգիան բավարար չէ, որպեսզի կուտակվի գրգռված տատանողական վիճակներում: Կլանումը և առաքումը մեծապես տեղի են ունենում ամենացածր տատանողական էներգիա ունեցող մոլեկուլներից:  $S_0$ -ի և  $S_1$ -ի միջև էներգիայի ավելի մեծ տարբերությունը շատ մեծ է  $S_1$ -ի ջերմային բնակեցման համար: Այս պատճառով էլ ֆլուորեսցենցիայի գրգռման համար օգտագործվում է ոչ թե ջերմությունը, այլ լույսը:

Լույսի կլանումից հետո սովորաբար տեղի են ունենում մի քանի պրոցեսներ: Սովորաբար գրգռված ֆլուորոֆորում տեղի է ունենում անցում դեպի  $S_1$ -ի կամ  $S_2$ -ի ավելի բարձր տատանողական մակարդակներ: Մի քանի հազվադեպ բացառություններով, կոնդենսացված փուլերում մոլեկուլներն արագ անցնում են  $S_1$ -ի ամենացածր տատանողական մակարդակ: Այս պրոցեսը կոչվում է ներքին կոնվերսիա և սովորաբար տևում է  $10^{-11}$ - $10^{-9}$  վրկ: Քանի որ ֆլուորեսցենցիայի կյանքի տևողությունները մոտ են  $10^{-8}$  վրկ-ին, ներքին կոնվերսիան սովորաբար ավարտվում է առաքումից առաջ: Ուստի ֆլուորեսցենտային առաքումը սկսվում է ջերմային հավասարակշռված գրգռված վիճակից, այն է՝  $S_1$ -ի ամենացածր էներգիայով տատանողական վիճակից:

Սովորաբար ֆլուորեսցենցիայի արդյունքում էլեկտրոնը վերադառնում է հիմնական վիճակի ավելի բարձր տատանողական ենթամակարդակի վրա, որից հետո արագորեն ( $10^{-12}$  վրկ) անցնում է ջերմային հավասարակշռության (նկ. 2): Վերադարձը դեպի  $S_0$ -ի

չգրգռված տատանողական ենթամակարդակ կապված է մյուսի առաքման սպեկտրում տատանողական կառուցվածքի հետ: Հիմնական վիճակի ավելի բարձր տատանողական ենթամակարդակներ առաքման հետաքրքիր հետևանքն այն է, որ առաքման սպեկտրը սովորաբար  $S_0$ -ից  $S_1$  անցման կլանման սպեկտրի հայելային պատկերն է: Այս մասնությունը տեղի ունի ի հաշիվ նրա, որ էլեկտրոնային գրգռումը միջուկային երկրաչափությունը էապես չի փոխում: Ուստի գրգռված վիճակների տատանողական ենթամակարդակների միջև տարածությունը նույնն է, ինչ առաջին տատանողական ենթամակարդակից մինչև հիմնական վիճակ: Որպես հետևանք՝ կլանման և առաքման սպեկտրներում տեսանելի տատանողական կառուցվածքները նման են:



**Նկ. 2. Յաբլոնսկու դիագրամը (Լակովիչ, 2006)**

Կլանում -  $10^{-15}$  վրկ, տատանողական ռելաքսացիա -  $10^{-12} - 10^{-10}$  վրկ, ֆլուորեսցենցիա -  $10^{-10} - 10^{-7}$  վրկ, միջհամակարգային անցում -  $10^{-10} - 10^{-8}$  վրկ, ներքին կոնվերսիա -  $10^{-11} - 10^{-9}$  վրկ, ֆոսֆորեսցենցիա -  $10^{-6} - 1$  վրկ:

$S_1$  վիճակում մոլեկուլները կարող են ենթարկվել սպինային կոնվերսիայի  $T_1$  առաջին տրիպլետային վիճակ: Առաքումը  $T_1$ -ից կոչվում է ֆոսֆորեսցենցիա և տեղաշարժված է դեպի ավելի երկարալիք տիրույթ (ավելի ցածր էներգիա) ֆլուորեսցենցիայի համեմատ:  $S_1$ -ից  $T_1$  կոնվերսիան կոչվում է սինգլետ-տրիպլետային անցում: Անցումը  $T_1$ -ից դեպի սինգլետ հիմնական վիճակ արգելված է, և հետևաբար,

տրիպլետային վիճակից առաքման արագության հաստատունները մի քանի կարգով ավելի փոքր են, քան դրանք ֆլուորեսցենցիայի դեպքում: Ծանր ատոմներ, ինչպես, օրինակ, բրոմ, յոդ պարունակող մոլեկուլները հաճախ են ֆոսֆորեսցենցում: Ծանր ատոմները հեշտացնում են միջհամակարգային անցումը, և այսպիսով ֆոսֆորեսցենցիայի քվանտային ելքերը բարձրանում են:

### **ՖԼՈՒՐԵՍԵՆՑԻԱՅԻ ԿՅԱՆՔԻ ՏԵՎՈՂՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ԵԼՔԵՐԸ**

Ֆլուորեսցենցիայի կյանքի տևողությունը և քվանտային ելքը ֆլուորոֆորի ամենակարևոր բնութագրիչներն են: Քվանտային ելքը առաքված ֆոտոնների քանակի հարաբերությունն է կլանված ֆոտոնների թվին: Նյութերը, որոնք ունեն 1-ին մոտ քվանտային ելք, օրինակ՝ ռոդամինները, ունեն ամենապայծառ առաքումը: Կյանքի տևողությունը ևս կարևոր է, քանի որ այն որոշում է այն ժամանակը, որի ընթացքում ֆլուորոֆորը փոխազդում է իր միջավայրի հետ կամ դիֆուզվում է այնտեղ և հետևաբար, այն տեղեկատվության հետ, որը հասանելի է դառնում առաքումից: Դիտարկենք այն պրոցեսները, որոնք պատասխանատու են հիմնական վիճակ վերադարձի համար: Մասնավորապես, ֆլուորոֆորի առաքման արագությունը նշանակենք  $\Gamma$ -ով, իսկ ոչ ճառագայթային քայքայումը՝  $S_0(k_{\text{nr}})$ :

Արագության  $\Gamma$  և  $k_{\text{nr}}$  հաստատունները ապաքնակեցնում են գրգռված վիճակը: Այսպիսով՝ քվանտային ելքը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$Q = \frac{\Gamma}{\Gamma + k_{\text{nr}}} :$$

Քվանտային ելքը կարող է մոտ լինել միավորի, եթե ճառագայթումից անկախ քայքայման արագությունը շատ ավելի փոքր է, քան ճառագայթային քայքայման արագությունը, այն է՝  $k_{\text{nr}} < \Gamma$ :

Գրգռված վիճակի կյանքի տևողությունը որոշվում է այն միջին ժամանակով, որը մոլեկուլն անցկացնում է գրգռված վիճակում՝ նախքան հիմնական վիճակի վերադառնալը: Ընդհանուր առմամբ ֆլուորեսցենցիայի կյանքի տևողությունը մոտ է 10 նվրկ-ին: Ֆլուորոֆորի կյանքի տևողությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\tau = \frac{1}{\Gamma + k_{III}} :$$

Ֆլուորեսցենցիայի առաքումը պատահական պրոցես է, և մի քանի մոլեկուլներ առաքում են իրենց ֆոտոնները  $t=\tau$  ճշգրիտ ժամանակում: Կյանքի տևողությունը գրգռված վիճակում անցկացված միջին ժամանակն է:

## ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՄԱՍ

**Անհրաժեշտ պարագաներ և սարքեր՝** ֆլուորիմետր, գեներատոր Դ4-141, հորքի ուրցագեղձի ԴՆԹ, մարդու շիճուկային ալբումին, ֆիզիոլոգիական լուծույթ, 1-անիլին-8-մալքալինսուլֆոնատ-անիոնի (ԱՆՍ)-ի լուծույթ, Պետրիի թասիկ, փորձանոթներ:

**ԱՌԱՋԱԳՐԱՆՔ 1:** Պատրաստել ԴՆԹ-ի 3 տարբեր կոնցենտրացիաներով լուծույթներ՝ կլանումը 260 նմ-ում՝ 0.25, 0.5 և 0.75 համապատասխանաբար: 3-ական մլ այդ լուծույթներից լցնել կվարցե կյուվետի մեջ, որը բոլոր կողմերից թափանցիկ է ֆլուորեսցենցիան ֆիքսելու համար: Գրգռման ալիքը սահմանել 260 նմ և գրանցել ԴՆԹ-ի ֆլուորեսցենցիան 300-580 նմ միջակայքում: Ստանալ ֆլուորեսցենցիայի սպեկտրները, ապա աղյուսակում ներկայացնել ֆլուորեսցենցիայի ալիքի առավելագույն երկարությունն ու ֆլուորեսցենտային ինտենսիվությունը:

| ԴՆԹ-ի տարբեր կոնցենտրացիաներ | $\lambda$ , նմ | $I_{\max}$ , հ.մ. |
|------------------------------|----------------|-------------------|
| 1                            |                |                   |
| 2                            |                |                   |
| 3                            |                |                   |

**ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ 2:** Պատրաստել մարդու շիճուկային ալբումինի լուծույթ ֆիզիոլոգիական լուծույթի հիման վրա: 3 մլ մայրական լուծույթից լցնել կվարցե կյուվետի մեջ, որը բոլոր կողմերից թափանցիկ է ֆլուորեսցենցիան ֆիքսելու համար: Գրգռման ալիքը սահմանել համապատասխանաբար 280 նմ և գրանցել ալբումինի սեփական ֆլուորեսցենցիան 300-580 նմ միջակայքում: Որոշել ֆլուորեսցենցիայի ալիքի առավելագույն երկարությունն ու ֆլուորեսցենտային ինտենսիվությունը, ապա եզրակացություններ անել նրանում միակ տրիպտոֆանի տեղային միջավայրի բևեռայնության մասին:

|                    | $\lambda$ , նմ | $I_{\max}$ , հ.մ. |
|--------------------|----------------|-------------------|
| Ալբումինի լուծույթ |                |                   |

**ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ 3:** Պատրաստել մարդու շիճուկային ալբումինի լուծույթ և ավելացնել ԱՆՍ-ի լուծույթ 10:1 կոնցենտրացիոն հարաբերությամբ: 3 մլ այդ լուծույթից լցնել կվարցե կյուվետի մեջ, որը բոլոր կողմերից թափանցիկ է ֆլուորեսցենցիան ֆիքսելու համար: Գրգռման ալիքը սահմանել համապատասխանաբար 280 նմ և գրանցել ալբումինի սեփական ֆլուորեսցենցիան 300-580 նմ միջակայքում: Որոշել ֆլուորեսցենցիայի ալիքի առավելագույն երկարությունն ու ֆլուորեսցենտային ինտենսիվությունը, ապա համեմատել այդ տվյալները ալբումինի սեփական ֆլուորեսցենցիայի դեպքում ստացված տվյալների հետ:

|                            | $\lambda$ , նմ | $I_{\max}$ , հ.մ. |
|----------------------------|----------------|-------------------|
| Ալբումինի լուծույթ         |                |                   |
| Ալբումինի և ԱՆՍ-ի լուծույթ |                |                   |

## **6. ՄԱԿՐՈՄՈԼԵԿՈՒԼՆԵՐԻ ԼՈՒԾՈՒՅԹՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԱԾՈՒՑԻԿԱԶՎՓՈՒԹՅԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ**

Մաքուր լուծիչների համեմատ մակրոմոլեկուլներ պարունակող լուծույթներն ունեն մեծ մածուցիկություն: Մաքուր լուծիչի մածուցիկության նկատմամբ լուծույթի մածուցիկության մեծացումը ֆունկցիա է մոլեկուլի մի շարք պարամետրերից: Այդ պարամետրերն են. լուծույթի այն ծավալը, որը զբաղեցնում է մոլեկուլը, այդ մոլեկուլի երկարության հարաբերությունը լայնությանը, ինչպես նաև տվյալ մոլեկուլի «կոշտությունը»: Գնդաձև մոլեկուլների, օրինակ՝ մեծ թվով սպիտակուցների համար սկզբունքային նշանակություն ունի մոլեկուլային ծավալը, որը կախված է մոլեկուլային զանգվածից: Շատ կոշտ և բարակ մոլեկուլների, օրինակ՝ ԴՆԹ-ի դեպքում հիմնական էֆեկտը պայմանավորված է մոլեկուլի երկայնակի և լայնակի առանցքների հարաբերությամբ, որը նույնպես ֆունկցիա է մոլեկուլային զանգվածից ( $M$ ): Հետևաբար մածուցիկությունը կարելի է կիրառել տվյալ մոլեկուլի զանգվածը որոշելու համար: Մյուս կողմից, եթե  $M$  -ը հայտնի է, ապա կարելի է ինֆորմացիա ստանալ մոլեկուլի ընդհանուր ձևի մասին:

## **ՄԱԿՐՈՄՈԼԵԿՈՒԼՆԵՐԻ ԼՈՒԾՈՒՅԹՆԵՐԻ ՄԱԾՈՒՑԻԿՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Լուծույթներում մակրոմոլեկուլների շարժումը կախված է նրանց ձևից և չափերից: Հիդրոդինամիկ մեթոդները՝ դիֆուզիայի, մածուցիկության, սեդիմենտացիայի չափումները, ինֆորմացիա են տալիս մակրոմոլեկուլների շարժման առանձնահատկությունների մասին, ինչպես նաև չափումներից կարելի է որոշել մակրոմոլեկուլների ընդհանուր ձևը, արդյունավետ չափերը և մոլեկուլային զանգվածը: Կենսամակրոմոլեկուլները նկարագրվում են որպես գունդ, պտտման

էլիպսոիդ, կոշտ միջուկ և այլն: Մակրոմոլեկուլները կարող են լինել ճկուն և առաջացնել թույլ կարգավորված կծիկներ կամ էլ «կոշտ», երկարաձգված միջուկներ:

Այդ կոնֆորմացիաները բնութագրվում են էլիպսային պտտման կիսաառանցքների հարաբերությամբ՝  $a/b$ : Լուծույթի մածուցիկությունը բնութագրում է ներքին շփումը, որը պայմանավորված է միջմոլեկուլային փոխազդեցություններով: Եթե հեղուկի շերտերը գտնվում են իրարից  $dy$  հեռավորության վրա և  $x$  ուղղությամբ շարժվում են տարբեր արագություններով, ապա Նյուտոնի օրենքից շփման ուժը կլինի

$$F = \eta S \frac{dU}{dy}, \quad (1)$$

որտեղ  $S$ -ը շերտերի միջև հպման մակերեսն է,  $dU/dy$ -ը  $y$  ուղղությամբ փոփոխվող արագության գրադիենտն է և ուղղահայաց հեղուկի շարժման ուղղությանը,  $\eta$ -ն մածուցիկության գործակիցն է, լուծույթի անհատական բնութագրիչը և կախված է մակրոմոլեկուլների ձևից և միջավայրի ջերմաստիճանից: Նյուտոնի օրենքն իրականացնում է հեղուկի հոսքի ոչ մեծ արագությունների դեպքում, եթե այն լամինար է:

Էյնշտեյնն առաջին անգամ կարողացավ կապ հաստատել մոլեկուլի պարամետրերի և տեսակարար մածուցիկության միջև՝

$$\eta_{\text{ուն}} = \nu n_0 V = \nu \Phi, \quad (2)$$

որտեղ  $n_0$ -ն մակրոմոլեկուլների թիվն է միավոր ծավալում,  $V$ -ն՝ մակրոմոլեկուլների ծավալը,  $\nu$ -ն մածուցիկության ինկրեմենտն է կամ ձևի գործոնը (Սիմֆսի գործակիցը),  $\Phi = n_0 V$ -ն՝ լուծիչում մակրոմոլեկուլի կողմից զբաղեցրած ծավալի մասը:

(2)-ում  $n_0$ -ն կարելի է արտահայտել մակրոմոլեկուլի  $c$  կոնցենտրացիայով՝

$$n_0 = N_0 \frac{c}{M}, \quad (3)$$

որտեղ  $M$  -ը մակրոմոլեկուլների մոլեկուլային զանգվածն է,  $N_0$  -ն Ավոգադրոյի թիվն է: Այդ դեպքում

$$\eta_{\text{տես}} = \nu \left( \frac{VN_0}{M} \right) c, \quad (4)$$

իսկ նոսրացված լուծույթներն արտահայտվում են բնութագրական մածուցիկությամբ՝

$$[\eta] = \nu \left[ \frac{VN_0}{M} \right]: \quad (5)$$

Յույց է տրված, որ  $[\eta]$ -ն թույլ է կախված  $M$  -ից, հիմնականում այն կախված է մակրոմոլեկուլի ձևից, որն արտահայտվում է  $\nu$ -ով: Կոշտ գնդաձև մոլեկուլների համար էյնշտեյնը ստացել է, որ  $\nu = 2,5$ : Գնդից տարբերվող մակրոմոլեկուլների համար  $\nu > 2,5$ : Ինչքան  $a/b$  -ն մեծ կամ փոքր է 1-ից, այնքան  $\nu$ -ն, ինչպես նաև  $[\eta]$ -ն մեծ արժեքներ են ստանում:

Գլոբուլային սպիտակուցները (ռիբոնուկլեազ, լիզոցիմ, հեմոգլոբին) ունեն մեծ բնութագրական մածուցիկություն, և նրանց մոտ  $\nu \approx 3 - 6$ : Ֆիբրիլային սպիտակուցների  $[\eta]$ -ն մեծ է, այն կախված է միայն  $a$  հաստատունից, այսինքն՝ ձևից և տեսակարար ծավալից՝  $V$ : Դա նշանակում է, որ փորձնականորեն  $[\eta]$ -ն կարելի է որոշել  $\eta_{\text{տես}}$  -ից տարբեր կոնցենտրացիաների դեպքում՝ կառուցելով  $\eta_{\text{տես}}/c$  -ի՝  $c$  -ից կախվածության գրաֆիկը և արտարկելով (էքստրապոլացում) մինչև  $c=0$  արժեքը:

$[\eta]$ -ն ոչ միշտ է նպատակահարմար պարամետր, քանի որ չի բացառում ոչ նյութական կախվածություն  $[\eta]$ -ի և  $c$ -ի միջև: Հաշվի

առնելով [7]-ի վարքը տարբեր մակրոմոլեկուլների համար՝ ստացվում են երկու էմպիրիկ կանոններ, որոնց միջոցով հնարավոր է պարզել, թե մակրոմոլեկուլի առանցքների հարաբերությունը մեծ արժեք ունի, թե փոքր.

1. Եթե  $\eta_{\text{հար.}}$ -ը մեծ է ցածր կոնցենտրացիաների դեպքում, մակրոմոլեկուլը պետք է ունենա առանցքների հարաբերության մեծ արժեք, եթե  $\eta_{\text{հար.}}$ -ը փոքր է մեծ կոնցենտրացիաների դեպքում, ապա մակրոմոլեկուլը ավելի կոմպակտ է:
2. Եթե  $\eta_{\text{հար.}}$ -ը զգալիորեն փոքրանում է շեղման գրադիենտի մեծացումից, ապա առանցքների հարաբերությունը մեծ արժեք ունի:

### ԿԵՆՍԱԲԱՆԱԿԱՆ ՊՈԼԻՄԵՐՆԵՐԻ ՌԻՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Եթե մակրոմոլեկուլի մոնոմերային օղակները պարունակում են իոնացվող խմբեր ( $\text{COOH}$ ,  $\text{NH}_2$ ,  $\text{CONH}$ ), ապա մակրոմոլեկուլները ձեռք են բերում մի շարք բնորոշ էլեկտրական, կոնֆիգուրացիոն և հիդրոդինամիկ հատկություններ: Այդպիսի պոլիմերները կոչվում են **պոլիէլեկտրոլիտներ**: Եթե իոնացվող խմբերի բնույթը թթվային է, ապա համապատասխան պոլիէլեկտրոլը կոչվում է **պոլիթթու**: Այս դասին են պատկանում կենսաբանական ծագումով բազմաթիվ պոլիմերներ, որոնցից ամենակարևորը սպիտակուցները, ԴՆԹ-ն, ՌՆԹ-ն են:

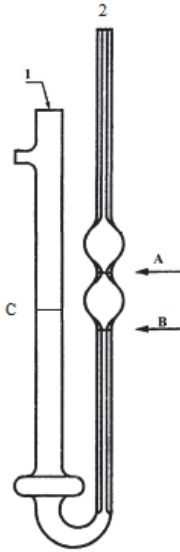
Ջրային միջավայրում թթվային խմբերի իոնացման շնորհիվ ( $-\text{COOH} \rightarrow \text{COO}^- + \text{H}^+$ ) շղթայի մոնոմերային օղակների միջև ծագում են էլեկտրաստատիկ բնույթի վանողական ուժեր, որի հետևանքով մակրոմոլեկուլը բացվում է՝ ձգտելով ընդունել առանցքաձև կառուցվածք: Ընդ որում՝ նման փոխազդեցության ինտենսիվությունը

կախված կլինի թթվային խմբերի իոնացման աստիճանից, իսկ վերջինս՝ միջավայրի pH-ից: pH-ի թթու տիրույթում գործնականում իոնացում տեղի չի ունենում, և պոլիթթվային մակրոմոլեկուլի վարքը ոչնչով չի տարբերվում սովորական մակրոմոլեկուլի վարքից:

Ինչպես հայտնի է, մածուցիկաչափության մեթոդը խիստ զգայուն է մակրոմոլեկուլների ձևի նկատմամբ: Պոլիէլեկտրոլիտի բնութագրական մածուցիկությունը որոշելու ընթացքում, լուծույթի կոնցենտրացիայի նվազմանը զուգընթաց, փոխվում է շղթաների կոնֆորմացիան՝ նրանց ծայրերի միջև հեռավորությունների միջին քառակուսային արժեքն անընդհատ աճում է: Դա պայմանավորված է նրանով, որ մեծ կոնցենտրացիաների դեպքում հարևան շղթաների պոլիէլեկտրոլիտային ուռչեցման պրոցեսն արգելակվում է: Մակրոմոլեկուլի մեկուսացմանը զուգընթաց սկսում են գերակշռել ներմոլեկուլային էլեկտրաստատիկ փոխազդեցությունները, որի հետևանքով շղթան բացվում է: Ուստի բնութագրական մածուցիկության որոշման ընթացքում, լուծույթի կոնցենտրացիայի նվազմանը զուգընթաց, անհրաժեշտ է հաստատուն պահել իոնական ուժը:

### **ՄԱԾՈՒԳԻԿՈՒԹՅԱՆ ՉԱՓՈՒՄԸ**

Մածուցիկությունը կարելի է չափել մածուցիկաչափով, որը կազմված է  $r$  -շառավղով և  $L$  -երկարությամբ մազանոթային խողովակից, որի միջով կարող է անցնել  $V$  -ծավալ (նկ. 1):



**Նկ. 1. Մագանոթային մածուցիկաչափ**

Լուծույթը լցնում են 1 անոթի մեջ, մինչև հեղուկի մակարդակը հավասարվի *C*-ին: Այնուհետև 2 խողովակի միջոցով կատարվում է ներքաշում, մինչև հեղուկի մակարդակը անցնի *A*-ից: Այդ դեպքում ներքաշումը դադարեցվում է, և հեղուկը իջնում է ներքև: Այն ժամանակը, որն անհրաժեշտ է, որպեսզի հեղուկի մակարդակը անցնի *A* և *B* նիշերի միջև, չափվում է: Հեղուկի հարաբերական բարձրության փոփոխության արդյունքում հոսքի արագությունը հաստատուն չէ:

## ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՄԱՍ

### Անհրաժեշտ պարագաներ և սարքեր

Սպիտակուցի տարբեր կոնցենտրացիաներով լուծույթներ, մազանոթային մածուցիկաչափ, վալրկյանաչափ:

### ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ

Մազանոթային մածուցիկաչափով անհրաժեշտ է չափել մաքուր լուծիչի ( $t_0$ ), այնուհետև սպիտակուցի տարբեր կոնցենտրացիաներով լուծույթների հոսքի ժամանակները ( $t_i$ ): Այնուհետև չափումների արդյունքներից հաշվել  $\eta_{\text{հալ.}} = t/t_0$ ,  $\eta_{\text{տնս.}} = (t - t_0)/t$  արժեք:

Չափումների արդյունքների վերամշակման համար տվյալները գրանցում են հետևյալ աղյուսակում`

| $N_i$ | $c_i, i = 0 - 5$ | $t_i,$<br>$i = 0 - 5$ | $\eta_{\text{հալ.}} = t/t_0$<br><br>$i = 1 - 5$ | $\eta_{\text{տնս.}} = (t - t_0)/t_0$ | $\eta_{\text{տնս.}}/c_i$ | $\ln \eta_{\text{հալ.}}/c_i$ |
|-------|------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------------------|
|-------|------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------------------|

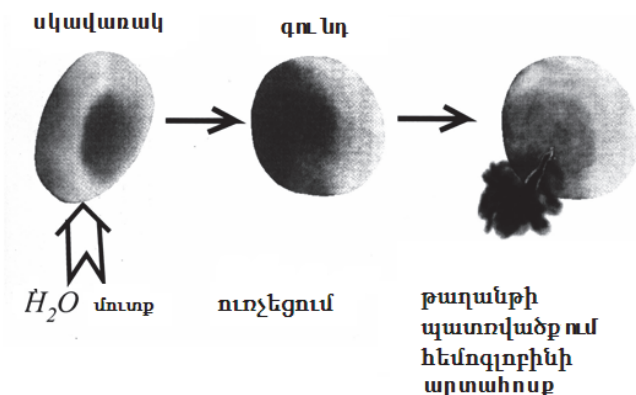
Չափման արդյունքների վերամշակումից հետո կառուցում են  $\eta_{\text{տնս.}}/c_i \sim c$  կամ  $\ln(\eta_{\text{հալ.}}/c) \sim c$  կախվածությունները:

Այսպիսով` չափման բոլոր տվյալները կարելի է տեղադրել միևնույն կոորդինատների վրա: Այս դեպքում օրդինատների առանցքից անջատված հատվածի արժեքով կորոշվի բնութագրական մածուցիկության արժեքը:

## 7. ԷՐԻԹՐՈՑԻՏՆԵՐԻ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ԴԻՍԱՅԿՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ժամանակակից կենսաբանական գիտության և բժշկության կարևորագույն խնդիրներից է բջջաթաղանթների կառուցվածքի, գործառնությունների և դրանց իրականացման մեխանիզմների ուսումնասիրությունը: Բջջաթաղանթների թափանցելիության և բազմաթիվ այլ գործընթացների մեխանիզմների պարզաբանման համար հետազոտման հարմար օբյեկտ են էրիթրոցիտները:

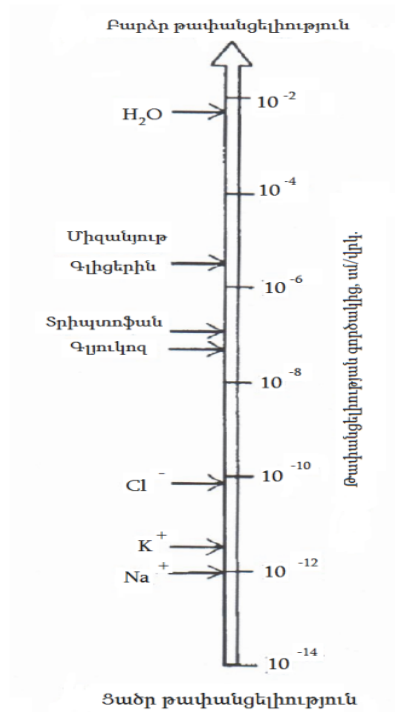
**Էրիթրոցիտների օսմոտիկ փխրունություն:** Մարդու էրիթրոցիտներն արյան պլազմայում կամ պլազմայից անջատված էրիթրոցիտներն իզոտոնիկ աղային լուծույթում իրենցից ներկայացնում են երկու կողմից ներիրված սկավառակներ, որոնք հաճախ անվանում են դիսկոցիտներ: Դիսկոցիտի ծավալը ( $V$ ) հավասար է  $87 \text{ մկմ}^3$ , իսկ մակերևույթի մակերեսը ( $S$ )՝  $163 \text{ մկմ}^2$ : Էրիթրոցիտի ձևը և ծավալը կարող են փոխվել՝ կախված աղի խտությունից: Էրիթրոցիտի ծավալը կարելի է մեծացնել մինչև գնդի վերածվելը առանց թաղանթի մակերևույթի մակերեսի փոփոխության: Եթե էրիթրոցիտի ուռչեցումը շարունակվի, ապա դրա համար անհրաժեշտ կլինի մեծացնել թաղանթի մակերևույթի մակերեսը, սակայն բջջաթաղանթները գործնականում հնարավոր չէ ձգել, ուստի թաղանթում առաջանում է մեխանիկական լարվածություն, որի հետևանքով թաղանթը պատռվում է, և ներբջջային հեմոգլոբինը դուրս է գալիս՝ տեղի է ունենում հեմոլիզ:



**Նկ. 1.** Հիպոտոնիկ աղային լուծույթում էրիթրոցիտների ձևի փոփոխում և լիզիս

Ծավալի նկատմամբ մակերևույթի մակերեսի «ավելցուկն» ունի շատ կարևոր նշանակություն էրիթրոցիտների գործառույթի իրականացման և ամբողջականության պահպանման համար: Էրիթրոցիտները շրջանառության ընթացքում անցնում են մեղ մազանոթներով, որոնց տրամագիծը համեմատելի է էրիթրոցիտների տրամագծին, և բջիջների վրա իրականացվում է զգալի մեխանիկական ներգործություն, սակայն շնորհիվ յուրահատուկ ձևի այս բջիջները հեշտությամբ դիմանում են դեֆորմացիաների, քանի որ փոխվում է միայն էրիթրոցիտների ձևը, իսկ թաղանթը չի ենթարկվում մեխանիկական ձգման, որը կարող էր հանգեցնել հեմոլիզի: Սկավառակի ուռչեցում մինչև գունդ, ապա թաղանթի ամբողջականության խաթարում կարելի է իրականացնել՝ օգտագործելով այն փաստը, որ կենսաբանական թաղանթների թափանցելիությունը տարբեր նյութերի համար խիստ տարբեր է:

Թաղանթով դիֆուզվող նյութի հոսքի խտությունը ( $J_p$ ) որոշվում է թափանցելիության գործակցով ( $P$ ) և թաղանթի երկու կողմերում գտնվող լուծույթներում տվյալ նյութի կոնցենտրացիաների տարբերությամբ ( $C_1 - C_2$ )՝  $J_p = P (C_1 - C_2)$ :



**Նկ. 2. Ֆուֆուկիդային երկշերտ թաղանթների թափանցելիությունը տարբեր միացությունների համար**

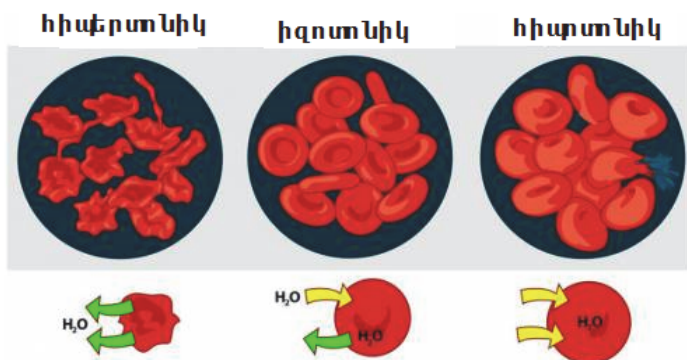
Ցանկացած թաղանթի հիմքը լիպիդային երկշերտն է։ Նկ. 2-ում բերված են լիպիդային երկշերտի թափանցելիության գործակիցները տարբեր նյութերի համար։ Ինչպես երևում է, ջուրն առավել հեշտ է անցնում լիպիդային երկշերտով, մինչդեռ կատիոնների համար թափանցելիության գործակիցի արժեքները  $10$  կարգով ( $10^{10}$  անգամ) ավելի փոքր են։ Էրիթրոցիտների թաղանթներում, շնորհիվ դրանցում սպիտակուցային անցքաւիների առկայության, թափանցելիությունը կատիոնների համար  $2$  կարգով ավելի բարձր է, քան մաքուր լիպիդային երկշերտում։ Այնուամենայնիվ, էրիթրոցիտների թաղանթների թափանցելիությունն իոնների և ջրի համար խիստ տարբեր է։ Հիպո-

տոնիկ միջավայր էրիթրոցիտների տեղափոխման դեպքում բջիջ առաջին հերթին մտնում է ջուրը, ինչի շնորհիվ բջջի ներքին պարունակությունը նոսրանում է: Արդյունքում հավասարվում են օսմոտիկ ճնշումները բջջի ներսում և արտաքին միջավայրում: Սկզբում էրիթրոցիտների ուռչեցման ժամանակ, երբ ջուրը թափանցում է բջիջ, վերջինիս թաղանթի մակերեսը չի փոխվում, աճում է միայն ծավալը: Բջիջն աստիճանաբար ընդունում է գնդի ձև: Ծավալի հետագա աճն առանց պլազմալեմի մակերեսի մեծացման դառնում է անհնարին: Թաղանթը ձգվում է և պատռվում: Հեմոգլոբինը արտահոսում է բջջից, և ստացվում են էրիթրոցիտների ստվերներ (նկ. 1):

Էրիթրոցիտները ջրի մեջ տեղափոխելու դեպքում ամբողջ գործընթացը՝ սկսած ուռչեցումից մինչև թաղանթի պատռվելը, տևում է 2 վրկ-ից պակաս: Արտաքին միջավայրի օսմոլյարությամ<sup>2</sup> նվազմանը գուրնբաց էրիթրոցիտների ծավալն աճում է գործնականում գծային կախվածությամբ: Սկսվառական էրիթրոցիտից գնդաձևի առաջացման համար բջջի ծավալը պետք է միջինում աճի 1.8 անգամ: Մակայն արյան մեջ էրիթրոցիտները հետերոգեն են, նրանք տարբերվում են տարիքով, թաղանթի թափանցելիությամբ և այլ բնութագրիչներով: Ուստի յուրաքանչյուր առանձին վերցրած բջջի համար ծավալի մեծացումը (մինչև թաղանթի պատռվելը) կարող է լինել ոչ միայն 1.8 անգամ, այլ նաև մի փոքր պակաս կամ մի փոքր ավել: Յուրաքանչյուր էրիթրոցիտի համար կարելի է ընտրել միջավայրի այնպիսի օսմոլյարություն, որ բջիջն ընդունի գնդի ձև առանց դրան հաջորդող թաղանթի պատռման: Սովորաբար թաղանթի օսմոտիկ փխրունությունը որոշում են  $NaCl$  -ի լուծույթում: Իզոտոնիկ է  $NaCl$  -ի 0.9%-անոց լուծույթը, քանի որ այդ կոնցենտրացիայով լուծույթում էրիթրոցիտները չեն դեֆորմացվում և մնում են սկավառա-կաձև (նկ. 3):

---

<sup>2</sup> Օսմոլյարությունը 1 լ լուծույթում անիոնների, կատիոնների և ոչ էլեկտրալիտների, այսինքն՝ բոլոր կինետիկորեն ակտիվ մասնիկների կոնցենտրացիաների գումարն է:



**Նկ. 3. Էրիթրոցիտների վիճակը  $NaCl$  -ի տարբեր կոնցենտրացիաներով լուծույթներում**

$NaCl$  -ի կոնցենտրացիայի նվազագույն արժեքը, որի դեպքում դեռևս չի դիտվում օսմոտիկ հեմոլիզ, օսմոտիկ փխրունության չափն է: Յուրաքանչյուր օրգանիզմի արյան էրիթրոցիտները, ըստ օսմոտիկ փխրունության չափանիշի, բաշխված են Գաուսի օրենքով, ուստի կախությամբ բջիջները բնութագրող չափանիշներից մեկը օսմոտիկ փխրունության միջին արժեքն է, որի բվային արժեքը հավասար է  $NaCl$  -ի այն կոնցենտրացիային, որի դեպքում լիզիսի է ենթարկվում բջիջների 50%-ը: Այդ մեծությունը սովորաբար անվանում են «օսմոտիկ փխրունություն»:

## **ԷՐԻԹՐՈՑԻՏՆԵՐԻ ԿԱԽՈՒՅԹԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ**

Էրիթրոցիտների օսմոտիկ փխրունությունը որոշելու համար անհրաժեշտ է ստանալ էրիթրոցիտների կախույթ 0.9%-անոց  $NaCl$  -ի լուծույթում: Մշակված են կախույթ ստանալու տարբեր եղանակներ:

**Եղանակ 1.** Վերցնել մոտավորապես 10 մլ  $NaCl$ -ի 0.9% լուծույթ, ավելացնել 0.5 մլ կիտրոնաթթվի նատրիումական աղի 3.7% լուծույթ՝ արյան մակարդումը կանխելու համար: Ստացված խառնուրդի մեջ ավելացնել մի քանի կաթիլ տաքարյուն կենդանու կամ մարդու արյուն (մարդու արյուն վերցնելու համար հակաճեղքել մատի բարձիկը և ծակել ստերիլ ասեղով, մատը՝ մերսելով մի քանի կաթիլ արյուն հանել և տեղափոխել աղային խառնուրդի մեջ): Էրիթրոցիտները լվանալ 2 անգամ՝ ցենտրիֆուգելով 400 g արագացումով 10 ր ընթացքում. առաջին անգամ ցենտրիֆուգելուց հետո հեռացնել վերնատվածքային հեղուկը, էրիթրոցիտների (և մյուս ձևավոր տարրերի) նստվածքի վրա ավելացնել 0.9%  $NaCl$ -ի լուծույթ, զգուշությամբ խառնել և կրկին ցենտրիֆուգել: Հեռացնել վերնատվածքային հեղուկը: Նստվածքի վրա ավելացնել  $NaCl$ -ի 0.9% լուծույթ, զգուշությամբ խառնել և ստացված կախույթն օգտագործել հետագա գործողություններում:

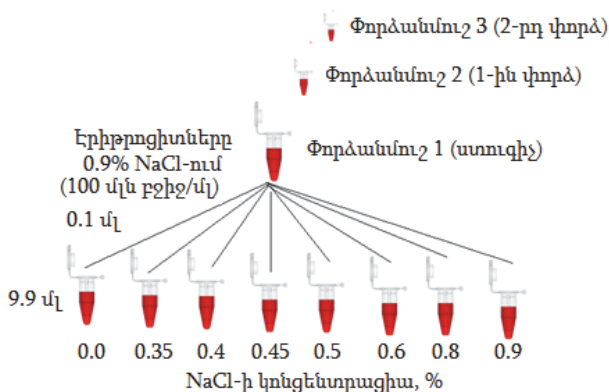
**Եղանակ 2.** Էրիթրոցիտների կախույթը կարելի է ստանալ նաև ավելի պարզեցված եղանակով: Մարդու մատից վերցրած մի քանի կաթիլ արյունը նոսրացնել մի քանի մլ  $NaCl$ -ի 0.9% լուծույթում: Ֆիզիոլոգիական լուծույթով ապակյա անոթն այդ ընթացքում պետք է թեթևակի թափահարել, որպեսզի արյունն արագ խառնվի, այդ դեպքում արյունը չի մակարդվում, և անհրաժեշտ չէ օգտագործել նատրիումի ցիտրատ:

Էրիթրոցիտների օսմոտիկ փխրունությունը որոշելու համար արյունը սովորաբար նոսրացնում են 100-ավոր կամ 1000-ավոր անգամ, ուստի պլազման շատ մեծ չափով է նոսրացվում, և էրիթրոցիտները կարելի է չլվանալ ցենտրիֆուգելով: Պլազմայի հետքերի առկայությունը կախույթում չի ազդում փորձի արդյունքների վրա: Ստացված էրիթրոցիտների կախույթն օգտագործում են օսմոտիկ փխրունության որոշման համար:

## ՓԽՐՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ

**Եղանակ 1:** Պատրաստում են  $\text{NaCl}$ -ի տարբեր կոնցենտրացիաներով լուծույթներ: Փորձանոթների մեջ լցնում են 9.9 մլ  $\text{NaCl}$ -ի որոշակի կոնցենտրացիայով լուծույթ և 0.1 մլ էրիթրոցիտների կախույթ՝ համաձայն նկ. 4-ում տրված սխեմայի:

Յուրաքանչյուր փորձանոթում որոշում են, թե բջիջների որ մասն է պահպանվել, այսինքն՝ չի ենթարկվել լիզիսի՝ համեմատելով ստուգիչ նմուշի հետ, որը պարունակում է էրիթրոցիտների կախույթ  $\text{NaCl}$ -ի իզոտոնիկ՝ 0.9% լուծույթում: Նման գնահատումը կարելի է իրականացնել տարբեր եղանակներով: Ուղղակի եղանակ է պահպանված էրիթրոցիտների թվի հաշվումը մանրադիտակի տակ՝ Գորյասի խցիկում, քանի որ ամբողջական էրիթրոցիտները մանրադիտակով լավ տեսանելի են, իսկ էրիթրոցիտների ստվերները՝ ոչ: Գործողությունները կատարում են հետևյալ հաջորդականությամբ. էրիթրոցիտները  $\text{NaCl}$ -ի հետազոտվող հիպոտոնիկ լուծույթում տեղափոխում են Գորյասի խցիկ և հաշվում են բջիջների թիվը մի քանի քառակուսիներում ( $n_0$ ):

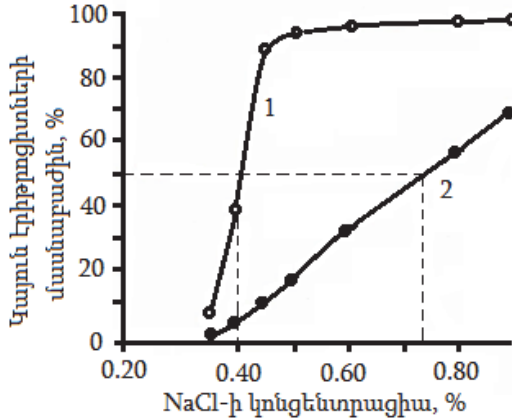


**Նկ. 4.** Էրիթրոցիտների օսմոտիկ փխրունության որոշման փորձի սխեման

Նույն հաշվարկը կատարում են Գորյասի խցիկում տեղադրելով ֆիզիոլոգիական լուծույթով նույն կերպ նոսրացված էրիթրոցիտների ստուգիչ կախույթը ( $n_u$ ): Հիպոտոնիկ լուծույթում կայուն էրիթրոցիտների մասնաբաժինը՝  $E_u$ , հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$E_u = \frac{n_0}{n_u} \cdot 100\% :$$

Կառուցում են  $NaCl$ -ի կոնցենտրացիայից կայուն բջիջների մասնաբաժնի կախվածության կորը՝ տեղադրելով  $NaCl$ -ի կոնցենտրացիաների արժեքներն աբսցիսների առանցքի վրա և կայուն էրիթրոցիտների մասնաբաժնի արժեքները՝ օրդինատների առանցքի: Աբսցիսների առանցքի վրա գտնում են էրիթրոցիտների օսմոտիկ փխրունության միջին արժեքը (նկ. 5, կոր 1): Նկ. 5-ում ներկայացված է նաև ֆիզիկական և քիմիական գործոնների գուգակցված ներգործության ազդեցությունը էրիթրոցիտների փխրունության վրա (նկ. 5, կոր 2):

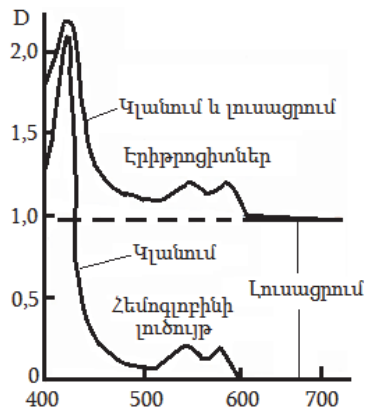


**Նկ. 5. Էրիթրոցիտների օսմոտիկ փխրունության կորերը**

1. Ստուգիչ նմուշ, 2. 0.1 մՄ փտրալենի ներկայությամբ ուլտրամանուշակա-գույն ճառագայթներով մշակված և  $37^{\circ}C$  պայմաններում 1 ժ ինկուկցված էրիթրոցիտներ:

**Եղանակ 2:** Մանրադիտակով օսմոտիկ փխրումության որոշման եղանակը բավականին աշխատատար է, ուստի մշակվել են այլ եղանակներ, որոնք ունեն առնվազն մեկ առավելություն և ավելի քիչ ծավալի աշխատանք են պահանջում: Դրանցից է սպեկտրաֆոտոմետրիկ եղանակով լիզիի ենթարկված բջիջների մասնաբաժնի գնահատումը՝ ըստ արտաքին միջավայրում հայտնված հեմոգլոբինի քանակի որոշման:

Էրիթրոցիտների ելակետային կախույթն իզոտոնիկ լուծույթում նոսրացնում են միևնույն չափով  $NaCl$ -ի տարբեր հիպոտոնիկ լուծույթներով, անմիջապես նոսրացումից հետո մմուշները ցնտրիֆուգում են և առանձնացնում վերնստվածքային հեղուկը: Հետագոտման համար օգտագործում են վերնստվածքային հեղուկը, որն իրենից ներկայացնում է բջիջներից արտահոսած հեմոգլոբինի լուծույթ: Սպեկտրաֆոտոմետրում չափում են ստացված վերնստվածքային հեղուկի մմուշների կլանման սպեկտրները: Մոնոքրոմատիկ լույսի կլանման չափումն իրականացնում են՝ համեմատելով մմուշից դուրս եկող լույսի փնջի ինտենսիվությունը ( $I$ ) մմուշի վրա ընկնող լույսի ինտենսիվության ( $I_0$ ) հետ, ինչպես ցույց է տրված մկ. 6-ում:



**Նկ. 6.** Էրիթրոցիտների հեմոլիզի արդյունքում դրանց կախույթի և հեմոգլոբինի լուծույթի կլանման սպեկտրները

Լույսի կլանումը նկարագրվում է Բուգեր-Լամբերտ-Բերի օրենքով (4.4 բանաձև), իսկ նյութի քանակությունը սովորաբար որոշվում է ըստ լուծույթի օպտիկական խտության (4.1 բանաձև):

Հեմոգլոբինի լուծույթի կլանման սպեկտրը ներկայացված է նկ. 6-ում (ներքևի կոր): Հեմոգլոբինի քանակական որոշման համար լուծույթի (վերնատվածքային հեղուկի) օպտիկական խտությունը կարելի է չափել կլանման մաքսիմումներից ցանկացածի ալիքի երկարության տակ: Հարկ է նշել, որ օպտիկական խտության չափման առավելագույն ճշգրտությունը ստացվում է վերջինիս 0.2-0.8 արժեքների միջակայքում: Կայուն բջիջների մասնաբաժնի որոշման համար համեմատում են  $NaCl$  -ի տարբեր խտությամբ լուծույթներում և թորած ջրում պատրաստված էրիթրոցիտների կախույթների վերնատվածքային հեղուկի մնուշների օպտիկական խտությունները:

Մասնավորապես, որոշում են՝ 0.9%  $NaCl$  -ի լուծույթում էրիթրոցիտների կախույթի ( $D_{0.9}$ , օսմոտիկ հեմոլիզը բացակայում է), թորած ջրում էրիթրոցիտների կախույթի ( $D_{H_2O}$ , կախույթում բոլոր բջիջների լիակատար լիզիս) և  $NaCl$  -ի որևէ հիպոտոնիկ լուծույթում էրիթրոցիտների կախույթի ( $D_{\text{փորձ.}}$ , փորձնական մնուշ, որում տեղի է ունեցել էրիթրոցիտների մի մասի օսմոտիկ լիզիս) օպտիկական խտությունները: Ստացված վերնատվածքային հեղուկների օպտիկական խտության արժեքների հիման վրա հաշվարկվում է կայուն էրիթրոցիտների մասնաբաժինը ըստ հետևյալ բանաձևի՝

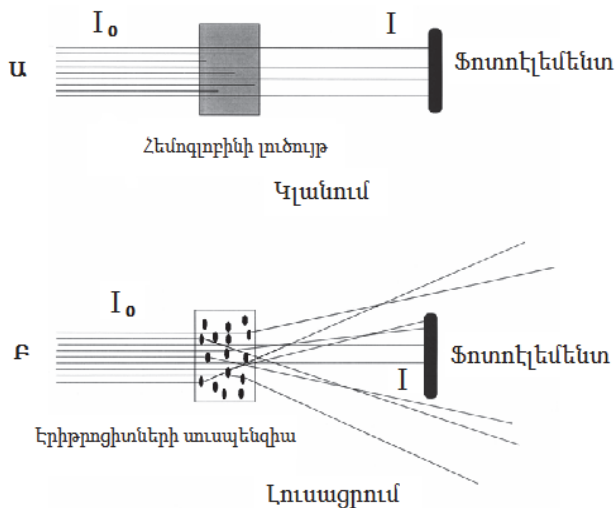
$$\Gamma_{\text{կ}} = \frac{D_0 - D_{0.9}}{D_{H_2O} - D_{0.9}} 100\% :$$

Սպեկտրաֆոտոմետրիկ վերլուծությունը հնարավորություն է տալիս իրականացնելու բավականին ճշգրիտ չափումներ, ինչը, սակայն համեմատաբար աշխատատար է:

**Եղանակ 3:** Օսմոտիկորեն կայուն էրիթրոցիտների մասնաբաժնի որոշման առավել պարզ և արագ եղանակ է էրիթրոցիտների կախույթի պոտորության գրանցումը: Նկ. 6-ում բերված են երկու կլան-

ման սպեկտրներ՝ վերևի կորը էրիթրոցիտների սպեկտրն է, ներքևինը՝ էրիթրոցիտների հեմոլիզի արդյունքում ստացված հեմոգլոբինի սպեկտրը: Երկու նմուշներում էլ հեմոգլոբինի պարունակությունը նույնն է: Հեմոգլոբինի լուծույթը թուլացնում է լույսի ինտենսիվությունը միայն վրան ընկնող ֆոտոնների մի մասի կլանման հաշվին (նկ. 6 և 7, Ա), ուստի լուծույթի օպտիկական խտությունը կարելի է անվանել կլանման օպտիկական խտություն ( $D_{\text{կլ}}$ ): Ինչպես երևում է, 600 նմ-ից ավելի երկարություն ունեցող ալիքների տակ հեմոգլոբինը լույս չի կլանում՝  $D_{\text{կլ}}=0$ : Այլ պատկեր է դիտվում էրիթրոցիտների կախության համար. էրիթրոցիտների կախության օպտիկական խտությունն էապես բարձր է գրոյից ալիքի երկարությունների բոլոր արժեքների դեպքում: Դա պայմանավորված է նրանով, որ էրիթրոցիտներն ընդունակ են ոչ միայն կլանել, այլև ցրել լույսը (նկ. 7, Բ):

Լուսացրման արդյունքում ֆոտոնների մի մասը չի հասնում ֆոտոէլեմենտին: Էրիթրոցիտների լույս ցրելու հատկությունը գործնականում կախված չէ ալիքի երկարությունից: Ստացվում է, որ 600 նմ-ից երկար ալիքների (կարմիր լույս) դեպքում կախության օպտիկական խտությունը պայմանավորված է միայն լուսացրմամբ ( $D = D_{\text{ցր.}}$ ), մինչդեռ 600 նմ-ից կարճ ալիքի երկարությունների դեպքում՝ ցրմամբ և կլանմամբ ( $D = D_{\text{ցր.}} + D_{\text{կլ.}}$ ): Այսպիսով, գնահատելով կարմիր լույսի թուլացումը, կարելի է որոշել կախությամբ չվնասված էրիթրոցիտների կոնցենտրացիան, քանի որ հեմոլիզի արդյունքում ստացված էրիթրոցիտների ստվերները լույս չեն ցրում:



**Նկ. 7. Լույսի ցրումը հեմոգլոբինի լուծույթով (Ա) և  
էրիթրոցիտների կախույթով (Բ)**

Յրման արդյունքում ստացված լույսի թուլացման քանակական արժեքը նկարագրվում է Բուգեր-Լամբերտ-Բերի օրենքի բանաձևին նման բանաձևով՝

$$I = I_0 e^{knl},$$

որտեղ  $I_0$  -ն և  $I$  -ն ընկնող և թուլացած լույսի փնջերի ինտենսիվություններն են,

$e$  -ն՝ բնական լոգարիթմի հիմքը, 2.73,

$k$  -ն՝ թուլացման գործակիցը, սմ<sup>2</sup>,

$n$  -ը՝ էրիթրոցիտների կոնցենտրացիան, 1/սմ<sup>3</sup>,

$l$  -ը՝ մուտքի հաստությունը, սմ:

Փորձում էրիթրոցիտների կոնցենտրացիան որոշելու համար սովորաբար չափում են բացթողումը  $\left(\frac{I}{I_0}\right) \times 100\%$  հարաբերությունը

600 նմ-ից մեծ որևէ ալիքի երկարության արժեքի դեպքում:

Նպատակահարմար է օգտագործել բջիջների այնպիսի կոնցենտրացիաներ, որոնց դեպքում բացթողումը մեծ է 60-70%-ից: Բջիջների լիզիսի և դրանց ստվերների վերածման ընթացքում բացթողումն աճում է մինչև 96-98%, սակայն չի հասնում 100%-ի, քանի որ լիզիսի արդյունքում ստացված էրիթրոցիտների ստվերները, այնուամենայնիվ, ընդունակ են որոշ չափով ցրել լույսը: 70-100%-ի միջակայքում  $I/I_0$  հարաբերության կախվածությունը բջիջների կոնցենտրացիայից համարյա գծային է: Պոլտորության չափման փորձերի համար նմուշների պատրաստման սխեման ներկայացված է նկ. 4-ում, իսկ ստացվող օպտիկական խտության կորերը բերված են նկ. 5-ում:

**Էրիթրոցիտների օսմոտիկ փխրունությունը** կարող է կախված լինել բազմաթիվ գործոններից.

- բջջի ծավալի և պլազմալեմի մակերևույթի մակերեսի հարաբերությունից՝  $\frac{V}{S}$ ,
- թաղանթի առաձգականությունից,
- բջջում օսմոտիկորեն ակտիվ նյութի կոնցենտրացիայից և այդ նյութի քանակության փոփոխությունից,
- ֆիզիկական գործոնների և էկզոգեն քիմիական միացությունների ներգործության արդյունքում բջջաթաղանթի հատկությունների փոփոխությունից:

Համարվում է, որ առավել կարևոր չափորոշիչ է  $\frac{V}{S}$  հարաբերությունը:

Հայտնի է, որ ըստ էրիթրոցիտների օսմոտիկ փխրությունյան վրա ազդեցության՝ բոլոր տեսակի ներգործությունները բաժանվում են 3 տիպի.

- 1) գործոններ, որոնք նվազեցնում են էրիթրոցիտների օսմոտիկ փխրությունը,
- 2) գործոններ, որոնք ձևափոխում են էրիթրոցիտների թաղանթը, սակայն չեն փոխում փխրությունը,
- 3) գործոններ, որոնք մեծացնում են էրիթրոցիտների փխրությունը:

Առաջին տիպին են դասվում այնպիսի ոչ յուրահատուկ հեմոլիտիկներ փոքր կոնցենտրացիաներով, ինչպիսիք են դետերգենտները (տրիտոն  $X-100$ ) և որոշ ստերոիդներ (օրինակ՝  $7\beta$ -օքսիքոլեստերոլ, 22-կետոքոլեստերոլ և  $20\alpha$ -օքսիքոլեստերոլ), ալիֆատիկ սալիլատները, շատ ամֆիֆիլ միացություններ (օրինակ՝ վիտամին E-ն), այնպիսի դեղամիջոցներ, ինչպիսիք են քլորպրոմազինը, ցավազրկողները: Ենթադրվում է, որ բվարկված միացություններն ընդգրկվում են թաղանթի լիպիդային երկշերտի մեջ՝ այդպիսով մեծացնելով պլազմալեմի մակերևույթի մակերեսը: Արդյունքում  $\frac{V}{S}$  հարաբերությունը փոք-

րանում է, և թաղանթը պատռելու համար բջիջները պետք է տեղադրել ավելի նոսրացված աղային լուծույթների մեջ, քան մինչև վերը նշված միացությունների ներգործությունը: Առաջին խմբի ֆիզիկական գործոն կարող է լինել ջերմաստիճանի բարձրացումն էրիթրոցիտների կախույթի ինկուբացիայի ժամանակ  $5^{\circ}C$  -ից մինչև  $35^{\circ}C$ : Ջերմաստիճանի բարձրացման ժամանակ արագանում է  $K^{+}$  իոնների արտահոսքը բջջից, և այդ պատճառով նվազում է էրիթրոցիտների պարունակության օսմոլյարությունը, ինչը նույնպես բերում է  $\frac{V}{S}$  հարաբերության նվազմանը:

Երկրորդ տիպի գործոններին կարող են դասվել որոշ քիմիական միացություններ և ֆիզիկական ներգործություններ, օրինակ՝ կալ-

ցիումական խոնոֆոր A-23187-ը ներկառուցվում է էրիթրոցիտների թաղանթի մեջ, սակայն օսմոտիկ փխրունության փոփոխություն չի հարուցում: Քոլեստերինի հիդրոպերօքսիդը ներկառուցվում է էրիթրոցիտների թաղանթների մեջ՝ չփոխելով օսմոտիկ փխրունությունը, եթե վերջինը չափվի անմիջապես ներկառուցումից հետո: Որոշակի պայմաններում երկրորդ տիպի ներգործություն կարելի է համարել էրիթրոցիտների ֆոտոքիմիական վնասումը, օրինակ՝ ֆոտոսենսիբիլիզատորների՝ նյութերի, որոնք բարձրացնում են լույսի նկատմամբ կենսաբանական օբյեկտների զգայունությունը, դիցուք փտորալենի ներկայությամբ ուլտրամանուշակագույն ճառագայթումով կամ տեսանելի լույսով հարուցված վնասումը: Թաղանթի սպիտակուցները և լիպիդները ենթարկվում են ֆոտոքիմիական վերափոխման, սակայն անմիջապես ճառագայթահարումից հետո էրիթրոցիտների օսմոտիկ փխրունությունը չի փոխվում:

Քոլեստերինի հիդրոպերօքսիդը և ֆոտոքիմիական վնասվածքները կարող են դասվել նաև երրորդ տիպի գործոնների թվին, եթե օսմոտիկ փխրունությունը չափվի ներգործությունից որոշ ժամանակ անց: Այս դեպքերում աճում է էրիթրոցիտների թաղանթների խոնային թափանցելիությունը: Ֆիզիոլոգիական լուծույթում էրիթրոցիտների տեղադրման դեպքում էրիթրոցիտների ներսում օսմոտիկ ճնշումը ձևավորվում է ինչպես բջջում առկա իոններով, այնպես էլ հեմոգլոբինով: Մինչդեռ արտաքին միջավայրում օսմոտիկ ճնշումը պայմանավորվում է միայն իոններով, և այդ պատճառով իոնների կոնցենտրացիան էրիթրոցիտի ներսում ավելի քիչ է, քան բջիջը շրջապատող լուծույթում: Թաղանթների խոնային թափանցելիության աճի հաշվին իոնների կոնցենտրացիաները ներսում և արտաքին միջավայրում սկսում են հավասարվել: Այդ ժամանակ ներբջջային հեմոգլոբինը ստեղծում է ավելցուկային օսմոտիկ ճնշում, որի պատճառով իոնների հետ բջիջ է մտնում ջուրը: Արդյունքում աճում է էրիթրոցիտների ծավալը: Այդ գործընթացն անվանում են կոլոիդային օսմոտիկ ուռչում: Այն ի վերջո հանգեցնում է օսմոտիկ հեմոլիզի անգամ իզոտոնիկ աղային լուծույթում: Բջիջների ուռչեցումը կարելի է հայտնաբե-

րել հեմոլիզից շատ ավելի շուտ՝ ըստ դրանց օսմոտիկ փխրունության աճի՝ պայմանավորված  $\frac{V}{S}$  հարաբերության աճով: Թաղանթների

ֆոտովնասվածքներով հարուցված օսմոտիկ փխրունության փոփոխության հետազոտությունը թույլ է տվել բացահայտել տարբեր ֆոտոսենսիբիլիզատորների ազդեցության մեխանիզմների որոշ նուրբ առանձնահատկություններ: Օրինակ՝ պարզվել է, որ պրոտոպորֆիրինով ֆոտոմակածման հետևանքով թաղանթներում թափանցելիության անցքուղիների առաջացումը պրոտոպորֆիրինի ֆոտոքիմիական ռեակցիաների անմիջական արդյունք է: Մինչդեռ այն դեպքում, երբ ֆոտոսենսիբիլիզատորը փտորալենն է, ֆոտոքիմիական ռեակցիաների արդյունքում թաղանթներում առաջանում են միայն թաքնված վնասվածքներ, որոնք չեն հանգեցնում թափանցելիության աճին: Պարզվել է, որ այս դեպքում անցքուղիների առաջացման համար անհրաժեշտ է փտորալենի ֆոտոարգասիքների հետճառագայթային ակտիվացում ջերմամշակման միջոցով (նկ. 5, կոր 2): Որոշ նյութեր, օրինակ՝ քլորբրոմազինը և ալիֆատիկ սպիրտները, ցածր կոնցենտրացիաների դեպքում ազդում են որպես առաջին տիպի գործոններ, սակայն բարձր կոնցենտրացիաների դեպքում դառնում են երրորդ տիպի գործոններ, քանի որ այս նյութերի բարձր կոնցենտրացիաները մեծացնում են թաղանթների թափանցելիությունը և հարուցում բջիջների ուռչեցում:

Էրիթրոցիտների օսմոտիկ փխրունության փոփոխությունները տեղի են ունենում ոչ միայն «in vitro», այլև in vivo, որոշ հիվանդությունների դեպքում կամ մարդու և կենդանիների օրգանիզմի վրա մի շարք քիմիական և ֆիզիկական գործոնների ներգործության հետևանքով:

Էրիթրոցիտների օսմոտիկ փխրունությունը կտրուկ աճում է ժառանգական սֆերոցիտոզի դեպքում՝ հիվանդության, որի ժամանակ էրիթրոցիտները համարյա զնդածն են: Փխրունության աճ դիտվում է սննդում ցինկի անբավարարության, քրոմիկ երիկամային անբավարարության, միզաքարային հիվանդությունների, ծծմբի երկօքսիդով

թունավորման, պարացետամոլ դեղի թույլատրելի (թերապևտիկ) չափաբաժինների էական գերազանցման և շատ այլ դեպքերում: Առավել հաճախ օսմոտիկ փխրունությունը կարգավորվում է, եթե հիվանդները ստանում են հակաօքսիդանտներ՝ E և C վիտամիններ, β-կարոտին և այլն: Առավել արդյունավետ է E վիտամինը, ինչը վկայում է այն մասին, որ էրիթրոցիտների օսմոտիկ փխրունության համար շատ հաճախ պատասխանատու է թաղանթային լիպիդների գերօքսիդային օքսիդացումը:

Այսպիսով՝ փորձարարական և տեսական հետազոտությունների վերլուծությունը հիմք է տալիս եզրակացնելու, որ էրիթրոցիտների փխրունության չափումը հետազոտման կարևոր եղանակ է ոչ միայն *in vitro* փորձերում, այլ նաև ախտորոշման եղանակ է բժշկության մեջ, օգտագործվում է ախտաբանական գործընթացների մեխանիզմների, ինչպես նաև որոշ դեղամիջոցների և կենսաբանորեն ակտիվ նյութերի ներգործության մեխանիզմների ուսումնասիրության համար:

## ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՄԱՍ

**Անհրաժեշտ պարագաներ և սարքեր՝** ֆոտոէլեկտրակոլորիմետր կամ սպեկտրաֆոտոմետր,  $NaCl$ -ի և  $SpH$ տոն  $X - 100$ -ի լուծույթներ, փորձանոթներ, կաթոցիչներ, չափիչ կոլբաներ, ֆիլտրի թուղթ, կենդանի (արյուն):

**ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ 1:** Փորձանոթների մեջ լցնել 2-ական մլ  $NaCl$ -ի լուծույթ հետևյալ կոնցենտրացիաներով՝ 0, 0.1, 0.3, 0.4, 0.5, 0.7, 0.9%: Յուրաքանչյուր փորձանոթի մեջ ավելացնել 20 մլ էրիթրոցիտների կախույթ: Չափել ստացված կախույթներից յուրաքանչյուրի բացթողման գործակիցը ֆոտոէլեկտրակոլորիմետրի միջոցով: Չափումների ժամանակ օգտագործել 650-700 մմ ալիքի երկարությամբ ալիքների լուսազտիչը: Կառուցել  $NaCl$ -ի լուծույթի կոնցենտրացիայից

կախույթի բացթողման գործակցի կախվածության կորը և որոշել էրիթրոցիտների օսմոտիկ կայունությունը:

**ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ 2:** Յենտրիֆուգել առաջադրանք 1-ում պատրաստված նմուշները 3000 պտույտ/րոպե արագությամբ 5 ր ընթացքում: Առանձնացնել վերնատվածքային հեղուկը: Չափել յուրաքանչյուր նմուշի վերնատվածքային հեղուկի օպտիկական խտությունը: Չափումների ժամանակ օգտագործել 670 նմ ալիքի երկարությամբ ալիքների լուսազտիչը: Կառուցել  $NaCl$  -ի լուծույթի կոնցենտրացիայից նմուշի օպտիկական խտության կախվածության կորը: Որոշել էրիթրոցիտների օսմոտիկ կայունությունը:

**ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ 3:** Պատրաստել էրիթրոցիտների կախույթներ  $NaCl$  -ի տարբեր կոնցենտրացիաներով լուծույթներում, ինչպես նկարագրված է առաջադրանք 1-ում: Յուրաքանչյուր կախույթի մեջ ավելացնել 20-ական մլլ Տրիտոն  $X - 100$  -ի լուծույթ (վերջնական կոնցենտրացիան պետք է հավասար լինի 0.01%): Չափել կախույթների բացթողման գործակիցը և կառուցել  $NaCl$  -ի լուծույթների կոնցենտրացիայից բացթողման գործակցի կախվածության գրաֆիկը: Որոշել Տրիտոն  $X - 100$  -ով մշակված էրիթրոցիտների օսմոտիկ կայունությունը: Գրել եզրակացություններ էրիթրոցիտների օսմոտիկ կայունության վրա Տրիտոն  $X - 100$  -ի ազդեցության վերաբերյալ:

## 8. ԲԶՋԱԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Կոլոլոլ համակարգերում, հատկապես ջրային դիսպերս միջավայրով համակարգերում բացառիկ մեծ է մասնիկների էլեկտրական լիցքի դերը: Ուստի կարևոր է պարզել մակերևութային լիցքի առաջացման պատճառները, ինչպիսիք են էլեկտրական լիցքերի շերտերի կառուցվածքը և այն երևույթները, որոնք կապված են լիցքավորված մակերեսի վրա արտաքին էլեկտրական դաշտի ազդեցության հետ:

Միջֆազային մակերևույթների վրա կրկնակի էլեկտրական շերտի (ԿԷՇ) առաջացումը հավուղ ֆազերի փոխազդեցության արդյունք է և պայմանավորված է ավելցուկային մակերևութային էներգիայով: Հետերոգեն համակարգի ձգտումը՝ նվազեցնելու մակերևութային էներգիան, հարուցում է բևեռային մոլեկուլների, իոնների և էլեկտրոնների որոշակի կողմնորոշում մակերևութային շերտում, ինչի արդյունքում շփվող ֆազերը ձեռք են բերում հակառակ նշանով, սակայն հավասար մեծությամբ լիցքեր: Այսպես՝ մակերևութին առաջանում է կրկնակի էլեկտրական շերտ համապատասխան էլեկտրական պոտենցիալով, լիցքով, ունակությամբ և այլ հատկություններով, որը պայմանավորում է տարբեր էլեկտրամակերևութային երևույթներ: Միջֆազային փոխազդեցության մեծացումը կրկնակի էլեկտրական շերտի առաջացման ժամանակ կարելի է բացատրել նաև մակերևութային լարվածության նվազումով, որը կարող է պայմանավորված լինել համանուն լիցքերի փոխադարձ վանումով: Այդպիսի համանուն լիցքերը կուտակվում են մակերևութին յուրաքանչյուր ֆազի կողմից, և դրանց միջև վանողական ուժերը նվազեցնում են մակերևութային շերտում գործող ձգող ուժերը: Տարբերում են կրկնակի էլեկտրական շերտի առաջացման հետևյալ հնարավոր մեխանիզմները.

**Մակերևութային դիսոցում:** Մետաղ-օդ բաժանման սահմանին էլեկտրոնների մի մասն անցնում է գազային ֆազ, մետաղը լիցքավորվում է դրականորեն, իսկ էլեկտրոնները պահվում են մակերևույ-

թին հարող շերտում, արդյունքում առաջանում է հարթ կոնդենստորի տիպի կրկնակի էլեկտրական շերտ: Մեկ այլ օրինակ է մետաղ-հեղուկ համակարգը՝ մետաղը (թիթեղի կամ լարի տեսքով) ընկղմված ջրի մեջ: Մետաղի կառուցվածքը կարելի է պատկերացնել որպես բյուրեղային ցանց, որի հանգույցներում գտնվում են կատիոնները, իսկ դրանց միջև՝ «էլեկտրոնային գազը»: Ջրում մետաղների կատիոնները կարող են հիդրատացվել և անցնել պինդ մակերևույթից հեղուկ ֆազի մեջ, ինչի հետևանքով մետաղի մակերևույթը լիցքավորվում է բացասական, իսկ հիդրատացված կատիոնները կողմնորոշվում են մակերևույթին հարող շերտում՝ չեզոքացնելով վերջինիս լիցքը: Ֆազերի բաժանման սահմանին տարածականորեն բաժանված լիցքերի նման համակարգը կոչվում է կրկնակի էլեկտրական շերտ: Հավասարակշռության պայմաններում մետաղի իոնների էլեկտրաքիմիական պոտենցիալների  $\tilde{\mu}_i$  արժեքները, պինդ ( $\tilde{\mu}_i^{\text{պ.}}$ ) և հեղուկ ( $\tilde{\mu}_i^{\text{հ.}}$ ) ֆազերում տրված  $T$  ջերմաստիճանում հավասար են՝

$$\tilde{\mu}_i^{\text{պ.}} = \tilde{\mu}_i^{\text{հ.}}, \quad (1)$$

$$\mu_i^{0,\text{պ.}} + RT \ln a_i^{\text{պ.}} + z_i \psi^{\text{պ.}} F = \mu_i^{0,\text{հ.}} + RT \ln a_i^{\text{հ.}} + z_i \psi^{\text{հ.}} F, \quad (2)$$

որտեղ  $a_i^{\text{պ.}}$ -ն և  $a_i^{\text{հ.}}$ -ն իոնների ակտիվությունն են,  $\psi^{\text{պ.}}$ -ն և  $\psi^{\text{հ.}}$ -ն՝ ֆազերի ներքին պոտենցիալները, որոնցից յուրաքանչյուրը հավասար է կետերի պոտենցիալների տարբերությանը ֆազերի ներսում և վակուումում գտնվող կետերում:

Հաշվի առնելով, որ  $a_i^{\text{պ.}} = 1$ , ունենք.

$$\varphi = \psi^{\text{պ.}} - \psi^{\text{հ.}} = \frac{\mu_i^{0,\text{հ.}} - \mu_i^{0,\text{պ.}}}{z_i F} + \frac{RT}{z_i F} \ln a_i^{\text{հ.}}, \quad (3)$$

որտեղ  $z_i$ -ը իոնի լիցքն է,  $F$ -ը՝ Ֆարադեյի թիվը,  $R$ -ը՝ գազային հաստատունը:

Ներքին պոտենցիալների տարբերությունը՝  $\phi$ -ն, անվանում են լիցքավորված մակերևույթի պոտենցիալ կամ Գալվանի պոտենցիալ:

Կրկնակի էլեկտրական շերտ առաջանում է, օրինակ, միջֆազային մակերևույթին ջրի և թույլ լուծվող արծաթի յոդիդի ( $AgI$ ) միջև: Արծաթի յոդիդի լուծման ժամանակ ջրի մեջ են անցնում գերազանցապես արծաթի իոնները ( $Ag^+$ ), քանի որ վերջիններս ավելի ուժեղ են հիդրատացվում, քան յոդիդ-իոնները: Արդյունքում արծաթի յոդիդի մակերևույթը կունենա բացասական յոդիդ-իոնների (պոտենցիալ որոշող իոնների) որոշ ավելցուկ, որոնց լիցքը կչեզոքացվի հարող ջրային շերտում արծաթի իոնների (հակաիոնների) ավելցուկով: Ձևավորվող համակարգը կարելի է դիտարկել որպես կոնդենսատոր, որում «ներքին շրջադիրը» մակերևութային շերտում է՝ պինդ ֆազի կողմից, իսկ «արտաքին շրջադիրը»՝ հեղուկ ֆազի կողմից: Եթե ջրի մեջ ավելացվի լավ լուծելի արծաթի նիտրատ, ապա արծաթի իոնների էլեկտրաքիմիական պոտենցիալը լուծույթում կաճի: Դրա արդյունքում արծաթի իոնները լուծույթից կանցնեն արծաթի յոդիդի մակերևույթի վրա, և աղի մակերևույթը կլիցքավորվի դրականորեն, իսկ յոդիդ-իոնները հանդես կգան որպես հակաիոններ: Երբեմն մի ֆազից մյուսը մի նշանի իոնների անցման գործընթացը դիտարկվում է որպես ինքնաադսորբցում (համանուն իոնների ադսորբցում): Մակերևույթի լիցքի որոշման համար կիրառում են Պենետի-Ֆայանսի-Գանի կանոնը, համաձայն որի՝ բյուրեղային ցանցի կառուցվածքը կարող են ավարտին հասցնել միայն այն իոնները, որոնք մտնում են վերջինիս կազմի մեջ, կամ դրանք իզոմորֆ են (այսինքն՝ այնպիսի իոններ, որոնց լիցքի նշանը նույնն է, և չափը տարբերվում է ոչ ավելի, քան 10-15%-ով):

Կրկնակի էլեկտրական շերտը կարող է ձևավորվել նաև մակերևույթին գտնվող գործառական խմբերի թթվա-հիմնային դիսոցման արդյունքում: Որպես պոտենցիալ որոշող իոններ և հակաիոններ կարող են հանդես գալ  $H^+$  և  $OH^-$  իոնները: Օրինակ՝ պոլիսիլիցիոմային թթվի կամ սիլիկահողի զուլերի մասնիկների հպման ժամանակ

[illegible]

**Աղստորբցիոն մեխանիզմ:** Կրկնակի էլեկտրական շերտը կառույց է ձևավորվել միջֆազային շերտում ֆազեր ձևավորող նյութերի կազմի մեջ չմտնող էլեկտրալիտների իոնների ընտրողական աղստորբման արդյունքում, այսինքն՝ ձևավորվում է խառնուրդ նյութերի աղստորբման արդյունքում: Օրինակ՝ մետաղ-ջուր համակարգ նատրիումի քլորիդի լուծույթի ավելացումը բերում է մետաղի մակերևույթին  $Cl^-$  իոնների ընտրողական աղստորբմանը: Մետաղի մակերևույթին առաջանում է ավելցուկային բացասական լիցք, իսկ մետաղի հետ շփվող լուծույթի շերտում՝ ավելցուկային դրական լիցք ( $Na^+$  իոններ), այսինքն՝ միջֆազային մակերևույթին ձևավորվում է կրկնակի էլեկտրական շերտ: Նույն համակարգում իոնաձին (իոնների դիսոցիվող) մակերևութային ակտիվ նյութերի աղստորբման դեպքում մետաղի մակերևույթին գերազանցապես աղստորբվում են օրգանական իոնները, իսկ հակաիոնները (անօրգանական իոնները) ձևավորում են կրկնակի շերտ՝ ջրային ֆազի կողմից, քանի որ ավելի ուժեղ են վերջինիս հետ փոխազդում: Իոնաձին մակերևութային ակտիվ նյութերի աղստորբ-

մը կարող է տեղի ունենալ երկու շխառնվող հեղուկների, օրինակ՝ ջրի և բենզոլի սահմանին: Մակերևութային ակտիվ նյութի մոլեկուլի՝ դե-պի ջուրն ուղղված բևեռային խումբը դիսոցվում է՝ հաղորդելով բեն-զոլի ֆազի մակերևույթին լիցք, որը համապատասխանում է մակե-րևութային ակտիվ նյութի մոլեկուլի օրգանական մասին:

**Դիպոլների կողմնորոշումը:** Եթե միջֆազային մակերևույթը ձևավորված է այնպիսի նյութերով, որոնք ընդունակ չեն փոխանակ-վել լիցքերով, ապա կրկնակի էլեկտրական շերտը կարող է առաջա-նալ շնորհիվ զուգորդված ֆազերի բևեռային մոլեկուլների կողմն-որոշման՝ վերջիններիս փոխազդեցության արդյունքում: Երբ կրկնակի էլեկտրական շերտի առաջացմանը չեն մասնակցում էլեկտրալիտնե-րը, մակերևութային լիցքի նշանի որոշման համար կարելի է օգտվել Կյոնի կանոնից, որի համաձայն՝ երկու միմյանց հպվող ֆազերից այն ֆազն է լիցքավորվում դրականորեն, որն ունի ավելի մեծ դի-էլեկտրիկ թափանցելիություն: Դրանով է պայմանավորված մեծ դի-էլեկտրիկ թափանցելիությամբ օժտված ջրի հետ շփվող շատ նյութե-րի բացասական լիցքը:

Հաշվի առնելով, որ կրկնակի էլեկտրական շերտի ձևավորման գործընթացում որոշակի դերակատարություն կարող է ունենալ նշված գործոններից յուրաքանչյուրը, ֆազերի ներքին պոտենցիալ-ների տարբերությունը ( $\varphi$ ) ներկայացնում են սովորաբար որպես երեք բաղադրիչների գումար՝

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3, \quad (4)$$

որտեղ  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  գումարելիները պայմանավորված են համապա-տասխանաբար իոնների փոխանակությամբ, ադսորբմամբ և բևե-ռային մոլեկուլների կողմնորոշմամբ:

## ԿՐԿՆԱԿԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՇԵՐՏԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԸ

Լիցքավորված մակերևույթի էլեկտրական դաշտում մակերևույթի նկատմամբ հակառակ լիցք ունեցող իոնները ձգվում են մակերևույթի կողմից, իսկ համանուն լիցք ունեցողները՝ վանվում: Միաժամանակ, քառտիկ ջերմային շարժումը ցրում է իոնները՝ հավասարաչափ բաշխելով լուծույթի ամբողջ ծավալով: Ֆազերի բաժանման սահմանի մոտակայքում գերիշխում է մակերևույթի էլեկտրական դաշտի ազդեցությունը, և հակաիոնները կուտակվում են մակերևույթի մոտակայքում: Բացի դրանից՝ իոնները ձգվում են մակերևույթի կողմից միջնոլեկուլային փոխազդեցության ուժերով: Ֆազերի բաժանման սահմանից հեռանալուն զուգընթաց ձգողության այդ ուժերը թուլանում են, և սկսում է գերիշխել ջերմային շարժումը, հակաիոնների ավելցուկը նվազում է, և դրանց խտությունը մոտենում է էլեկտրալիտի խտությանը ծավալում: Այդ հակազդող գործոնների ազդեցությամբ ձևավորվում է հակաիոնների շերտ, որի գումարային լիցքն ամբողջությամբ փոխհատուցում է պինդ մակերևույթի լիցքը:

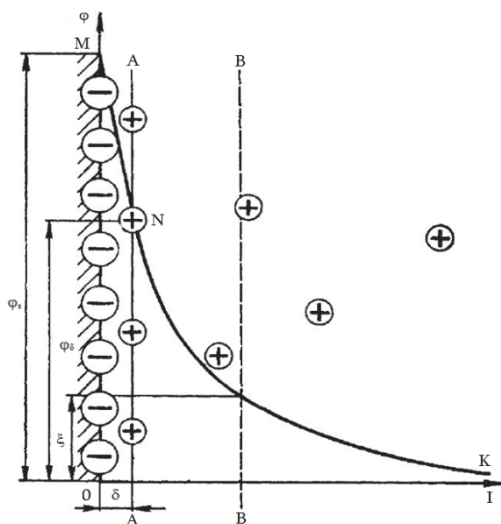
Կրկնակի էլեկտրական շերտի կառուցվածքն առաջին անգամ ներկայացվել է Հելմհոլցի և Պերրենի կողմից: Համաձայն նրանց պատկերացումների՝ կրկնակի էլեկտրական շերտը նման է հարթ կոնդենսատորի. հպվող ֆազերի սահմանին լիցքերը դասավորվում են տարանուն իոնների երկու շարքերի տեսքով՝ պոտենցիալ ձևավորող իոնների շարքը՝ սահմանից դրանց չտվատացված վիճակի շառավղին հավասար հեռավորության վրա, և դրան հարող հակաիոնների շարքը: Էլեկտրական շերտի հաստությունը մոտ է մոլեկուլային չափերին, շերտի պոտենցիալը գծայնորեն նվազում է իր հաստության սահմաններում մինչև զրո: Սակայն կրկնակի շերտի նման կառուցվածքը հնարավոր է միայն իոնների ջերմային շարժումների բացակայության դեպքում: Իրականում ֆազերի բաժանման սահմանի վրա լիցքերի բաշխումը որոշվում է իոնների էլեկտրաստատիկ ձգողականության և հեղուկ կամ գազային ֆազի ամբողջ ծավալում հավասարաչափ բաշխման ձգողող իոնների ջերմային շարժումների հա-

րաբերությամբ: Անկախ միմյանցից՝ Գուլին և Չեպմենը ենթադրեցին, որ կրկնակի էլեկտրական շերտն ունի դիֆուզ (ոչ հստակ) կառուցվածք, և բոլոր հակաիոնները գտնվում են շերտի դիֆուզ մասում՝ դիֆուզ շերտում:

Կրկնակի էլեկտրական շերտի ժամանակակից տեսության հիմնադրույթները մշակել է Օ. Շտերնը: Այն միավորում է երկու նախորդ տեսությունները: Համաձայն Շտերնի տեսության՝ հակաիոնների շերտի ձևավորումը որոշվում է ոչ միայն վերջիններիս էլեկտրաստատիկ փոխազդեցություններով լիցքավորված մակերևույթի հետ, այլև աղսորբումով: Ենթադրվում է, որ աղսորբցիոն ուժերը գործում են շատ կարճ հեռավորությունների վրա, ուստի անմիջապես մակերևույթին հարող հակաիոնների շերտին հաջորդող ծավալում այդ ուժերի ազդեցությունը կարելի է անտեսել: Տեսությունը հաշվի է առնում նաև այն փաստը, որ որքան էլ փոքր լինեն հակաիոնները, նրանք ունեն վերջավոր չափեր: Հետևաբար, հակաիոնների առաջին շերտը սկսվում է ոչ թե հենց մակերևույթից, այլ որոշ հեռավորության վրա (պարզության համար կարելի է հաշվել, որ այդ հեռավորությունը հավասար է հակաիոնի շառավղին): Էլեկտրաստատիկ և աղսորբցիոն ուժերի միջև հարաբերությունը որոշում է մակերևույթի մոտ իոնների խտությունը և անգամ լիցքը: Եթե հակաիոնների աղսորբման ունակությունը մեծ է, ապա աղսորբցիոն և էլեկտրաստատիկ ուժերի համատեղ ազդեցության արդյունքում աճում է իոնների խտությունն առաջին շերտում: Մինչդեռ այն դեպքում, երբ աղսորբցիոն ուժերը գերազանցում են էլեկտրաստատիկ ձգողականության ուժերը, առաջին շերտը կարող է բաղկացած լինել անգամ պոտենցիալը որոշող իոնների հետ մույնամուն իոններից:

Հեղուկում իոնների առաջին շերտի ձևավորման առանձնահատկություններն արտացոլված են դրա անվանման մեջ՝ աղսորբցիոն շերտ: Աղսորբցիոն շերտի սահմաններից դուրս սկսվում է դիֆուզիայի շերտը: Դիֆուզիայի շերտի ձևավորումը որոշվում է երկու հակադիր գործընթացներով. իոնների ձգողությամբ դեպի մակերևույթ՝ էլեկտրաստատիկ փոխազդեցության հաշվին, որի շնորհիվ դրանց

խտությունը մակերևույթի մոտ պետք է աճի, և խոնների արտահոսքով՝ բարձր խտությունների գոտուց (մակերևույթի մոտակայքում) դեպի ծավալ՝ խոնների դիֆուզման արդյունքում: Էլեկտրալիտների խտության բարձրացումը հանգեցնում է դիֆուզիոն շերտի սեղմմանը, ընդ որում՝ դիֆուզիոն շերտը սեղմելու խոնների ընդունակությունն աճում է այդ խոնների լիցքի աճին զուգընթաց: Կրկնակի էլեկտրական շերտի կառուցվածքը, համաձայն Շտերնի տեսության, ներկայացված է նկ. 2-ում: Պոտենցիալ որոշող խոնները գտնվում են պինդ (ստվերագծված մաս) և հեղուկ (չստվերագծված մաս) ֆազերի բաժանման սահմանի հարթության մեջ (OM գիծ) և առաջացնում են կրկնակի էլեկտրական շերտի ներքին, իսկ հակախոնները՝ արտաքին շրջափիրը:



**Նկ. 2. Կրկնակի էլեկտրական շերտի կառուցվածքը՝ ըստ Շտերնի**

Այն հակախոնները, որոնք պահվում են մակերևույթի մոտակայքում՝ էլեկտրաստատիկ ձգողականության ուժերի և ուրույն աղսորքման (այսինքն՝ աղսորքման ոչ կուլոնյան՝ Վան-դեր-Վաալսյան ուժե-

րի հաշվին) համատեղ ազդեցության հաշվին, առաջացնում են արտաքին շրջադիրի ադսորբցիոն մասը (Շտերնի շերտ): Այդ հակաիոնները տեղակայված են AA հարթության մեջ մակերևույթից  $\delta$  հեռավորության վրա, որը համապատասխանում է իոնների կրկնակի շառավղին: Մակերևութային լիցքի լիարժեք փոխհատուցման համար անհրաժեշտ մնացած հակաիոնները ձևավորում են կրկնակի էլեկտրական շերտի արտաքին շրջադիրի դիֆուզիոն մասը (Գուիի շերտ):

Կրկնակի էլեկտրական շերտի ձևավորումը բերում է էլեկտրական պոտենցիալի առաջացմանը, որը նվազում է հեռավորության աճին զուգընթաց, և պոտենցիալի արժեքը տարբեր կետերում համապատասխանում է  $\varphi_S$ -պոտենցիալին կամ պինդ մակերևույթի պոտենցիալին,  $\varphi_\delta$ -պոտենցիալին կամ ադսորբցիոն պոտենցիալին,  $\xi$ -պոտենցիալին կամ էլեկտրակինետիկ պոտենցիալին (նկ. 2):  $\varphi_S$ -պոտենցիալի թվային արժեքը հավասար է միավոր տարրական լիցքի տեղափոխման աշխատանքին պինդ ֆազի մակերևույթից լուծույթի ծավալի խորքը, որտեղ  $\varphi = 0$ :  $\varphi_\delta$ -պոտենցիալը որոշվում է Շտերնի շերտի և հակաիոնների դիֆուզիոն շերտի (AA գիծ) սահմանին:  $\xi$ -պոտենցիալը սահման հարթության (BB գիծ) պոտենցիալ է: Սահման հարթությունը սովորաբար անցնում է դիֆուզիոն շերտով, և դրա իոնների մի մասը մնում է դիսպերս միջավայրում: Արդյունքում դիսպերս միջավայրը և դիսպերս ֆազը ձեռք են բերում հակառակ լիցքեր: Էլեկտրակինետիկ պոտենցիալը թվայնորեն հավասար է լուծույթի ծավալում որևէ կետից ( $\varphi = 0$ ) դեպի սահման մակերևույթ միավոր լիցքի տեղափոխման աշխատանքին:

Շտերնի շերտի սահմաններում դիտվում է պոտենցիալի ուղղագիծ նվազում հեռավորության մեծացմանը զուգընթաց՝  $\varphi_S$ -ի արժեքից մինչև  $\varphi_\delta$  արժեքը, ինչպես հարթ կոնդենսատորում (նկ. 2, գիծ MN), մինչդեռ դիֆուզիոն շերտում հեռավորության աճին զուգընթաց

պոտենցիալը նվազում է  $\varphi_\delta$  արժեքից մինչև զրո՝ ըստ Բուլցմանի էքսպոնենցիալ օրենքի, երբ  $|\varphi_\delta| < 25$  մՎ (նկ. 5, գիծ NK)՝

$$\varphi_x = \varphi_\delta e^{-hx}, \quad (5)$$

որտեղ  $x$ -ը հեռավորությունն է Շտերնի շերտի սահմանից մինչև կետը հեղուկ ֆազի ներսում:

(5) հավասարման մեջ  $h$ -ին հակառակ մեծությունը  $(\frac{1}{h})$  դիֆուզիոն

զիռն շերտի արդյունավետ հաստությունն է՝ հեռավորությունը, որի վրա պոտենցիալը  $\varphi_\delta$ -ի արժեքից նվազում է  $e$  անգամ: Կրկնակի էլեկտրական շերտի հաստությունը, ինչպես ուժեղ էլեկտրալիտների իոնական մթնոլորտի Դեբայի-Հյուկելի տեսությունում, հակադարձ համեմատական է լուծույթի իոնական ուժին ( $I$ )՝

$$\frac{1}{h} = kl^{\frac{-1}{2}}: \quad (6)$$

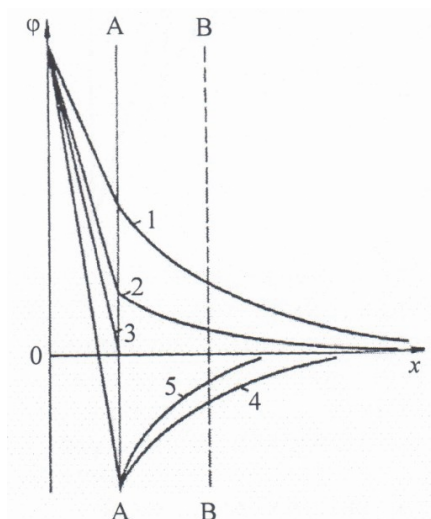
Հեղուկում էլեկտրալիտների խտության և դրանց իոնների լիցքի մեծության աճին զուգընթաց կրկնակի էլեկտրական շերտի հաստությունը նվազում է:

Այսպիսով՝ կրկնակի էլեկտրական շերտի վիճակը բնութագրվում է լիցքի խտությամբ մակերևույթին և Շտերնի շերտում (ինչպես նաև շերտի դիֆուզ մասի հաստությամբ), մակերևույթի պոտենցիալով ( $\varphi_s$ ), ադսորբման ( $\varphi_\delta$ ) և էլեկտրակինետիկ ( $\xi$ ) պոտենցիալներով:

«Ինդիֆերենտ» (անտարբեր) էլեկտրալիտները, որոնք չեն պարունակում պոտենցիալ որոշող իոններ, չեն փոխում մակերևութային լիցքի խտությունը և  $\varphi_s$ -ը: Այդ էլեկտրալիտների մակերևույթին հակառակ լիցքավորված իոնները փոխանակվում են կրկնակի շերտի արտաքին շրջալիքի հակալիոնների հետ: Այդպիսի իոնների կոնցենտրացիայի և լիցքի աճի դեպքում դրանց պարունակությունը Շտերնի շերտում աճում է, իսկ  $\varphi_\delta$ -ն՝ նվազում: Միաժամանակ լու-

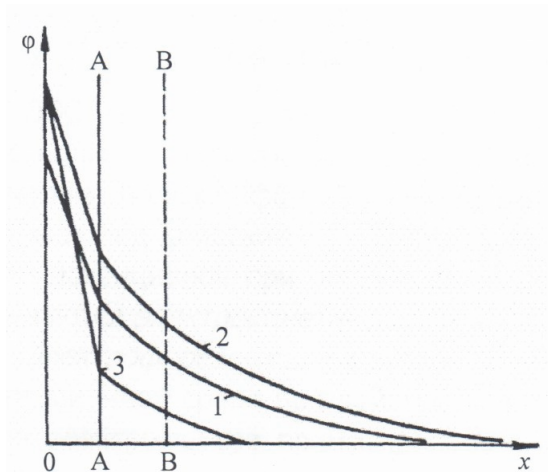
ծույթի իոնական ուժի մեծացումը բերում է կրկնակի էլեկտրական շերտի դիֆուզիոն մասի սեղմմանը: Այդ գործոնների ազդեցությունն իջեցնում է  $\xi$ -պոտենցիալը՝ սահման հարթության անփոփոխ դիրքի պայմաններում: Էլեկտրալիտի որոշակի կոնցենտրացիայի դեպքում  $\xi$ -պոտենցիալը հավասարվում է 0-ի. համակարգի այդ վիճակն անվանում են **իզոէլեկտրիկ**: Համակարգ ներմուծվող որոշ հակաիոններ ուժեղ փոխազդում են պինդ ֆազի մակերևույթի հետ ադսորբման ուժերի հաշվին, օրինակ՝ բազմավալենտ իոնները ( $Al^{3+}$ ,  $La^{3+}$ ,  $Th^{4+}$ ) կամ բարձր բևեռայնությամբ իոնները (խոշոր օրգանական իոնները): Այդպիսի իոնները կարող են ադսորբվել Շտերնի շերտում (ոչ միայն իոնափոխանակման մեխանիզմով, այլ նաև յուրահատուկ ադսորբման ուժերի), և դրանց քանակությունը կարող է աճել այնքան, որ հակաիոնների լիցքն ադսորբման շերտում կգերազանցի պոտենցիալ որոշող իոնների լիցքը: Կրկնակի էլեկտրական շերտի էլեկտրաչեզոքության պահպանման համար դիֆուզիայի շերտը ձևավորվում է պոտենցիալ որոշող իոնների լիցքին համանուն լիցք ունեցող իոններով: Այդ դեպքում  $\phi_\delta$ - և  $\xi$ -պոտենցիալները փոխում են իրենց նշանը: Այդպիսի էլեկտրալիտի կոնցենտրացիայի հետագա աճը սեղմում է շերտի դիֆուզիոն մասը, և  $\xi$ -պոտենցիալի բացարձակ արժեքը (արդեն այլ նշանով) նվազում է մինչև 0 (նկ. 3): Պոտենցիալ որոշող իոններ պարունակող ոչ «ինդիֆերենտ» էլեկտրալիտները, ի տարբերություն «ինդիֆերենտների», ազդում են մակերևույթի լիցքի և պոտենցիալի վրա: Եթե ոչ «ինդիֆերենտ» էլեկտրալիտի պոտենցիալ որոշող իոններն ունեն մակերևույթի լիցքին համանուն լիցք, ապա այդ իոնների լրացուցիչ քանակությունները կադսորբվեն պինդ մակերևույթին: Արդյունքում կաճեն մակերևութային լիցքի խտությունը և մակերևույթի պոտենցիալը ( $\phi_s$ ), հետևաբար նաև  $\phi_\delta$ - և  $\xi$ -պոտենցիալների բացարձակ արժեքները: Այդ էլեկտրալիտի կոնցենտրացիայի աճին զուգընթաց մակերևույթի լիցքը և պոտենցիալը հասնում են սահմանային արժեքների և այլևս չեն փոխվում, իսկ  $\phi_\delta$  և

$\xi$ -պոտենցիալների բացարձակ արժեքները նվազում են կրկնակի շերտի դիֆուզիայի մասի սեղմման հաշվին (նկ. 4):



**Նկ. 3. Կրկնակի էլեկտրական շերտի պոտենցիալների փոփոխությունը բազմալիցք հակաիոններով անտարբեր էլեկտրալիտի կոնցենտրացիայի աճի պայմաններում**

1. Ելակետային վիճակ, 2-5 կորերի համարները համապատասխանում են էլեկտրալիտի կոնցենտրացիայի աճին:



**Նկ. 4. Կրկնակի էլեկտրական շերտի պոտենցիալների փոփոխությունը մակերևույթին առկա իոնների լիցքին համանուն լիցք ունեցող պոտենցիալ առաջացնող իոններ պարունակող ոչ անտարբեր էլեկտրալիտի խտության աճին զուգընթաց**

1. Ելակետային վիճակ, 2. էլեկտրալիտի  $C_1$  կոնցենտրացիայի դեպքում,
3. էլեկտրալիտի  $C_2$  կոնցենտրացիայի դեպքում՝  $C_2 > C_1$  :

Եթե ոչ անտարբեր էլեկտրալիտը պարունակում է պոտենցիալ որոշող իոններ, որոնք լիցքավորված են մակերևույթին հավասար լիցքով, ապա տեղի է ունենում փոխազդեցություն համակարգում արդեն առկա և ներմուծված պոտենցիալ առաջացնող իոնների միջև, որի արդյունքում առաջանում են թույլ լուծելի կամ վատ դիսոցվող միացություններ: Դա ուղեկցվում է մակերևույթի լիցքի խտության նվազումով և  $\varphi_s$ -ի ու  $\varphi_\delta$ -ի բացարձակ արժեքների և համապատասխան  $\xi$ -պոտենցիալի նվազումով: Ներմուծվող էլեկտրալիտի որոշակի կոնցենտրացիայի դեպքում վերոհիշյալ բոլոր մեծությունները նվազում են մինչև 0, իսկ հետագա ներմուծման դեպքում (համակարգի մեջ ոչ անտարբեր էլեկտրալիտի ներմուծում) տեղի են ունենում ներմուծվող պոտենցիալ որոշող իոնների աղտորում և մակերևույթի

վերալիցքավորում: Այդ ժամանակ նոր նշանով  $\varphi_s$ - և  $\varphi_\delta$ -պոտենցիալները սկզբում մեծանում են (մինչև պոտենցիալ որոշող խոնների լիակատար աղտորբում), որից հետո  $\varphi_s$ -պոտենցիալը մնում է հաստատուն, իսկ  $\varphi_\delta$ -ը սկսում է նվազել համապատասխանաբար, նոր նշանով  $\xi$ -պոտենցիալը սկզբում մեծանում է բացարձակ արժեքով, ապա, անցնելով մաքսիմումով, նվազում է մինչև 0 կրկնակի շերտի դիֆուզիայի սեղմման հաշվին և անտարբեր էլեկտրալիտի ավելացման ժամանակ:

**ԽՄՈՐԱՄՆԿԵՐԻ ԲՋԻՋՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱՖՈՐԵՏԻԿ  
ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ,  $\xi$ -ՊՈՏԵՆՑԻԱԼԻ ԵՎ ԻՉՈՒԷԼԵԿՏՐԻԿ  
ԿԵՏԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ**

Բջիջների պրոտոպլազման, միջբջջային հեղուկը, ավիշը, արյունը բարդ կոլոիդ հետերոգեն համակարգեր են: Էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ այս համակարգերում կարող է դիտվել դիսպերս ֆազի շարժում դիսպերսիոն միջավայրի նկատմամբ: Այդ երևույթն անվանում են էլեկտրաֆորեզ: Մասնիկների շարժումն էլեկտրական դաշտում պայմանավորված է վերջիններիս մոտ մակերևութային (կամ ծավալային) լիցքի առկայությամբ և նման է խոնների շարժմանը:

Մասնիկի մոտ լիցքի առկայությունը սովորաբար պայմանավորված է լինում երկու պատճառով: Առաջին դեպքում մասնիկը կարող է պարունակել նյութեր, որոնց մոլեկուլներն ունեն դիսոցվող քիմիական խմբեր: Ջրի հետ շփվելու ժամանակ տեղի է ունենում դիսոցում, և մասնիկը ձեռք է բերում լիցք, որի նշանը հակառակ է առանձնացված խմբի լիցքի նշանին: Այդ լիցքն ունի հիմնականում սպիտակուցային ծագում, քանի որ կախված է սպիտակուցային մոլեկուլների դիսոցումից: Երկրորդ դեպքում նյութի մոլեկուլները կարող են չպա-

րունակել իոն առաջացնող խմբեր, սակայն ջրային միջավայրի հետ շփվելիս ձեռք են բերում լիցք՝ միջավայրում պարունակվող իոնների ոչ միանման աղտորբման հետևանքով: Արդյունքում մասնիկ-հեղուկ բաժանման գոտում առաջանում է հակառակ նշանի լիցքերի տարածական բաժանում՝ ձևավորվում է կրկնակի էլեկտրական շերտ:

Արտաքին էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ, որն ուղղված է բաժանման սահմանների երկայնքով, առաջանում է կրկնակի էլեկտրական շերտի հակառակ լիցքավորված շրջադիրների հարաբերական տեղաշարժ մեկը մյուսի նկատմամբ, ինչն էլ բերում է երկու ֆազերի հարաբերական շարժման: Կրկնակի շերտի այն հատվածում, որը հեղուկի տանգենցիալ շարժման ժամանակ տեղաշարժվում է պինդ մարմնի նկատմամբ, առաջանում է պոտենցիալների տարբերություն՝ **էլեկտրակինետիկ կամ  $\xi$ -պոտենցիալ**: Քանի որ կրկնակի էլեկտրական շերտի հաստությունը շատ ավելի փոքր է մասնիկի չափերից, մասնիկը շրջապատող կրկնակի էլեկտրական շերտը կարելի է դիտարկել որպես հարթ կոնդենսատոր, իսկ էլեկտրակինետիկ պոտենցիալը համարել հավասար այդպիսի կոնդենսատորի պոտենցիալին՝

$$\xi = \frac{d\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon}, \quad (7)$$

որտեղ  $d$  -ն կրկնակի էլեկտրական շերտի հաստությունն է [մ],

$\sigma$  -ն՝ լիցքի մակերևութային խտությունը [Կլ/մ<sup>2</sup>],

$\varepsilon$  -ը՝ դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը,

$\varepsilon_0$  -ն՝ էլեկտրական հաստատունը, հավասար է  $8.85 \cdot 10^{-2} \text{ Գ/մ}$ :

Բանաձև (7)-ից երևում է, որ  $\xi$ -պոտենցիալի մեծությունը որոշելու համար անհրաժեշտ է իմանալ մակերևութային լիցքի խտությունը միջավայր-մասնիկ բաժանման սահմանի վրա և կրկնակի շերտի հաստությունը:  $\xi$ -պոտենցիալի անմիջական չափումը հնարավոր չէ, և դրա մեծությունը որոշում են՝ չափելով էլեկտրական դաշտում դիսպերս ֆազ առաջացնող մասնիկների շարժման արագությունը:

Շարժվող մասնիկի վրա էլեկտրական դաշտի ( $\vec{E}$ ) կողմից ազդում է ուժ՝  $\vec{f}_{\text{էլ.}} = \sigma \vec{E}$ , որին հակազդում է ներքին շփման ուժը ( $f_{\text{սնր.2}}$ ): Վերջինս մաս հեղուկի շփվող շերտերի՝ մեկը մյուսի նկատմամբ շարժումը խոչընդոտող դիմադրության ուժն է, որը պայմանավորված է միջնուլեկուլային փոխազդեցության ուժերով: Այս ուժի մեծությունը համեմատական է հարաբերական տեղաշարժման արագության գրադիենտին՝

$$\vec{f}_{\text{սնր.2.}} = \eta \frac{d\vec{u}}{dr}, \quad (8)$$

որտեղ  $\eta$ -ն մածուցիկ շփման գործակիցն է կամ մածուցիկությունը,  $r$ -ը՝ տեղաշարժման ուղղությունը, որն ուղղահայաց է  $\vec{u}$  արագության վեկտորին:

Համաչափ շարժման պայմաններում երկու ուժերը պետք է հավասար լինեն՝

$$\vec{f}_{\text{էլ.}} = - \vec{f}_{\text{սնր.2.}},$$

այսինքն՝

$$\vec{E}\sigma = \eta \frac{\partial \vec{u}}{\partial r}: \quad (9)$$

Կարելի է ընդունել, որ կրկնակի էլեկտրական շերտում հոսքի արագությունը փոխվում է գծայնորեն հեռավորության աճին զուգընթաց, այդ դեպքում հարաբերական տեղաշարժման արագության գրադիենտի համար կարելի է գրել՝  $\frac{\partial \vec{u}}{\partial r} = \frac{u}{d}$ :

Հաշվի առնելով վերջինը՝ (9) բանաձևից կարելի է ստանալ մակերևութային լիցքի խտության բանաձևը՝

$$\sigma = \frac{\eta u}{Ed}: \quad (10)$$

Տեղադրելով (10)-ը (7)-ի մեջ՝ կստանանք Սմոլուիտովսկու բանաձևը՝

$$\xi = \frac{\eta}{\varepsilon \varepsilon_0} \cdot \frac{u}{E} : \quad (11)$$

Գծային արագության ( $u$ ) հարաբերությունը էլեկտրական դաշտի լարվածությունը ( $E$ ) անվանում են էլեկտրաֆորետիկ արագություն ( $W$ ), որի չափողականությունն է  $[մ^2/վրկ.Վ.]$ : Որպես  $\varepsilon$ -ի և  $\eta$ -ի արժեքներ կարելի է վերցնել ջրի դիէլեկտրիկ թափանցելիության և մածուցիկության արժեքները  $20^0 C$  պայմաններում՝  $\varepsilon = 81$ ,  $\eta = 10^{-3}$  Նվիկ./մ<sup>2</sup>:

Տեղադրելով այս արժեքները (11)-ի մեջ՝ կստանանք հետևյալ արտահայտությունը՝

$$\xi = \frac{10^{-3} \text{ Ն} \cdot \text{վրկ.}/մ^2}{8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Գ}/մ \cdot 81} \cdot W \approx 1,395 \cdot 10^6 \frac{\text{Ն} \cdot \text{վրկ.}}{\text{Գ} \cdot մ} \cdot W : \quad (11a)$$

Այսպիսով՝  $\xi$ -պոտենցիալի որոշումը հանգեցվում է էլեկտրաֆորետիկ արագության որոշմանը: Քանի որ  $u = \frac{S}{t}$ , իսկ  $E$  լարվածությունը կարելի է որոշել որպես էլեկտրական դաշտի պոտենցիալի գրադիենտ, այսինքն՝ լարման անկում հաղորդիչի միավոր երկարության վրա՝  $E = \frac{V}{l}$ , ապա էլեկտրաֆորետիկ արագությունը հավասար է՝

$$W = \frac{sl}{tV}, \quad (11b)$$

որտեղ  $S$ -ը մասնիկի անցած ճանապարհն է  $[մ]$ ,  
 $t$ -ն՝ ժամանակահատվածը, որի ընթացքում մասնիկն անցնում է  $S$  ճանապարհը  $[վրկ.]$ ,  
 $V$ -ն՝ լարման անկումն էլեկտրոդների միջև էլեկտրաֆորետիկ խցիկում  $[Վ]$ ,

$l$ -ը՝ հեռավորությունը էլեկտրոդների ծայրերի միջև [մ]:

Հաշվարկների համար գործնականում ավելի հարմար է օգտագործել հետևյալ բանաձևը՝

$$\xi = 1.395 \cdot 10^6 \frac{sl}{tV} : \quad (11q)$$

$$\text{Քանի որ } 1\Phi = \frac{1\Upsilon}{1\text{վ}}, \text{ իսկ } 1\text{Ն} = \frac{1\text{վ} \cdot 1\text{վ}}{\text{մ}}, \text{ ապա (11ա) բանաձևի}$$

գործակցի չափողականությունն է  $[\frac{\text{վ}^2 \cdot \text{վրկ.}}{\text{մ}^2}]$ : Բոլոր արժեքների

նշված չափողականություններով  $\xi$ -պոտենցիալի չափողականությունը (11գ) բանաձևի մեջ տեղադրելու արդյունքում ստացվում է

$$[\frac{\text{վ}^2 \cdot \text{վրկ.}}{\text{մ}^2} \cdot \text{մ}^2 / \text{վրկ.վ.}] = [\text{վ}]:$$

## ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՄԱՍ

### Անհրաժեշտ պարագաներ և սարքեր

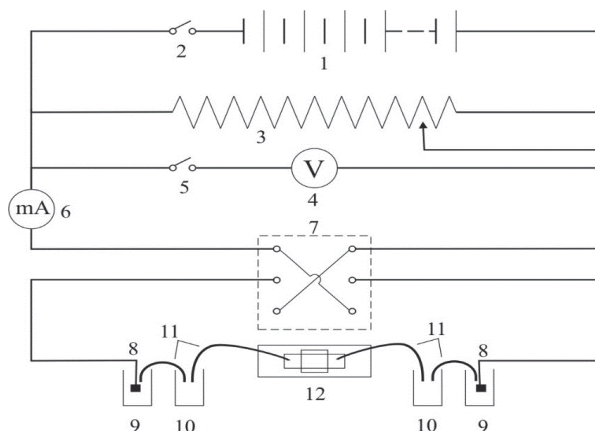
Մանրադիտակ, օբյեկտ-մանրաչափիչ, հաստատում հոսանքի աղբյուր (70 մՎ) պոտենցիոմետր, հաղորդալարեր, միկրոէլեկտրաֆորետիկ խցիկ, ապակյա ագարային կամրջակներ,  $KCl$ -ի և  $CuSO_4$ -ի հազեցած լուծույթներ, կաթոցիչներ, ապակյա բաժակներ, կիտրոնաթթվի 0,1 Մ և  $Na_2HPO_4$  0,2 Մ լուծույթներ, խմորասնկեր:

**ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ 1**  
**ԽՄՈՐԱՄՆԿԵՐԻ ԲՋԻՋՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱՖՈՐԵՏԻԿ**  
**ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ԵՎ  $\xi$ -ՊՈՏԵՆՑԻԱԼԻ ՈՐՈՇՈՒՄ**

Չոր խմորասնկերի փոքր քանակություն տեղադրել սախարոզի 8% բուֆերացված լուծույթի մեջ և խնամքով խառնել: Ստացված կախույթը թողնել 15-20 րոպե 20-22°C պայմաններում՝ խմորասնկերն ակտիվացնելու նպատակով: Սախարոզի լուծույթի բուֆերացումն իրականացնել կիտրոնաթթվային բուֆերով՝ պատրաստված ըստ Մաք-Իլվենի: Բուֆերացման համար 4.5 մլ սախարոզի լուծույթին ավելացնել 0.5 մլ բուֆերային լուծույթ: Որոշել ստացված կախույթի օպտիկական խտությունը ֆոտոէլեկտրակոորդիմետրի միջոցով,  $\lambda = 490$  նմ ալիքի երկարության դեպքում կամ գտնել այն առավելագույն ալիքի երկարությունը, որի դեպքում դիտվում է աշխատանքային լուծույթի առավելագույն օպտիկական խտությունը: Նպատակահարմար է, որ աշխատանքային կախույթի խտությունը չգերազանցի 0,4 արժեքը: Խմորասնկերի փոքր քանակություն տեղադրել սախարոզի 8% լուծույթի մեջ և չափել օպտիկական խտությունը: Եթե օպտիկական խտությունը 0.4-ից մեծ է, ապա սախարոզի 8% լուծույթով նվազեցնել, մինչև օպտիկական խտությունը լինի 0.4-0.5: Հավաքել շղթան ըստ նկ. 5-ի:

Խմորասնկերի ստացված կախույթի 1 կաթիլ տեղափոխել միկրոէլեկտրաֆորետիկ խցիկի մեջ, ծածկել ծածկապակիով և տեղադրել մանրադիտակի սեղանիկին: Եթե տեսադաշտում առկա են մեծ քանակությամբ խմորասնկերի բջիջներ, կախույթն անհրաժեշտ է մոսրացնել 8% սախարոզի լուծույթով: Էլեկտրաֆորեզի դիտումն իրականացնել որոշակի խորության վրա՝ մոտավորապես խցիկի բարձրության միջին մակարդակում: Այս մակարդակում կախույթի մասնիկները հարաբերականորեն շարժուն են: Դիտումների համար հարմար խորությունը որոշելու նպատակով մանրադիտակի օբյեկտիվը պտտտակի օգնությամբ ֆոկուսացնել սկզբում ծածկապակու,

ապա խցիկի հատակի վրա՝ երկու դեպքում էլ գրանցելով պտուտակի դիրքը: Հաստատել պտուտակը միջին դիրքում: Համոզվել, որ բաց շղթայի դեպքում բջիջների ուղղորդված շարժումը բացակայում է: Այնուհետև փակել շղթան, պտտենցիոմետրի օգնությամբ հաստատել 2-6 մԱ-ին հավասար հոսանքի ուժ: Համոզվել, որ բոլոր բջիջները սկսում են շարժվել որոշակի ուղղությամբ, և էլեկտրական հոսանքի ուղղության փոփոխության դեպքում փոխվում է նաև բջիջների շարժման ուղղությունը: Չափել խմորասնկերի բջիջների շարժման արագությունը շարժման ուղիղ և հակառակ ուղղություններով առնվազն 5 անգամ:



**Նկ. 5. Միկրոէլեկտրաֆորեզի սարքի սխեման**

1. Հաստատուն հոսանքի աղբյուր, 2, 5. բանալիներ, 3. պտտենցիոմետր, 4. վոլտմետր, 6. միլիամպերմետր, 7. կոմուտատոր, 8. պղնձե էլեկտրոդներ, 9.  $CuSO_4$ -ով լցված ապակյա բաժակներ, 10.  $KCl$ -ով լցված ապակյա բաժակներ, 11. ազարային կամրջակներ, 12. միկրոէլեկտրաֆորեզի խցիկ:

Ստացված տվյալներն անցկացնել աղյուսակի մեջ և հաշվել բջիջների շարժման արագության միջին արժեքը՝ օգտագործելով բոլոր տվյալները: Չափել հեռավորությունը էլեկտրոդների միջև, գրանցել հոսանքի ուժը և լարումը շղթայում:

Հաշվարկել էլեկտրաֆորետիկ արագությունը (11բ) բանաձևով:  
Հաշվարկել  $\xi$  -պոտենցիալի արժեքը (11ա) բանաձևով:

## **ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ 2**

### ***ԽՄՈՐԱՄՆԿԵՐԻ ԲՋԻՋՆԵՐԻ ԻՉՈՒԼԵԿՏՐԻԿ ԿԵՏԻ ՈՐՈՇՈՒՄ***

Իզոէլեկտրիկ կետը բջջի մակերևույթի ֆիզիկաքիմիական հատկությունների կարևոր բնութագրիչներից է: Կախված պոտենցիալ առաջացնող իոնների խտությունից և յուրահատուկ կերպով աղտորվող հակաիոնների լիցքից՝ էլեկտրակինետիկ պոտենցիալի արժեքը կարող է փոխվել դրականից բացասական՝ հավասարվելով 0-ի իզոէլեկտրիկ կետում: Հակաիոնների յուրահատուկ աղտորման բացակայության դեպքում իզոէլեկտրիկ կետը համընկնում է մակերևույթի 0-ական լիցքի պոտենցիալի հետ: Բնականոն վիճակում  $\xi$  -պոտենցիալի արժեքը հարաբերականորեն հաստատուն է տվյալ տեսակի բջջի համար, սակայն այն կարող է փոփոխվել վերջինիս վրա տարբեր վնասող գործոնների, մակերևութային ակտիվ նյութերի, հակաքիոտիկների և այլ գործոնների ներգործության դեպքում: Ուստի  $\xi$  -պոտենցիալի որոշակի արժեքներն օգտագործում են բջիջների կամ միաբջիջ օրգանիզմների գործառական կամ ախտաբանական վիճակի գնահատման համար:

pH-ի արժեքների լայն միջակայքում որոշելով բջիջների էլեկտրաֆորետիկ արագությունը՝ կարելի է ստանալ դրանց *իոնային սպեկտրը*: Իոնային սպեկտրը թույլ է տալիս պարզել, թե ինչով է պայմանավորված բջջի մակերևութային լիցքը՝ դիտցվող խմբերի իոնացմամբ, թե ինչ-որ իոնների աղտորման հետևանքով: Ելնելով այս տվյալներից՝ կարելի է պատկերացում կազմել բջջի մակերևույթի վիճակի մասին: **Քանի որ իզոէլեկտրիկ կետը pH-ի այն արժեքն է, որի դեպքում բջիջներն ունեն ամենափոքր լիցքը, աշխատանքի նպա-**

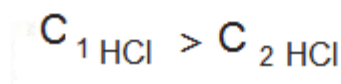
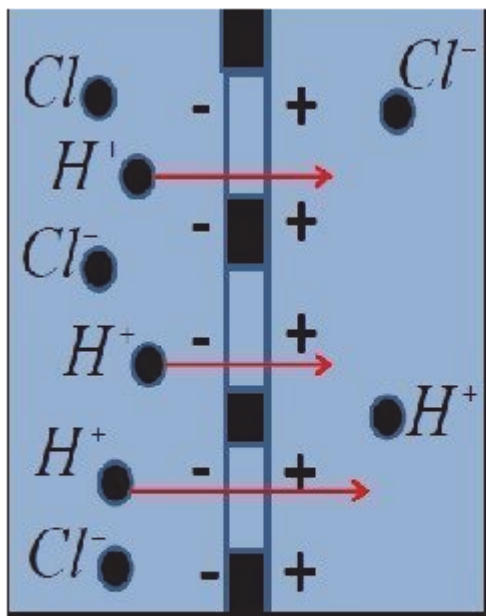
**տակն է pH-ի այն արժեքի որոշումը, որի դեպքում մասնիկները կշարժվեն էլեկտրական դաշտում ամենափոքր արագությամբ:**

**Աշխատանքային գործողությունների հաջորդականությունը.**

1. Պատրաստել 5 լուծույթ, որոնցից յուրաքանչյուրը պարունակում է 9 ծավալ (4,5 մլ) սախարոզի 8% լուծույթ և 1 ծավալ (0,5 մլ) բուֆերային լուծույթ՝ պատրաստված ըստ Մաք-Իլվենի, pH-ի հետևյալ արժեքներով՝ 2,6; 3,6; 4,4; 5,8 և 8,0:
2. Պատրաստված լուծույթների մեջ ներմուծել խմորասնկերի բջիջներ:
3. Որոշել կախությունների օպտիկական խտությունը, բերել վերջինիս արժեքը 0,3-ի:
4. Բոլոր 5 կախություններում որոշել բջիջների շարժման ամենափոքր արագությունն էլեկտրական դաշտում:

## 9. ԴԻՖԻԶԻՈՆ ԵՎ ՖԱԶԱՅԻՆ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼՆԵՐ

**Դիֆուզիոն պոտենցիալ:** Դիֆուզիոն են անվանում այն պոտենցիալը, որն առաջանում է միևնույն էլեկտրալիտը պարունակող տարբեր խտությամբ երկու լուծույթների բաժանման սահմանին կամ տարբեր էլեկտրալիտների տարբեր շարժունակությամբ օժտված իոններ պարունակող երկու լուծույթների բաժանման սահմանին, դրանով իոնների ուղղորդված շարժման հետևանքով: Դիֆուզիոն պոտենցիալի առաջացման մեխանիզմը կարելի է ներկայացնել հետևյալ սխեմայով (նկ. 1)՝



Նկ. 1. Դիֆուզիոն պոտենցիալի ձևավորում ( $C_1 > C_2$ )

Դիցուք ունենք ծակոտկեն միջնապատով երկու խցիկների բաժանված անոթ՝ աղաթթվի լուծույթներով: Ընդունենք, որ ձախ խցիկում աղաթթվի լուծույթի խտությունն ավելի մեծ է, քան աջում:  $H^+$  և  $Cl^-$  իոնները կդիֆուզվեն ձախ խցիկից աջ խցիկ՝ համաձայն խտությունների գրադիենտի: Դիֆուզման արագությունը կորոշվի լուծույթում իոնների շարժունակությամբ:  $H^+$  կատիոնների շարժունակությունը զգալիորեն գերազանցում է  $Cl^-$  իոնների շարժունակությունը, որոնք հավասար են համապատասխանաբար  $315 \text{ սմ}^2 \cdot \text{օհմ}^{-1} \cdot \text{գ} \cdot \text{էկվ}^{-1}$  և  $65,5 \text{ սմ}^2 \cdot \text{օհմ}^{-1} \cdot \text{գ} \cdot \text{էկվ}^{-1}$ ,  $H^+$  իոններն ավելի մեծ շարժունակության շնորհիվ զգալիորեն առաջ են անցնում  $Cl^-$  իոններից, և միավոր ժամանակում նոսր լուծույթ կանցնեն ավելի շատ  $H^+$ , քան  $Cl^-$  իոններ:

Քանի որ ջրածնի իոններն ունեն դրական լիցք, իսկ քլորի իոնները՝ բացասական, միջֆազային բաժանման սահմանին լիցքերի անհավասարաչափ բաշխման հետևանքով ձևավորվում է կրկնակի էլեկտրական շերտ՝ նոսր լուծույթը բաժանման սահմանի մոտ ձեռք կբերի դրական լիցք, իսկ խիտ լուծույթը՝ բացասական:

Կրկնակի էլեկտրական շերտը գոյություն կունենա այնքան ժամանակ, մինչև ամբողջ ծավալով իոնների խտության հավասարեցման հետևանքով չհավասարակշռվի դրանց ուղղորդված շարժումը: Իոնների ուղղորդված հոսքի ժամանակ առաջացած դիֆուզիոն պոտենցիալների տարբերությունը բերում է ավելի «արագ» իոնների արգելակմանը և համեմատաբար «դանդաղ» իոնների արագացմանը, քանի որ առաջացող էլեկտրական դաշտի ուժերն ուղղված են դիֆուզման ուժերին հակառակ: Դիֆուզիոն պոտենցիալների տարբերությունը հասնում է իր առավելագույն արժեքին այն պահին, երբ իոնների դիֆուզման արագությունները հավասարվում են: Դիֆուզիոն պոտենցիալների տարբերությունը հաշվարկվում է Հենդերսոնի հավասարումով՝

$$E = \frac{u^+ - v^-}{u^+ + v^-} \cdot \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_1}{a_2}, \quad (1)$$

որտեղ  $u^+$  - ն կատիոնի շարժունակությունն է,

$v^-$  - ն անիոնի շարժունակությունը,

$n$  - ը՝ իոնների վալենտականությունը,

$a_1$  - ը՝ իոնների ակտիվությունն այն տեղամասում, որտեղից տեղի է ունենում դիֆուզիան,

$a_2$  - ը՝ իոնների ակտիվությունը այն տեղամասում, ուր ուղղված է դիֆուզիան,

$R$  - ը՝ ունիվերսալ գազային հաստատունը ( $8,31 \text{ Ջ}\cdot\text{աստ}\cdot^{-1}\cdot\text{մոլ}\cdot^{-1}$ ),

$T$  - ն՝ ջերմաստիճանը (K),

$F$  - ը՝ Ֆարադեյի թիվը ( $96500 \text{ Կլ}\cdot\text{գ}\cdot\text{էկվ}\cdot^{-1}$ ):

Իոնների ակտիվություն ասելով հասկանում են դրանց ակտիվ խտությունը: Իոնների ակտիվությունը միշտ փոքր է բացարձակ խտությունից, ինչը պայմանավորված է իոնների միմյանց, ինչպես նաև այլ մոլեկուլների լիցքավորված խմբերի հետ փոխազդեցություններով: Ակտիվությունն արտահայտվում է ակտիվության գործակցի (որը որոշվում է փորձով,  $f$ ) և բացարձակ խտության ( $c$ ) արտադրյալով՝

$$a = f \cdot c: \quad (2)$$

Հենդերսոնի հավասարումից երևում է, որ անիոնի և կատիոնի հավասար շարժունակության, ինչպես նաև խտությունների տարբերության բացակայության դեպքում դիֆուզիոն պոտենցիալը հավասար է 0-ի: Եթե թաղանթը՝ օրգանական ֆազը, թափանցելի չէ անիոնների համար, ապա թաղանթում անիոնի շարժունակությունը հավասար է զրոյի ( $v^- = 0$ ): Հետևաբար նրա երկու կողմերում պոտենցիալների տարբերությունը՝ թաղանթային պոտենցիալը, ըստ բաճակի հավասար կլինի՝

$$E_{\text{թ}} = \frac{u^+ - v^-}{u^+ + v^-} \cdot \frac{RT}{nF} \ln \frac{c_1}{c_2} = \frac{u^+ - 0}{u^+ + 0} \cdot \frac{RT}{nF} \cdot \ln \frac{c_1}{c_2} = \frac{RT}{nF} \cdot \ln \frac{c_1}{c_2}, \quad (3)$$

որտեղ  $E_{\text{թ}}$  -ն թաղանթային պոտենցիալն է,

$c_1$  -ը՝ իոնների խտությունն այն լուծույթում, որտեղից տեղի է ունենում դիֆուզիան,

$c_2$  -ը՝ իոնների խտությունն այն լուծույթում, ուր ուղղված է դիֆուզիան:

Համապատասխանաբար այն թաղանթների համար, որոնք դրսևորում են ընտրողական թափանցելիություն և թափանցելի են միայն անիոնների համար ( $u^+ = 0$ ), կունենանք՝

$$E_{\text{թ}} = \frac{0 - v^-}{0 + v^-} \cdot \frac{RT}{nF} \cdot \ln \frac{c_1}{c_2} = \frac{RT}{nF} \cdot \ln \frac{c_1}{c_2} : \quad (4)$$

Այսպիսով՝ յուրահատուկ ընտրողական թափանցելիություն ունեցող թաղանթի վրա ձևավորվող թաղանթային պոտենցիալը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$E_{\text{թ}} = \pm \frac{RT}{nF} \cdot \ln \frac{c_1}{c_2} : \quad (5)$$

Համաձայն համընդհանուր պատկերացումների՝ իոնների ընտրողական թափանցելիությունը կախված է թաղանթների վրա որոշակի նշանի լիցքի առկայությունից: Վերջինս իր հերթին կախված է թաղանթի քիմիական բնույթից և այն կազմող միջեղների վրա ադսորբվող իոններից: Այդպիսի թաղանթը թափանցելի է իոնների համար այն ժամանակ և այն դեպքում, երբ նրա ծակոտիների չափերը բավականաչափ մեծ են: Հակառակ դեպքում թաղանթը թափանցելի է միայն այն իոնների համար, որոնց լիցքը հակառակ է թաղանթի լիցքին:

Թաղանթային պոտենցիալը ձգտում է իր առավելագույն մեծությամբ այն դեպքում, երբ թաղանթը բաժանում է միևնույն քիմիական կազմ, բայց տարբեր խտություն ունեցող երկու լուծույթներ, և որը

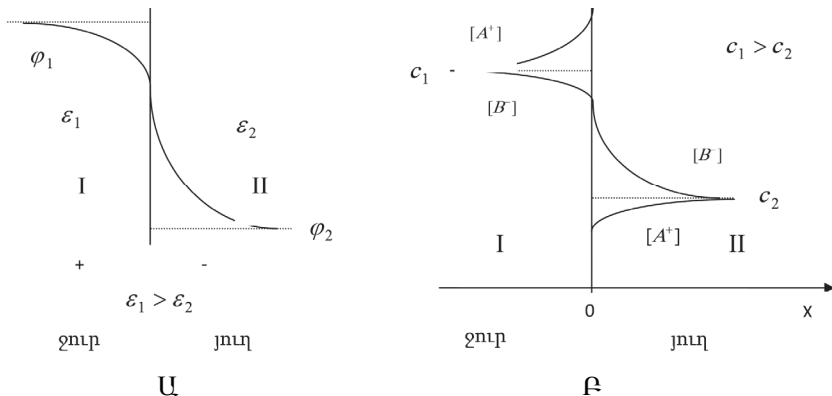
թափանցելի է իր լիցքին հակառակ նշանի լիցք ունեցող խոնների համար: Եթե թաղանթը որոշ չափով թափանցելի է սեփական լիցքին նույնանուն լիցքով խոնների համար, ապա թաղանթային պոտենցիալն ավելի ցածր կլինի իր տեսական (սահմանային) արժեքներից: Սակայն անգամ այդ դեպքում թաղանթային պոտենցիալի մեծությունն ավելի մեծ է, քան խոնների ազատ դիֆուզիայով պայմանավորված դիֆուզիոն պոտենցիալը: Ի տարբերություն դիֆուզիոն պոտենցիալի, որի մեծությունն աստիճանաբար նվազում է խտությունների հավասարեցման պատճառով, թաղանթային պոտենցիալի արժեքը կայուն է ժամանակի ընթացքում և կարող է հասնել մինչև 1 Վ և ավելի:

**Ֆազային պոտենցիալ:** Կենսաբանական համակարգերում դիֆուզիոն պոտենցիալն առավել հստակ կարող է դրսևորվել բջիջների մեխանիկական վնասման դեպքում: Վնասված տեղամասից տեղի է ունենում խոնների դիֆուզիա դեպի չվնասված տեղամաս, և առաջանում է դիֆուզիոն պոտենցիալ, որը գոմարվում է վնասված բջջի պոտենցիալի չափման ժամանակ հանգստի պոտենցիալին: Հիշատակված պոտենցիալներից բացի՝ բջջում ձևավորվում են նաև այլ պոտենցիալներ: Դրանցից են ֆազային պոտենցիալները: Ինչպես թաղանթային պոտենցիալները, դիֆուզիոն պոտենցիալների հետ նմանություն ունեն նաև ֆազային պոտենցիալները: Ֆազային պոտենցիալներ առաջանում են երկու չխառնվող ֆազերի բաժանման սահմանին, օրինակ՝ էլեկտրալիտի ջրային լուծույթի և որևէ յուղի միջև: Պոտենցիալների տարբերությունը կարող է առաջանալ կատիոնների և անիոնների ոչ ջրային ֆազում տարբեր լուծելիության դեպքում: Եթե, օրինակ, կատիոններն անիոններից լավ են լուծվում ոչ ջրային ֆազում, ապա դրանք ավելի իմտենսիվ են դիֆուզվում այդ ֆազի մեջ և լիցքավորում են վերջինս դրականորեն՝ ջրային ֆազի համեմատ:

Քանի որ բջիջների ցիտոպլազման ներկայացնում է բազմաֆազային անհամասեռ համակարգ, դրանցում ֆազերի բաժանման մակերևույթներին կարող են առաջանալ ոչ մեծ ֆազային պոտենցիալներ: Ֆազային պոտենցիալի մեծությունը որոշվում է Հենդերսոնի

հավասարումով: Ֆազերի բաժանման մակերևույթներին առաջացող պոտենցիալը կարելի է գնահատել ֆազերում՝ բաժանման սահմանին անմիջապես հարող շերտում կատիոնների և անիոնների բաշխման գործակիցների ( $\gamma$ ) միջոցով:

Ընդունենք, որ ունենք ջուր-յուղ համակարգ, և ջրում լուծված է որևէ  $A^+ B^-$  էլեկտրալիտ:  $A^+$  և  $B^-$  իոնների լիպիդների նկատմամբ տարբեր խնամակցության հետևանքով ֆազերի ծավալների միջև առաջանում է միջֆազային պոտենցիալների տարբերություն: Հեղուկներն ունեն դիէլեկտրիկ թափանցելիության տարբեր արժեքներ՝ 81 (ջուր), 2-3 (յուղ): Նկ. 2-ում ներկայացված են  $l'$  իոնների խտությունների հավասարակշռական բաշխվածությունը, և՛ էլեկտրական պոտենցիալի բաշխվածությունը երկու ֆազերի բաժանման մակերևույթի մոտակայքում, երբ անիոնների լուծելիությունը ոչ բևեռային միջավայրում (յուղ) ավելի մեծ է, քան կատիոններինը:



**Նկ. 2.** Երկու ֆազերի բաժանման մակերևույթի մոտակայքում էլեկտրական պոտենցիալի (Ա) և  $A^+$  ու  $B^-$  իոնների խտությունների (Բ) հավասարակշռական բաշխվածությունը

Քանի որ անիոնները, համաձայն ընդունված պայմանի, օժտված են ավելի մեծ լիպոֆիլ հատկությամբ, դրանց խտությունը  $X = 0$  հարթությունից (որը համապատասխանում է ֆազերի բա-

Ժամանակ սահմանին) աջ՝ օրգանական ֆազում, գերազանցում է կատիոնների խտությունը: Ուստի, օրգանական ֆազը կրում է ավելցուկային բացասական լիցք և ունի ավելի ցածր պոտենցիալ, քան ջրային ֆազը: Բաժանման սահմանից հեռու տիրույթում կատիոնների և անիոնների խտությունները հավասար են, այսինքն՝ պահպանվում է ֆազերի ծավալների էլեկտրաչեզոքության պայմանը՝  $C_{A^+} = C_{B^-}$ :

Էլեկտրական պոտենցիալը ֆազերի ծավալում հաստատուն է և ընդունում է  $\varphi_1$  (ջրային ֆազում) և  $\varphi_2$  (օրգանական ֆազում) արժեքները: Իոնների խտությունը ցածր դիէլեկտրիկ թափանցելիություն ունեցող ֆազում (յուղ) ավելի փոքր է, քան ջրային ֆազում՝  $C_1 > C_2$ : Դա պայմանավորված է նրանով, որ լիցքավորված մասնիկների անցումը բարձր դիէլեկտրիկ թափանցելիություն ունեցող ֆազից դիէլեկտրիկ թափանցելիության ցածր արժեք ունեցող ֆազ կապված է լիցքավորված մասնիկի էլեկտրաստատիկ էներգիայի բարձրացման հետ: Բաժանման մակերևույթի մոտակայքում՝ աջից և ձախից, ձևավորվում են դիֆուզիոն շերտեր, յուրաքանչյուրում կատիոնների և անիոնների խտությունները տարբեր են: Այդ շերտերում էլեկտրաչեզոքության պայմանը չի պահպանվում՝ մի ֆազում պարունակվում է բացասական լիցքերի ավելցուկ, մյուսում՝ դրական լիցքերի: Այդ (դիֆուզիոն շերտի) տիրույթում պոտենցիալը հաստատուն չէ և կախված է կոորդինատից՝ ֆազերի բաժանման սահմանից հեռավորությունից: Այսպիսով՝ ֆազերի բաժանման սահմանային շերտում պոտենցիալը փոփոխվում է ոչ թե թռիչքաձև, այլ աստիճանաբար՝ սահմանից որոշ հեռավորության վրա:

Ֆազերի ծավալների միջև էլեկտրական պոտենցիալների տարբերությունը և խտությունների բաշխումը նկարագրող բանաձևերը կարելի է ստանալ համակարգում էլեկտրաքիմիական հավասարակշռության պայմանից. հավասարակշռության ժամանակ էլեկտրաքիմիական պոտենցիալը յուրաքանչյուր իոնի համար համակար-

գի ցանկացած կետում նույնն է՝ կախված չէ  $X$ -կոորդինատից: Այսինքն՝

$$\mu_A^1 = \mu_A^2 \text{ և } \mu_B^1 = \mu_B^2,$$

հետևաբար՝

$$\mu_{0A}^1 + RT \ln c_1^A + F\varphi_1 = \mu_{0A}^2 + RT \ln c_2^A + F\varphi_2 \quad (n=+1), \quad (6)$$

$$\mu_{0B}^1 + RT \ln c_1^B - F\varphi_1 = \mu_{0B}^2 + RT \ln c_2^B - F\varphi_2, \quad (n=-1),$$

որտեղ 1 և 2 ինդեքսները վերաբերում են I և II ֆազերին, իսկ  $A$ -ն և  $B$ -ն՝  $A^+$  կատիոնին և  $B^-$  անիոնին:

Հանրահաշվական վերափոխումներից հետո հավասարումները ստանում են հետևյալ տեսքը՝

$$\begin{aligned} F\Delta\varphi &= -\Delta\mu_{0A} + RT \ln \frac{c_2^A}{c_1^A} \\ -F\Delta\varphi &= -\Delta\mu_{0B} + RT \ln \frac{c_2^B}{c_1^B} \end{aligned}, \quad (7)$$

որտեղ  $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ ,  $\Delta\mu_{0A} = \mu_{0A}^1 - \mu_{0A}^2$ :

Ֆազերի ծավալում կատիոնների և անիոնների խտությունները նույնն են՝  $c_1^A = c_1^B = c_1$  և  $c_2^A = c_2^B = c_2$ :

Լուծելով հավասարումը՝  $\frac{c_2}{c_1}$  հարաբերության կամ  $\Delta\varphi$ -ի հա-

մար կատանանք բանաձևեր, որոնք արտացոլում են ֆազերի ծավալների միջև պոտենցիալների տարբերության և իոնների բաշխման կախվածությունը ջրային և օրգանական միջավայրերում  $A^+$  և  $B^-$  իոնների ստանդարտ քիմիական պոտենցիալներից՝

$$\ln \frac{c_2}{c_1} = \frac{\Delta\mu_{0A} + \Delta\mu_{0B}}{2RT} : \quad (8)$$

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta\mu_{0B} - \Delta\mu_{0A}}{2F}$$

Այս բանաձևերում  $\Delta\mu_0$ -ն կարելի է արտահայտել բաշխման քաղաճքային գործակցով ( $\gamma$ ), որը, ըստ սահմանման, հավասար է հալվող ֆազերի անմիջապես բաժանման սահմանին առկա իոնների խտությունների հարաբերությանը՝

$$\gamma = \frac{c_0^2}{c_0^1} , \quad (9)$$

որտեղ  $c_0^1$ -ը և  $c_0^2$ -ը իոնների խտություններն են սահմանային հարթության  $x=0$  և աջ կողմերում համապատասխանաբար: Որոշ համարահաշվական վերափոխումներից հետո կստանանք՝

$$\ln \gamma_A = \frac{\Delta\mu_{0A}}{RT} \text{ և } \ln \gamma_B = \frac{\Delta\mu_{0B}}{RT} , \quad (10)$$

$$\Delta\mu_{0A} = RT \ln \gamma_A \quad \Delta\mu_{0B} = RT \ln \gamma_B , \quad (11)$$

հետևաբար՝

$$\ln \frac{c_2}{c_1} = \frac{1}{2} (\ln \gamma_A + \ln \gamma_B) \text{ կամ } \frac{c_2}{c_1} = \sqrt{\gamma_A \gamma_B} , \quad (12)$$

$$\Delta\varphi = \frac{RT \ln \gamma_A - RT \ln \gamma_B}{2F} \quad \Delta\varphi = \frac{RT}{2F} \ln \frac{\gamma_B}{\gamma_A} : \quad (13)$$

Միջֆազային պոտենցիալի թռիչքը կառաջանա միայն այն դեպքում, երբ անիոնների և կատիոնների բաշխման գործակիցները տարբեր լինեն՝  $\gamma_A \neq \gamma_B$ : Եթե  $\gamma_A = \gamma_B$ , ապա  $\Delta\varphi = 0$ :

## ՓՈՐՉԱՐԱՐԱԿԱՆ ՄԱՍ

**Անհրաժեշտ պարագաներ և սարքեր`** *KCl* -ի հազեցած լուծույթ, *KCl* -ի 0,1; 0,01; 0,001 N լուծույթներ, կրիստալիզատոր կամ Պետրիի թաս, պոտենցիոմետր, երկու կալոմելային էլեկտրոդներ, ապակյա բաժակներ, միացնող ապակյա ագարային կամրջակներ, խնձոր, ալոնի տերևներ:

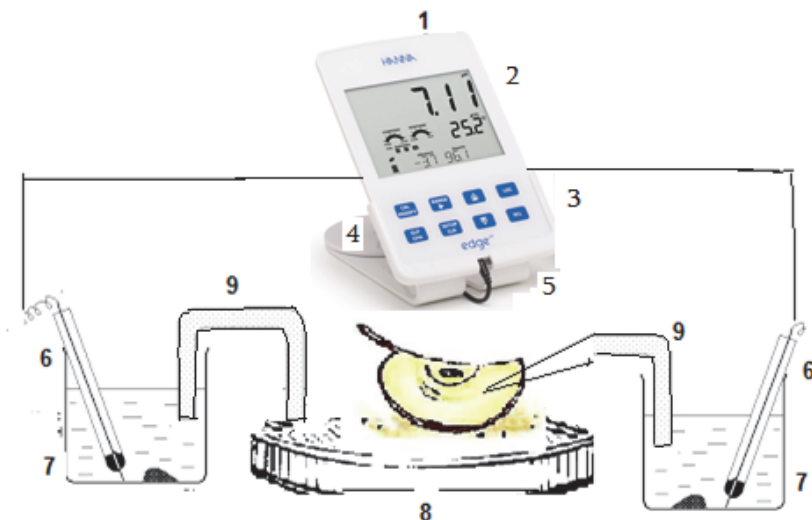
### ԲՈՒՍԱԿԱՆ ՀՅՈՒՍՎԱԾՔԻ ՖԱՉԱՅԻՆ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼԻ ԳՐԱՆՅՈՒՄԸ

**ԱՌԱՋԱԳՐԱՆՔ 1:** Հավաքել համարժեք սխեմա *ԷԼՇՈՒ*-ի որոշման համար (նկ. 3): Պետրիի թասի մեջ լցնել *KCl* -ի 0,1 N լուծույթ: Խնձորը կիսել և մի մասը տեղավորել Պետրիի թասում: Խնձորի կեղևի այն մասը, որն ընկղմված է *KCl* -ի լուծույթի մեջ, պետք է վնասված չլինի: Միացնող ագարային կամրջակներից մեկի մի ծայրն իջեցնել *KCl* -ի հազեցած լուծույթով լցված բաժակի մեջ, իսկ մյուսը մոտեցնել խնձորի պողամսին և թեթևակի սեղմել` հաստատուն հպում ապահովելու համար (նկ. 3, 9):

Երկրորդ միացնող կամրջակի մի ծայրն իջեցնել Պետրիի թասի լուծույթի մեջ, մյուսը` *KCl* -ի հազեցած լուծույթով լցված բաժակի մեջ (նկ. 3, 9): Բաժակների *KCl* -ի հազեցած լուծույթի մեջ ընկղմել նաև պոտենցիոմետրին միացված էլեկտրոդները (նկ. 3, 9): Նշել դրական և բացասական բևեռների դիրքը և չափել համակարգում պոտենցիալների տարբերությունը (ֆազային պոտենցիալը) 20-30 րոպեների ընթացքում:

Տվյալները գրանցել յուրաքանչյուր 5 րոպեի մեկ: Պետրիի թասից կաթոցիչի օգնությամբ հեռացնել *KCl* -ի 0,1 N լուծույթը և փոխարինել *KCl* -ի 0,01 N լուծույթով:

Որոշել համակարգում պոտենցիալների տարբերությունն անմիջապես լուծույթը փոխելուց հետո, ապա 5 և 10 րոպե հետո: Պետրիի թասում կրկին փոխել լուծույթը՝  $KCl$ -ի 0,01 N լուծույթը փոխարինելով  $KCl$ -ի 0,1 N լուծույթով և կրկին գրանցել պոտենցիալների տարբերությունը:



**Նկ. 3. Ֆազային պոտենցիալի չափման սխեմա**

1. Իոնոմետր, 2. չափման միջակայքեր, 3. աշխատանքային ռեժիմի ընտրության կոճակներ, 4. չափման միջակայքի ընտրության կոճակներ, 5. անջատիչ, 6. համեմատության էլեկտրոդներ, 7. միացնող բաժակներ  $KCl$ -ի հազեցած լուծույթով, 8. Պետրիի թաս, 9. միացնող ագարային կամրջակներ:

Սկրատով կամ նշտարիկով խնձորի պտղամաշկի վրա՝ այն մասում, որն ընկղմված էր  $KCl$ -ի լուծույթի մեջ, կտրվածք անել, կրկին տեղադրել Պետրիի թասի մեջ և հետևել ֆազային պոտենցիալի մեծության փոփոխությանը:

Գրանցել ֆազային պոտենցիալի արժեքներն աղյ. 1-ում: Չափումները շարունակել այնքան ժամանակ, մինչև հաստատվի պոտենցիալի մշտական մակարդակ:

Աղյուսակ 1.

Ֆազային պոտենցիալների արժեքները

| Տարբերակ                          | KCl-ի լուծույթների կոնցենտրացիան Պետրիի թասում | Պոտենցիալների արժեքները (մՎ)<br>Փորձնական |      |       |       |       |
|-----------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|------|-------|-------|-------|
|                                   |                                                | Խնձորի չվնասված պտղամաշկի դեպքում         |      |       |       |       |
|                                   |                                                | 0                                         | 5 ր. | 10 ր. | 15 ր. | 20 ր. |
| 1                                 | 0.1 Ն                                          |                                           |      |       |       |       |
| 2                                 | 0.01 Ն                                         |                                           |      |       |       |       |
| 3                                 | 0.1 Ն                                          |                                           |      |       |       |       |
| Խնձորի վնասված պտղամաշկի դեպքում  |                                                |                                           |      |       |       |       |
|                                   |                                                | 0                                         | 5 ր. | 10 ր. | 15 ր. | 20 ր. |
| 4                                 | 0.1 Ն                                          |                                           |      |       |       |       |
| 5                                 | 0.01 Ն                                         |                                           |      |       |       |       |
| 6                                 | 0.1 Ն                                          |                                           |      |       |       |       |
| Խնձորի չվնասված պտղամաշկի դեպքում |                                                |                                           |      |       |       |       |
|                                   |                                                | 0                                         | 5 ր. | 10 ր. | 15 ր. | 20 ր. |
| 1                                 | 0.01 Ն                                         |                                           |      |       |       |       |
| 2                                 | 0.001 Ն                                        |                                           |      |       |       |       |
| 3                                 | 0.01 Ն                                         |                                           |      |       |       |       |
| Խնձորի վնասված պտղամաշկի դեպքում  |                                                |                                           |      |       |       |       |
|                                   |                                                | 0                                         | 5 ր. | 10 ր. | 15 ր. | 20 ր. |
| 4                                 | 0.01 Ն                                         |                                           |      |       |       |       |
| 5                                 | 0.001 Ն                                        |                                           |      |       |       |       |
| 6                                 | 0.01 Ն                                         |                                           |      |       |       |       |

**ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ 2**  
**ՈՐՈՇԵԼ ԲՈՒՍԱԿԱՆ ՀՅՈՒՍՎԱԾՔՆԵՐՈՒՄ ՖԱԶԱՅԻՆ**  
**ՊՈՏԵՆՑԻԱԼՆԵՐԸ  $KCl$  -Ի ԼՈՒԾՈՒՅԹՆԵՐԻ ԱՅԼ**  
**ԿՈՆՑԵՆՏՐԱՑԻԱՆԵՐԻ՝  $0,01 N$  և  $0,001 N$  ԴԵՊԲՈՒՄ**

Փորձի արդյունքները ներկայացնել գրաֆիկի տեսքով: Աբսցիսների առանցքի վրա նշել ժամանակը, իսկ օրդինատների առանցքի վրա՝ պոտենցիալի արժեքները (մՎ-ով): Կորի վրա սլաքներով նշել լուծույթի փոխարինման և կտրվածքի առաջացման պահերը:

Ուսումնասիրությունների նույն շարքը կատարել ալոեի տերևների վրա երկու տարբերակով.

**առաջին տարբերակում** տերևի վրա կտրվածքը կատարել այն ժամանակ, երբ Պետրիի թասի մեջ լցված է  $KCl$  -ի  $0,01 N$  լուծույթը,

**երկրորդ տարբերակում**՝  $KCl$  -ի  $0,001 N$  լուծույթը:

Ստացված արդյունքները ևս ներկայացնել կորերի տեսքով:

## 10. ԲՈՒՅՍԵՐԻ ԿԵՆՍԱԷԼԵԿՏՐԱԳԵՆԵԶ

**Կենսաէլեկտրագենեզը**, այսինքն՝ էլեկտրական պոտենցիալներ առաջացնելու ունակությունը, հատուկ է բոլոր կենդանի օրգանիզմներին, ներառյալ բույսերին: Կենսաէլեկտրական գործընթացները ոչ միայն բջիջների կենսագործունեության արդյունք են, այլև կարևոր դերակատարություն ունեն կենդանի համակարգերի գործառույթներում: Դրանք ունեն կարգավորիչ, էներգիական, տեղեկատվական և այլ նշանակություն: Բացի դրանից՝ կենսաէլեկտրական պոտենցիալները կարող են ծառայել որպես կենդանի օրգանիզմի գործառական վիճակի բավական զգայուն ախտորոշիչ ցուցանիշ, որը, մասնավորապես, թույլ է տալիս գնահատել արտաքին միջավայրի գործոնների ազդեցությունն օրգանիզմի վրա: Կենսաէլեկտրագենեզի գործընթացներն առաջին հերթին կապված են կենսաբանական թաղանթների ընտրողական թափանցելիության հետ: Առավել ուսումնասիրված են պլազմային թաղանթի պոտենցիալները (այսինքն՝ պլազմային թաղանթով բաժանված ջրային ֆազերի էլեկտրական պոտենցիալների տարբերությունը) և դրանց հետ կապված ցուցանիշները (օրինակ՝ պոտենցիալների տարբերությունը կենդանի համակարգերի տարբեր մասերի միջև):

Կենսաբանական պոտենցիալներ կարող են առաջանալ ոչ միայն պլազմային թաղանթի, այլ նաև բջջի այլ թաղանթային կառույցների վրա, առաջին հերթին զուգակցող թաղանթների՝ քլորոպլաստների և միտոքոնդրիումների ներքին թաղանթների վրա, որոնց էլեկտրական պոտենցիալների տարբերությունը մասնակցում է ԱԵՖ-ի սինթեզին:

Պլազմային թաղանթի վրա առաջացող պոտենցիալները բաժանվում են երկու խմբի՝ ստացիոնար և դրդման պոտենցիալների: Ստացիոնար պոտենցիալների շարքին են դասվում մշտական կամ ժամանակի ընթացքում հարաբերականորեն դանդաղ փոփոխվող պոտենցիալները: Դրանցից են հանգստի պոտենցիալները՝ տրանսթաղանթային պոտենցիալների տարբերությունը պլազմային թա-

դանքի վրա հանգստի վիճակում, հանգստի պոտենցիալներով պայմանավորված մետաբոլիկ պոտենցիալները՝ պոտենցիալների տարբերությունները, որոնք պայմանավորված են բույսի տարբեր մասերում իրականացվող նյութափոխանակության ինտենսիվությունների տարբերությամբ, օրինակ՝ լուսավորված և չլուսավորված տեղամասերի միջև ֆոտոէլեկտրական ռեակցիաներով և դեմարկացիոն կամ վնասվածքի պոտենցիալները (պոտենցիալների տարբերությունը վնասված և չվնասված տեղամասերի միջև):

Դրդման պոտենցիալներն իրենցից ներկայացնում են թաղանթային պոտենցիալների արագ և դարձելի փոփոխություններ, որոնք հարուցվում են սովորաբար այս կամ այն գործոնով: Դրդման պոտենցիալների շարքին են դասվում առաջին հերթին գործողության պոտենցիալները, որոնք դիտվում են ինչպես կենդանիների (նյարդային և մկանային բջիջներում), այնպես էլ բույսերի մոտ: Բույսերի մոտ դիտվում է դրդման պոտենցիալների ևս մեկ յուրահատուկ տիպ՝ փոփոխական պոտենցիալներ, որոնք տարբերվում են գործողության պոտենցիալից մի շարք բնութագրիչներով:

Ստացիոնար բաժանումը և դրդման պոտենցիալների չի կրում բացարձակ բնույթ: Օրինակ՝ պոտենցիալների տարբերությունը տերևի լուսավորված և չլուսավորված տեղամասերի միջև միանշանակ մետաբոլիկ պոտենցիալ է, սակայն ֆոտոէլեկտրական ռեակցիան, որն առաջանում է ի պատասխան տերևի լուսավորվածության, ունի դրդման պոտենցիալի հատկանիշներ՝ առաջանում է ի պատասխան արտաքին գործոնի (լույս) և միաժամանակ ունի բարդ, տատանողական կիներտիկա: Հաշվի առնելով պոտենցիալի փոփոխությունների համեմատաբար դանդաղ բնույթը՝ ֆոտոէլեկտրական ռեակցիայի ընթացքում (մոտ մեկ րոպե և ավելի տևողությամբ) այդ պոտենցիալները կարելի է դիտարկել որպես ստացիոնար պոտենցիալներ:

Բացի ստացիոնար և դրդման պոտենցիալներից՝ կարելի է առանձնացնել կենսաէլեկտրական գործընթացների ևս մեկ խումբ՝ թաղանթային պոտենցիալի թրթռոցներ: Նման ինքնատատանողական գործընթացները ստացիոնար պոտենցիալներ չեն, քանի որ թա-

դանթային պոտենցիալն արագ և անընդհատ փոխում է իր մեծությունը, սակայն դրանք չի կարելի դասել նաև դրոման պոտենցիալների շարքին, քանի որ բացակայում են տատանումները մակածող գործոնները: Բույսերի մոտ պլազմային թաղանթի պոտենցիալի թրթռոցների օրինակ են միկրոռիթմերը՝ բուսական բջիջների թաղանթային պոտենցիալի արագ (մի քանի հերց հաճախականությամբ) և ցածր ամպլիտուդով (1 մՎ-ից փոքր) տատանումները:

### **ԲՈՒՅՍԵՐԻ ՀԱՆԳՍՏԻ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼԸ**

Ինչպես արդեն նշվել է, պլազմային թաղանթի վրա ձևավորվող ստացիոնար պոտենցիալների շարքին են դասվում մշտական կամ ժամանակի ընթացքում դանդաղ փոփոխվող պոտենցիալները, դրանցից կարևորագույն դերը պատկանում է հանգստի պոտենցիալին, այսինքն՝ հանգստի վիճակում գտնվող բջջի պլազմային թաղանթի վրա տրանսմեմբրանային պոտենցիալների տարբերությամբ: Հանգստի պոտենցիալի գոյությունն է ապահովում պոտենցիալների տարբերությունը բուսական օրգանիզմի վնասված և չվնասված տեղամասերի միջև դեմարկացիոն պոտենցիալի առաջացման ժամանակ, իսկ բույսի տարբեր ինտենսիվությամբ նյութափոխանակություն իրականացնող տեղամասերի միջև հանգստի պոտենցիալի տարբերությունն ապահովում է մետաբոլիկ պոտենցիալների առաջացումը: Հանգստի պոտենցիալի փոփոխությունները, կապված բջջում ընթացող գործընթացների հետ, կարող են հանգեցնել դանդաղ փոփոխվող ստացիոնար պոտենցիալների առաջացմանը, օրինակ՝ ֆոտոէլեկտրական ռեակցիաների արդյունքում:

Ինչպես բույսերի, կենդանիների, այնպես էլ բջիջների պլազմալեմի հանգստի պոտենցիալը ( $E_m$ ) ներառում է երկու բաղադրիչներ՝ դիֆուզիոն (պասիվ) և մետաբոլիկ (ակտիվ, պոմպային): Միաժամանակ հարկ է նշել, որ եթե կենդանիների մոտ ակտիվ բաղադրիչի

ներդրումը շատ փոքր է (2%-ից պակաս), և այն կարելի է անտեսել, ապա բույսերի մոտ այն շատ ավելի մեծ է՝ գերազանցում է 60-70%-ը:

Հանգստի պոտենցիալի դիֆուզիոն բաղադրիչը ( $E_D$ ) կարելի է հաշվարկել Գոլդմանի հավասարումով, որտեղ հաշվի են առնված պոտենցիալ որոշող իոնների ակտիվությունները ( $a_{j,k}$ ) բջջի ներքին ծավալում ( $i$ ) և բջիջը շրջապատող լուծույթում ( $o$ ):

$$E_D = \frac{RT}{zF} \ln \frac{\sum_j P_{j+} (a_{j+})_o + \sum_k P_{k-} (a_{k-})_i}{\sum_j P_{j+} (a_{j+})_i + \sum_k P_{k-} (a_{k-})_o}, \quad (1)$$

որտեղ  $R$  -ը ունիվերսալ գազային հաստատունն է,

$T$  -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը, Կ,

$F$  -ը՝ Ֆարադեյի թիվը,

$z$  -ը՝ միջինացված վալենտականությունը,

$P_{j+}$  -ն՝ պլազմայի թափանցելիությունը  $j$  կատիոնի համար,

$P_{k-}$  -ն՝ պլազմայի թափանցելիությունը  $k$  անիոնի համար:

Իրական պայմաններում սովորաբար հաշվի են առնվում միայն երեք տիպի իոնները՝  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$ , և (1) հավասարումը վերափոխվում է՝

$$E_D = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+]_o + P_{Na} [Na^+]_o + P_{Cl} [Cl^-]_i}{P_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_o}, \quad (2)$$

որտեղ  $P_K, P_{Na}, P_{cl}$  - ն համապատասխանաբար  $K^+, Cl^-, Na^+$  իոնների համար պլազմային թափանցելիություններն են:

Հաշվի առնելով այն փաստը, որ պլազմային թաղանթի թափանցելիությունը  $K^+$  իոնների համար սովորաբար էապես գերազանցում է այլ պոտենցիալ առաջացնող իոնների համար թաղանթի թափանցելիությունը, ապա հանգստի պոտենցիալի դիֆուզիոն բաղադրիչը

կարելի է ներկայացնել  $K^+$  իոնների համար Ներստի հավասարումով ( $E_D$ -ն մոտ է  $K^+$  հավասարակշռական պոտենցիալին)

$$E_D = \frac{RT}{F} \ln \frac{[K^+]_0}{[K^+]_i} : \quad (3)$$

Քանի որ  $K^+$ -ի խտությունը բջջի ներսում սովորաբար շատ ավելի բարձր է (2-3 կարգով) դրա խտությունից արտաքին միջավայրում,  $E_D$ -ն ունի բացասական արժեք:

Սակայն հարկ է նշել, որ (1)-(3) հավասարումները կարող են օգտագործվել  $E_D$ -ի մեծության գնահատման համար մետաբոլիկ բաղադրիչի ճնշվածության դեպքում (կամ երբ վերջինս կարելի է անտեսել շատ փոքր լինելու պատճառով, օրինակ՝ կենդանիների նեյրոններում): Մինչդեռ այն դեպքում, երբ հանգստի պոտենցիալում միաժամանակ առկա է նաև բավականին մեծ մետաբոլիկ բաղադրիչը,  $E_D$ -ի գնահատման համար պահանջվում է ավելի բարդ հաշվարկ:

Մինչ այժմ խոսքը պլազմալեմի պասիվ թափանցելիության մասին էր, և չէին քննարկվում դրա մեխանիզմները: Սակայն հաշվի առնելով այն փաստը, որ կենսաբանական թաղանթների հենքը կազմող լիպիդային երկշերտի թափանցելիությունը իոնների համար շատ փոքր է, պլազմալեմի բարձր թափանցելիությունը պոտենցիալ առաջացնող իոնների համար պետք է կապված լինի թաղանթի հատուկ կառույցների հետ: Այդպիսի կառույցներ են թաղանթով իոնների փոխադրումն ապահովող պասիվ փոխադրման հիմնական համակարգերը՝ իոնային անցքուղիները: Իոնային անցքուղիներն իրենցից ներկայացնում են սպիտակուցային կառույց՝ բաղկացած հետևյալ մասերից՝ թաղանթում անցքուղի ձևավորող ինտեգրալ սպիտակուցի դարպասային մեխանիզմից, ընտրողական գոխից (կարգավորիչ) և զգայական սպիտակուցից, որն ընդունում է արտաքին ազդակները: Անցքուղին թույլ է տալիս իոնների բուն շարժը թաղանթի միջով, ընտրողական ֆիլտրը պատասխանատու է իոնային անցքուղիների փո-

խաղըման բարձր յուրահատկության համար: Դարպասային մեխանիզմը և զգայական սպիտակուցն ապահովում են անցքուղու գործառության կարգավորումը, դրա վերահսկելիությունը:

**Հանգստի պոտենցիալի մետաբոլիկ բաղադրիչը՝  $E_p$ -ն,** առաջանում է էլեկտրաժին պոմպի աշխատանքի արդյունքում: Բույսերի պլազմալեմմում էլեկտրաժին պոմպի դեր է կատարում  $H^+$ -ԱԵՖազը: Բուսական օբյեկտներում հանգստի պոտենցիալի մեջ ( $E_m$ ) մետաբոլիկ բաղադրիչի ներդրումը կարող է հասնել ընդհանուր արժեքի 60-70%-ին: Դա ապահովում է բուսական բջիջներում հանգստի պոտենցիալի բարձր արժեքները (մոտավորապես -150 մՎ, որոշ ջրային բույսերի մոտ այն կարող է լինել -250 մՎ-ից ավելի բացասական):  $H^+$ -ԱԵՖազը  $E_1E_2$  տիպի ԱԵՖազ է, որի գործառույթը կապված է ֆերմենտի երկու կոնֆորմացիոն վիճակների միջև ( $E_1$  և  $E_2$ ) անցումների հետ:  $E_1$ -ը և  $E_2$ -ը տարբերվում են իրենց խնամակցությամբ ԱԵՖ-ի և  $H^+$ -ի նկատմամբ: Ակտիվ կենտրոնը տեղակայված է պլազմալեմմի ներքին կողմից, և ԱԵՖ-ի հիդրոլիզի ընթացքում անջատվող էներգիան ծախսվում է թաղանթով  $H^+$ -ի տեղափոխման համար՝ հակառակ էլեկտրաքիմիական գրադիենտի: Մեկ մոլեկուլ ԱԵՖ-ի հիդրոլիզի արդյունքում կարող է, կախված պայմաններից, տեղափոխվել ինչպես 1, այնպես էլ 2 պրոտոն: Պրոտոնների տեղափոխման ընդհանուր արագությունը կազմում է  $10^5$ - $10^6$   $H^+$  վայրկյանում, իսկ ֆերմենտի մոլեկուլների խտությունը կազմում է մոտավորապես  $10^4$  մկմ<sup>2</sup>:  $H^+$ -ԱԵՖազի բարձր խտությունը և ակտիվությունն ապահովում են պրոտոնների մեծ հոսքը թաղանթով և արդյունքում մետաբոլիկ բաղադրիչի բավականին մեծ արժեքը: Հարկ է նշել նաև, որ բացի բարձր էլեկտրական գրադիենտից՝  $H^+$ -ԱԵՖազը պլազմալեմմի վրա ստեղծում է պրոտոնների զգալի քիմիական գրադիենտ, որն էական դերակատարություն ունի երկրորդային տրանսպորտում թաղանթի վրա:

**Հանգստի պոտենցիալի դիֆուզային և մետաբոլիկ բաղադրիչների փոխազդեցությունը:** Հանգստի պոտենցիալի տարբեր բնույթ ունեցող երկու բաղադրիչների գոյությունը կարևոր է դարձնում դրանց փոխազդեցության հարցը: Երկու բաղադրիչների փոխազդեցությունը բավականին բարդ գործընթաց է: Այսպես, օրինակ,  $H^+$ -ԱԵՖազի գործառույթի հաշվին (այսինքն՝ մետաբոլիկ բաղադրիչի հաշվին) թաղանթի վրա ստեղծված բարձր էլեկտրական գրադիենտը նպաստում է  $K^+$  իոնների մուտքին բջիջ՝ դրանով իսկ բարձրացնելով  $[K^+]_i$ -ը և իջեցնելով  $[K^+]_o$ -ը, այսինքն՝ մեծացնելով  $E_D$ -ի բացարձակ արժեքը: Մյուս կողմից՝ պրոտոնային պոմպով ստեղծվող  $H^+$  գրադիենտները նույնպես կարող են պոտենցիալ առաջացնող իոնների հետ սիմպորտի կամ անտիպորտի միջոցով ազդել դրանց բաշխման վրա, հետևաբար փոխել հանգստի պոտենցիալի դիֆուզիոն բաղադրիչը:

Համաձայն Հոջկինսի-Հաքսլիի հավասարումների՝ ցույց է տրվել, որ  $E_m$ -ի փոփոխությունը ֆունկցիա է թաղանթով անցնող հոսանքների գումարից՝

$$\frac{dE_m}{dt} = \frac{1}{c} \sum i_j, \quad (4)$$

որտեղ  $c$ -ն թաղանթի տեսակարար ունակությունն է,  $i_j$ -ն՝ գործողության պոտենցիալի ձևավորմանը մասնակցող հոսանքները (սովորաբար ընդունվում է, որ դրանք  $K^+$  և  $Na^+$  հոսանքներն են, բույսերի համար նպատակահարմար է դիտարկել նաև  $Cl^-$  հոսանքները):

Հոսանքի մեծությունը նկարագրվում է հետևյալ հավասարումով՝

$$i_j = g_j (E_j - E_m), \quad (5)$$

որտեղ  $\mathcal{G}_j$  - ն տեսակարար հաղորդականությունն է  $j$  խոնի համար,  $E_j$  -ն՝ դրա հավասարակշռային պոտենցիալը, որը հաշվարկվում է Ներնստի հավասարումով ( $K^+$  խոների համար՝ (3) հավասարումով):

Եթե ներկայացնենք պրոտոնային պոմպը որպես հոսանքի աղբյուր, ապա  $H^+$  - ԱԵՖագով հոսանքը ( $i_{Pu}$ ) կարելի է նկարագրել (5) հավասարմանը մոտ հավասարումով՝

$$i_{Pu} = g_{Pu}(E_{Pu} - E_m), \quad (6)$$

որտեղ  $\mathcal{G}_{Pu}$  -ն պրոտոնային պոմպի տեսակարար հաղորդականությունն է,  $E_{Pu}$  -ն՝ պրոտոնային պոմպի էլեկտրաշարժիչ ուժը (ԷԼՇՈՒ)՝

$$E_{Pu} = \frac{\Delta G_{\text{ԱԵՖ}}}{nF} - \frac{RT}{F} \ln \frac{[H^+]_0}{[H^+]_i}, \quad (7)$$

որտեղ  $\Delta G_{\text{ԱԵՖ}}$  -ն ԱԵՖ-ի հիդրոլիզի էներգիան է ( $\sim 50$  ԿՋ/մոլ),  $n$  -ը՝ պրոտոնների թիվը, որոնք տեղափոխվում են 1 ԱԵՖ-ի հիդրոլիզի ժամանակ (ընդունենք  $n$ -ը հավասար 1-ի):

Տեղադրելով (4)-ի մեջ (5)-ը  $Na^+$ ,  $Cl^-$  և  $K^+$  խոնների համար և (6)-ը հավասարեցնելով (4) գրոյի (արժեքների հաստատունության պայմաններ՝  $E_m$  -ը չպետք է փոխվի)՝ հեշտությամբ կարելի է արտահայտել  $E_m$  -ը՝

$$E_m = \frac{g_{Pu}E_{Pu} + g_K E_K + g_{Cl} E_{Cl} + g_{Na} E_{Na}}{g_{Pu} + g_K + g_{Cl} + g_{Na}}, \quad (8)$$

հավասարումը թույլ է տալիս հաշվի առնել մետաբոլիկ և դիֆուզիոն բաղադրիչների ներդրումը հաշվեկշռային պոտենցիալում: Հավասարումը մեկ այլ տեսքով գրելու դեպքում պոտենցիալի երկու բաղադրիչների ներդրումներն ավելի հստակ ձևով են դրսևորվում՝

$$E_m = \frac{g_{Pu} E_{Pu}}{g_{Pu} + g_K + g_{Cl} + g_{Na}} + \frac{g_K E_K + g_{Cl} E_{Cl} + g_{Na} E_{Na}}{g_{Pu} + g_K + g_{Cl} + g_{Na}} = E_p + E_D, \quad (9)$$

որտեղ  $E_p$ -ն և  $E_D$ -ն մետաբոլիկ և դիֆուզային պոտենցիալների մեծություններն են այդ երկու բաղադրիչների միաժամանակ առկայության դեպքում:

## **ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՄԱՍ**

**Անհրաժեշտ պարագաներ և սարքեր`** բարձրակարգ բույսի ծիլեր, մակրո-էլեկտրոդներ, պոտենցիոմետր, ներդիր բույսի համար,  $KCl$ -ի 0.1, 1, 10 և 100 մՄ կոնցենտրացիայով լուծույթներ, ներարկիչ, ստանդարտ լուծույթներ` 1 մՄ  $KCl$ , 0.5 մՄ  $CaCl_2$ , 0.1 մՄ  $NaCl$  :

## **ԲԱՐՁՐԱԿԱՐԳ ԲՈՒՅՍԵՐԻ ԿԵՆՍԱԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ ԱՐՏԱԲԶՁԱՅԻՆ ԳՐԱՆՑՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ**

Արտաբջջային գրանցման եղանակը լայնորեն կիրառվում է բարձրակարգ բույսերում կենսաէլեկտրագեներգի ուսումնասիրության ժամանակ: Այս եղանակը թույլ է տալիս որոշել մակերևութային պոտենցիալների տարբերությունը բույսի երկու տեղամասերի միջև, որը կարող է պայմանավորված լինել նյութափոխանակության ինտենսիվության տարբերությունով, հետագոտվող գոտիներում բջիջների պլազմալեմի տարբեր վիճակով և այլ հանգամանքներով: Մակերևութային պոտենցիալների տարբերության որոշումը հետաքրքրություն է ներկայացնում առաջին հերթին այն պատճառով, որ նման պոտեն-

ցիալները սերտորեն կապված են բուսական բջիջների պլազմալեմի հանգստի պոտենցիալի հետ: Մեկ բջջի սահմաններում մակերևութային պոտենցիալների տարբերությունից հանգստի պոտենցիալների տարբերությանն անցնելու համար օգտագործում են հետևյալ բանաձևը՝

$$\Delta U = (E_m^1 - E_m^2) \frac{r_i}{r_i + r_0}, \quad (10)$$

որտեղ  $E_m^1$ -ը և  $E_m^2$ -ը հանգստի պոտենցիալներն են 1 և 2 տեղամասերում,

$r_i$ -ը և  $r_o$ -ը՝ ներբջջային և արտաբջջային միջավայրերի դիմադրությունները երկարության (էլեկտրոդների միջև հեռավորություն) մեկ միավորի հաշվարկով: Մեկ բջջի համար  $r_i$ -ը հավասար կլինի ցիտոպլազմայի դիմադրությանը ( $r_c$ ):

Բարձրակարգ բույսերի բջիջների չափսերը բավականին փոքր են, ուստի միևնույն բջջի տարբեր տեղամասերում պոտենցիալի միաժամանակյա չափումը բավականին բարդ է և ոչ միշտ նպատակահարմար: Բացի դրանից, հաշվի առնելով այն փաստը, որ բուսական բջիջները միավորված են ամբողջական փոխադրող համակարգում՝ սիմպլաստում, կապը բույսի տարբեր տեղամասերում մակերևութային պոտենցիալների տարբերության և հանգստի պոտենցիալների տարբերության միջև կարելի է որոշել ոչ միայն մեկ բջջի սահմաններում, այլ նաև ամբողջ հյուսվածքի (սիմպլաստի) համար: Այդ նպատակով (10) բանաձևում պետք է հաշվի առնել, որ  $r_i = r_c + r_{pl}$ ,

որտեղ  $r_{pl}$ -ը պլազմադեմների դիմադրությունն է երկարության (էլեկտրոդների միջև հեռավորության) մեկ միավորի հաշվարկով: Արտաբջջային գրանցման եղանակը թույլ չի տալիս հանգստի պոտենցիալի անմիջական չափումը: Սակայն եթե էլեկտրոդներից մեկը (համեմատության էլեկտրոդը) գտնվում է բույսի հաստատուն

հանգստի պոտենցիալով տեղամասի, օրինակ՝ արմատի վրա, ապա այս եղանակը կարելի է օգտագործել տարբեր գործոններից՝ արտաքին միջավայրում իոնների խտությունից,  $H^+$ -ԱԵՖազի արգելակիչի (ինհիբիտորի) ազդեցությունից, իոնային անցքուղիների արգելակիչների ազդեցությունից, լուսավորվածությունից և այլ գործոններից հանգստի պոտենցիալի կախվածությունն ուսումնասիրելու համար:

**ԱՌԱՋԱԴՐԱՆՔ**  
**ԲԱՐՉՐԱԿԱՐԳ ԲՈՒՅՍԻ ԾԻԼԵՐԻ ՀԱՆԳՍՏԻ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼԻ ՎՐԱ**  
**ԿԱԼԻՈՒՄԻ ԻՈՆՆԵՐԻ ՏԱՐԲԵՐ ԿՈՆՅԵՆՏՐԱՅԻՆՆԵՐԻ**  
**ԱՉԳԵՅՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Գործողությունների հաջորդականությունը

1. Հավաքել շղթան ըստ նկարի:
2. Պատրաստել 10-ական մլ 0.1 մՄ, 1 մՄ, 10 մՄ և 100 մՄ կալիումի քլորիդի լուծույթներ:
3. Բույսի ծիլի տերևի որևէ տեղամաս մաքրել վերնամաշկից: Բույսը տեղադրել ներդիրում այնպես, որ արմատը պետք է տեղավորվի ստանդարտ լուծույթով լցված մեծ քասի մեջ (տե՛ս նկարում (1)), իսկ տերևը տեղավորվի Պետրիի փոքր քասում  $KCl$ -ի լուծույթում (տե՛ս նկարում (2)):
4. Ներդիրին ամրացված փոքր քասիկում լցնել 10 մլ  $KCl$ -ի համապատասխան լուծույթ: Կալոմելային էլեկտրոդներից մեկը հպել Պետրիի մեծ քասում (տե՛ս նկարում (1)) տեղադրված բույսի արմատներին ստանդարտ լուծույթի մեջ, իսկ մյուսը՝ տերևներին  $KCl$ -ի համապատասխան լուծույթում փոքր քասում:
5. Գրանցել հանգստի պոտենցիալն այնքան ժամանակն մինչև կհաստատվի կայուն հանգստի պոտենցիալ:
6. Հաջորդաբար մեծացնել ներդիրի փոքր քասիկում գտնվող  $KCl$  լուծույթի խտությունը՝ փոխարինելով 0.1մՄ  $KCl$  լուծույթը 1 մՄ, 10 մՄ և 100 մՄ խտությամբ լուծույթներով: Յուրաքանչյուր փո-

փոխությունից հետո գրանցել պոտենցիալի արժեքները՝ մինչև պոտենցիալի կայունացումը:

7. Կառուցել հանգստի պոտենցիալի կախվածության կորը ներդիրի Պետրիի թասիկում (1) գտնվող  $KCl$  լուծույթի կոնցենտրացիայից:



**Նկ. Հանգստի պոտենցիալի չափման սխեման**

1. Պետրիի մեծ թաս, 2. Պետրիի փոքր թաս, 3. արմատներ, 4. վերնամաշկից զուրկ տերև:

## ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Антонов В.Ф. и др. Биофизика. М.: Гуман. издат. центр —Владос, 2002.
2. Владимиров Ю.А. Лекции по медицинской биофизике. Учебное пособие, 2007, Академкнига, 432 с.
3. Общая химия (Биофизическая химия. Химия биогенных элементов) Под ред. Ю. А. Ершова. М.: ВШ, 2000.
4. Полторак О.М. Химические и биохимические механизмы обоняния и усиления первичных запаховых сигналов // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 1. С. 13-19.
5. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика. М.: ВШ, 1996.
6. Рубин А. Б. Лекции по биофизике. М.: Изд-во Московского ун-та, 1994.
7. Рубин А. Б. Биофизика. Т.1, 2. М.: Книжный дом —Университет, 1999, 2002.
8. Скулачев В.П. Эволюция биологических механизмов запасаения энергии // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 5. С. 11-19.
9. Скулачев В.П. Законы биоэнергетики // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 1. С. 9-14.
10. Тихонов А.Н. Молекулярные преобразователи энергии в живой клетке // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 7. С. 10-17.
11. Тихонов А.Н. Трансформация энергии в хлоропластах – энергопреобразующих органеллах растительной клетки // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 4. С. 24-32.

**ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ**

**Պ. Հ. ՎԱՐԴԵՎԱՆՅԱՆ, Ա. Վ. ՆԵՐԿԱՐԱՐՅԱՆ,  
Մ. Ա. ՇԱՀԻՆՅԱՆ, Մ. Ս. ՄԻՔԱԵԼՅԱՆ**

**ԿԵՆՍԱՖԻԶԻԿԱՅԻ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐ  
ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԻ ՁԵՌՆԱՐԿ**

**ՄԱՍ 2**

*(Ուսումնամեթոդական ձեռնարկ)*

Համակարգչային ձևավորումը՝ Կ. Չալաբյանի  
Կազմի ձևավորումը՝ Ա. Պատվականյանի  
Հրատ. սրբագրումը՝ Հ. Ասլանյանի

Տպագրված է «Քոփի փրինթ» ՍՊԸ-ում:  
ք. Երևան, Խորենացի 4-րդ նրբ., 69 տուն

Ստորագրված է տպագրության՝ 29.03.2019:  
Չափսը՝ 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>: Տպ. մասնուլը՝ 9.125:  
Տպաքանակը՝ 100:

ԵՊՀ հրատարակչություն  
ք. Երևան, 0025, Ալեք Մանուկյան 1  
[www.publishing.am](http://www.publishing.am)

