

## ԳԼՈՒԽ 1. ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՀԱՍԿԱՅՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

### 1. ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ԿԻՆԵՏԻԿ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ, ՆՐԱ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԴՐՈՒՑԹՆԵՐԸ: ՄԻՋՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ՓՈՒՍԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ, ՎԱՆԴԵՐՎԱԼՄՅԱՆ ՓՈՒՍԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՈՒԺԵՐ

(Յու. Բաբայան)

1. Մեզ շրջապատող նյութական աշխարհն ունի ընդհատ (դիսկրետ) կառուցվածք (կազմված փոքրագույն մասնիկներից) և կարելի է բաժանել անկենդան և կենդանի բնության: Անկենդան բնության բաղկացուցիչ մասերը կազմված են փոքրագույն մասնիկներից (քվարք, ստոմ, մոլեկուլ), որոնք խստորեն ենթարկվում են ֆիզիկայի օրենքներին: Կենդանի բնության տարրերը, ըստ համակարգի բարդեցման (ստորակարգություն), բջիջ, հյուսվածք, օրգան, օրգանների համակարգ, օրգանիզմ դասակարգումն են: Կենդանի բնության թվարկված համակարգերի համար դիտվում են որոշակի երևույթներ, որոնք ներկայումս անհնար է բացատրել ժամանակակից գիտության շրջանակներում: Օրինակ՝ ինֆորմացիայի ստացման, պահպանման և հաղորդման սկզբունքները մակրոմոլեկուլների, օրգանների կամ օրգանիզմների միջև, ախտաբանական պրոցեսների առաջացման մոլեկուլային մեխանիզմները և այլն: Բժշկական ֆիզիկայի հիմնական խնդիրն է պարզաբանել կենսական կարևոր մոլեկուլների, վերամոլեկուլային գոյացումների կառուցվածքը և հնարավոր կառուցվածքային փոփոխությունները տարբեր ախտաբանական պրոցեսների ընթացքում, պարզել կենդանի օրգանիզմում դրանց կողմից իրականացվող ֆունկցիայի և կառուցվածքի փոխկապակցվածությունը և հնարավոր կառուցվածքային փոփոխությունները տարբեր ախտաբանական պրոցեսների դեպքում:

Կենսապոլիմերները, որոնցից կազմված են բոլոր կենդանի օրգանիզմները, բջիջները և այլն, հիմնականում կազմված են ազոտից, ածխածնից, ջրածնից, թթվածնից, ֆոսֆորից և ծծումբից: Օրգանիզմների կենսագործունեության պրոցեսում մեծ դեր ունեն  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , իոնները և քիչ քանակությամբ՝ մյուս իոնները: Մարդու օրգանիզմը պարունակում է՝  $\text{H}^+$  60%,  $\text{O}^-$  26%,  $\text{C}^-$  11%,  $\text{N}^-$  2,5%,  $\text{Ca}^+$  0,2%,  $\text{P}^-$  0,13%,  $\text{S}^-$  0,13%,  $\text{Na}^-$  0,08%,  $\text{Cl}^-$  0,03%,  $\text{Mg}^-$  0,01%: Մյուս էլեմենտների պարունակությունը քիչ է 0,01%-ից: Կենդանի համակարգերը ունեն հետևյալ մոլեկուլային կազմը՝ սպիտակուց, նուկլեինաթթու, ածխաջուր, լիպիդ, վիտամին, հորմոն և կոֆակտոր: Սպիտակուցները հիմնականում բաղկացած են 20 տիպի ամինաթթվային մնացորդներից, իսկ նուկլեինաթթուները՝ 5 տիպի նուկլեոտիդներից:

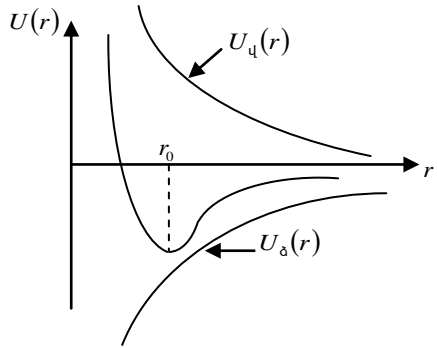
2. Նյութը կազմող չեզոք մասնիկների (ատոմ, մոլեկուլ) միջև գործում են թույլ, ոչ վալենտային փոխազդեցության ուժեր, որոնք ձգողական և վանողական բնույթի են: Մասնիկների մեծ հեռավորությունների դեպքում մոլեկուլները ձգում են, իսկ փոքր հեռավորությունների դեպքում՝ (երբ դրանց միջև հեռավորությունը մոլեկուլի չափ կարգի է) վանում:

Փոխազդեցության  $U(r)$  պոտենցիալ էներգիայի կախումը դրանց միջև  $r$  հեռավորությունից պատկերված է նկար 1.1-ում:

Ընդհանուր դեպքում փոխազդեցության էներգիան որոշվում է ձգողական և վանողական էներգիաների գումարով.

$$U(r) = U_q(r) + U_d(r) \quad (1.1.)$$

$U(r)$  ֆունկցիայի մինիմումը համապատասխանում է  $r = r_0$



Նկ. 1.1.

և տալիս է համապատասխանում է  $r = r_0$  միջմոլեկուլային հեռավորությանը, որը ցույց է տալիս մոլեկուլների հավասարակշիռ հեռավորությունը:

Մոլեկուլների հավասարակշիռ հեռավորությունը որոշվում է  $U'(r) = 0$  պայմանից:

Իմանալով  $U(r)$  ֆունկցիան՝ կարելի է որոշել մոլեկուլների միջև գործող փոխազդեցության ուժը (1. 2.) բանաձևով:

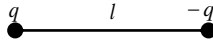
$$F(r) = -\frac{dU(r)}{dr} \quad (1. 2.)$$

Կամ իմանալով  $F(r)$  ֆունկցիան՝ կարելի է որոշել մոլեկուլների փոխազդեցության էներգիան  $U(r) = -\int F(r)dr$  բանաձևով:

Մոլեկուլի (ատոմի) կազմության մեջ մտնում են դրական և բացասական լիցքավորված տարրական մասնիկներ (օրինակ՝ էլեկտրոն, պրոտոն): Կախված մոլեկուլում էլեկտրական լիցքի բաշխման բնույթից՝ բոլոր մոլեկուլները բաժանվում են բևեռային և ոչ բևեռային մոլեկուլների:

Բևեռային կոչվում են այն մոլեկուլները, որոնց դրական և բացասական լիցքերի բաշխման կենտրոնները չեն համընկնում: Ոչ բևեռային կոչվում են այն մոլեկուլները, որոնցում դրական և բացասական լիցքերի բաշխման կենտրոնները համընկնում են:

Մոլեկուլներում լիցքի բաշխումը բնութագրվում է նրա բևեռացվելիության աստիճանով, որը որոշվում է դիպոլ մոմենտով: Եթե սխեմատիկորեն պատկերենք չեզոք բևեռային մոլեկուլը, ապա այն կներկայացնի մոդուլով հավասար, իրարից որոշ  $l$  հեռավորության վրա գտնվող դրական և բացասական  $q$  լիցքերից բաղկացած համակարգ (նկար 1.2.):



Նկ. 1.2.

Այդպիսի համակարգերը բնութագրվում են *դիպոլ մոմենտ* մեծությամբ: Համաձայն սահմանման՝  $\mu$  դիպոլ մոմենտը որոշվում է  $\mu = |q|l$  բանաձևով:

**Մոլեկուլների միջև գործող փոխազդեցության ուժերը:** Քանի որ մոլեկուլները կարող են լիցքավորված լինել կամ պարունակել լիցքավորված խմբեր, ապա մոլեկուլների միջև կարող են գործել էլեկտրաստատիկ փոխազդեցության ուժեր, որոնց փոխազդեցության էներգիան որոշվում է

$$U_t = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{\epsilon r} \quad (1.3.)$$

բանաձևով, որտեղ  $r$ -ը  $q_1$  և  $q_2$  լիցքերով լիցքավորված խմբերի հեռավորությունն է,  $\epsilon$ -ը՝ միջավայրի դիէլեկտրական թափանցելիությունը,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Կլ<sup>2</sup>/Նմ<sup>2</sup> (Ֆ/մ) էլեկտրական հաստատունը:

Չեզոք pH-ի մոտակայքում բացասական և լիցքավորված պեպտիդներից ասպարազինաթթուն և գլյուտամինաթթուն, նուկլեինաթթուների ֆոսֆորային խմբերը: Դրական են լիցքավորված լիզինը, արգինինը, հիստիդինի իմիդազոլային օղակը և այլն:

Լիցքավորված խմբերի էլեկտրաստատիկ փոխազդեցության էներգիան կախված է լիցքավորված խմբերի միկրոշրջապատից, որը որոշվում է  $\epsilon$ -ի միջոցով: Օրինակ՝ ջրի հետ շփվող սպիտակուցի մակերևույթի ( $\epsilon \approx 80$ ) էներգիան ավելի փոքր է, քան սպիտակուցային գլոբուլայի ներսում ( $\epsilon \approx 2 \div 5$ ): Դրանից կախված՝ էլեկտրաստատիկ փոխազդեցության էներգիան կազմում է -40... -400 Կջ/մոլ:

Կենսահամակարգերում առանձնապես մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում չեզոք մասնիկների միջև համեմատաբար մեծ հեռավորությունների վրա գործող փոխազդեցության ուժերը, որոնք կոչվում են *վանդերվալսյան* ուժեր: Այդ ուժերը մեծ դեր ունեն հեղուկ և պինդ ազրեգատային վիճակների կազմավորման, կենսապոլիմերների կայու-

նացման գործում և այլն: Վանդերվալսյան ուժերը ձգողական բնույթի են և ունեն գործողության փոքր շառավիղ:

Կախված այն հանգամանքից՝ փոխազդող մոլեկուլները օժտված են հաստատուն դիպոլ մոմենտով, թե՞ դրանք դիպոլ մոմենտ են ձեռք բերում էլեկտրոնային թաղանթների բևեռացված լինելու հետևանքով, տարբերում են վանդերվալսյան ուժերի հետևյալ տիպերը.

**ա) Դիսպերսիոն փոխազդեցություն**

Չեզոք, ոչ բևեռային խմբերի միջև դիսպոլ ձգողության փոխազդեցության ուժերը կոչվում են դիսպերսիոն: Դիսպերսիոն փոխազդեցությունը պայմանավորված է էլեկտրոնային ամպի օակնթարթային օտեղաշարժով առաջացած դիպոլների ձգողությամբ: Դիսպերսիոն փոխազդեցության էներգիան որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$U_{\text{դիս.}} = -\frac{3}{2} \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} \cdot \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\epsilon r^6} \quad (1.4.)$$

որտեղ  $I_1$ -ը և  $I_2$ -ը փոխազդող խմբերի իոնիզացման պոտենցիալն են,  $\alpha_1$ -ը և  $\alpha_2$ -ը խմբերի բևեռացվելիությունը: Դիսպերսիոն փոխազդեցության էներգիան կազմում է  $-4 \dots -40$  Կջ/մոլ:

Պարզաբանենք բևեռացվելիության ֆիզիկական իմաստը: Ենթադրենք չեզոք, ոչ բևեռային մոլեկուլը գտնվում է  $\vec{E}$  լարվածությամբ արտաքին էլեկտրական դաշտում: Դաշտի ազդեցությամբ կատարվում է մոլեկուլի լիցքի վերաբաշխում, որի հետևանքով մոլեկուլը բևեռանում է՝ ձեռք բերելով դիպոլ մոմենտ: Փորձերը ցույց են տալիս, որ ոչ մեծ լարվածությամբ էլեկտրական դաշտերի համար մոլեկուլի ձեռք բերած դիպոլ մոմենտը ուղիղ համեմատական է դաշտի  $E$  լարվածության մեծությանը՝  $\mu \sim E$  կամ  $\mu = \alpha E$ : Համեմատականության  $\alpha$  գործակիցը կոչվում է բևեռացվելիություն:

**բ) Դիպոլ-դիպոլ փոխազդեցություն (օրինատացիոն)**

Չեզոք, բևեռային խմբերի միջև գործում են ձգողության ուժեր, որոնք պայմանավորված են հաստատուն դիպոլների փոխազդեցությամբ և կոչվում են դիպոլ-դիպոլային փոխազդեցություն: Դրանց փոխազդեցության էներգիան որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$U_{\text{դի.}} = -\frac{1}{6\pi\epsilon_0 kT} \cdot \frac{\mu_1^2 \mu_2^2}{\epsilon r^6} \quad (1.5.)$$

որտեղ  $T$ -ն բացարձակ ջերմաստիճանն է,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Ջ/Կ-ը՝ Բոլցմանի հաստատունը,  $\mu_1$ -ը և  $\mu_2$ -ը խմբերի հաստատուն դիպոլ մոմենտներն են:

զ) **Դիպոլ-մակաձված դիպոլ փոխազդեցություն (հնդուկցիոն)**

Հաստատուն դիպոլը կարող է մակաձել դիպոլ մոմենտ հարևան, ոչ բևեռային մոլեկուլում, որի հետևանքով առաջանում է դիպոլ-մակաձված դիպոլ փոխազդեցություն: Այդ փոխազդեցության էներգիան որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$U_{\text{դձ}} = -\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\alpha\mu^2}{\epsilon r^6} \quad (1.6.)$$

որտեղ  $\mu$ -ն հաստատուն դիպոլ մոմենտն է,  $\alpha$ -ն ոչ բևեռային խմբի բևեռացվելիությունն է: Դիպոլ-դիպոլ և դիպոլ-մակաձված դիպոլ փոխազդեցության էներգիան կազմում է  $-0,4 \dots -4$  Կջ/մոլ:

(1.4.)-(1.6.) բանաձևերը ցույց են տալիս, որ չեզոք մոլեկուլների միջև գործող վանդերվալայան ձգողության ուժերի էներգիան համեմատական է  $\frac{1}{r^6}$ -ին, իսկ էլեկտրաստատիկ փոխազդեցության ուժերի էներգիան, (1.3.)

բանաձևի համաձայն, համեմատական է  $\frac{1}{r}$ -ին: Հետևաբար վանդերվալայան փոխազդեցության ուժերի ազդեցությունը նկատելի է միայն փոքր հեռավորությունների դեպքում:

Ընդհանրացնելով շարադրվածը՝ վանդերվալայան փոխազդեցության ուժերի էներգիան կարելի է ներկայացնել

$$U_{\delta}(r) = -\frac{A}{r^6} \quad (1.7.)$$

տեսքով: Տեսականորեն ցույց է տրվում, որ մոլեկուլների միջև փոքր հեռավորությունների վրա գործող վանդերվալայան ուժերը հարմար է ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

$$U_{\text{վ}}(r) = \frac{B}{r^n} \quad (1.8.)$$

Ընդհանուր դեպքում  $n = 8 \div 13$ : (1.7.) և (1.8.) բանաձևերում  $n$ -ը,  $A$ -ն և  $B$ -ն դրական հաստատուն մեծություններ են և կախված են փոխազդող մոլեկուլների քիմիական բաղադրությունից և կառուցվածքից: Մեծ թվով մոլեկուլների համար  $n = 12$ : Հաշվի առնելով (1.7.) և (1.8.) բանաձևերը՝ (1.1.)-ի համար կստանանք՝

$$U(r) = -\frac{A}{r^6} + \frac{B}{r^n} : \quad (1.9.)$$

Որոշ մոլեկուլների համար (1.9.) բանաձևի փոխարեն հարմար է օգտվել

$$U(r) = -\frac{A}{r^6} + Be^{-\beta r}$$

բանաձևից, որտեղ A-ն, B-ն և  $\beta$  -ն դրական հաստատուն մեծություններ են:

**Ջրածնային կապ:** Կենսահամակարգերում մեծ դեր են կատարում ջրածնային կապերը, որոնք առաջանում են O, N, P, էլեկտրաբացասական ատոմի և ջրածնի ատոմի միջև, որը կովալենտ կապված է նշված էլեկտրաբացասական ատոմներից մեկի հետ:

Ջրածնային կապի էներգիան -12,6...-33,6 Կջ/մոլ կարգի մեծություն է: Ջրածնային կապը հնարավոր չէ բացատրել ատոմների միայն էլեկտրաստատիկ փոխազդեցությամբ. դրա բնույթը բարդ է, և կապի առաջացումը հնարավոր է միայն բացատրել և նկարագրել քվանտային մեխանիկայով: Ջրածնային կապը օժտված է մի շարք կարևոր հատկություններով, որոնք հիմնականում հատուկ չեն ֆիզիկական փոխազդեցություններին: Թվարկենք դրանցից մի քանիսը.

ա) տարածության մեջ մեծ ուղղվածությունը,

բ) փոխազդեցության հազեցումը,

գ) կապի որոշակի երկարությունը, որը կախված է միջավայրից և կապ առաջացնող էլեմենտներից:

Օրինակ՝ սառույցի մեջ O-H ջրածնային կապի երկարությունը կազմում է 1,77 Å<sup>0</sup>:

**3.** Կենդանի և անկենդան համակարգերը կազմող մասնիկները կատարում են անկանոն, ջերմային, քառային շարժում, որի բնույթը կախված է նյութի ագրեգատային վիճակից: Մոլեկուլների գոյության և դրանց քառային շարժման ամենահամոզիչ ապացույցներից են բրոունյան շարժումը և դիֆուզիան՝ տարբեր նյութերի ինքնաբերաբար, այսինքն՝ առանց արտաքին գործոնների ազդեցության միմյանց խառնվելու երևույթը: Նյութի բաղադրիչ մասնիկների շարժման բնույթով է պայմանավորված նյութը տարբեր ֆիզիկական վիճակներում լինելու հանգամանքը:

Ջերմային, քառային շարժման ինտենսիվությունը կախված է միջավայրի T բացարձակ ջերմաստիճանից և համեմատական է RT մեծությանը: Կենդանի համակարգերի կենսագործունեության ջերմաստիճաններում RT էներգիան, որը ~ 48 Ջ/մոլ կարգի է, շատ փոքր է տարբեր կենսաքիմիական պրոցեսների իրականացման համար անհրաժեշտ

ակտիվացման էներգիայից: Հետևաբար այդ էներգիան հավասարակշիռ պայմաններում իրականացվող կենսաքիմիական պրոցեսների վրա չի կարող էական ազդեցություն ունենալ: Մակայն եթե կենդանի համակարգը էքստրեմալ պայմաններում է (սթրես, վատ էկոլոգիական պայմաններ և այլն), ապա ջերմային էներգիան կարող է որոշ չափով ազդել կատարվող կենսաքիմիական պրոցեսների ընթացքի վրա, որի հետևանքով կենսաքիմիական պրոցեսների ակտիվացման էներգիան կարող է որոշ փոփոխություններ ունենալ:

## 2. ԱՅՈՒԹԻ ԱԳՐԵԳԱՏԱՅԻՆ ՎԻՃԱԿՆԵՐԸ

(Յու. Բաբայան)

Ինչպես ասացինք, նյութը կազմող մասնիկների (մոլեկուլներ, ատոմներ) միջև առկա են ձգողական և վանողական ուժեր, որոնց ինտենսիվությունը կախված է մասնիկների փոխադարձ դիրքից, այսինքն՝ մասնիկներն օժտված են պոտենցիալ էներգիայով: Մասնիկները անընդհատ շարժման վիճակում են, հետևաբար դրանք օժտված են կինետիկ էներգիայով ևս:

Որակապես կարող են պնդել, որ ձգողական ուժերը ձգտում են մոլեկուլներին շաղկապել մի ամբողջական համակարգում, սակայն դրանց կինետիկ էներգիայի առկայությունը խոչընդոտում է այդ պրոցեսին: Այսինքն՝ համակարգի վրա միաժամանակ ազդում են շաղկապող և խարխլող գործոններ: Այս մրցակից գործոնների ազդեցության արդյունքը կախված է նրանց հարաբերական ինտենսիվությունից: Եթե խարխլող գործոնի ինտենսիվությունն ավելի մեծ է, քան շաղկապողինը, ապա նյութը կլինի գազային վիճակում: Հակառակ դեպքում նյութը կլինի պինդ վիճակում: Եթե այդ գործոնների ինտենսիվությունները նույն կարգի են, ապա նյութը կլինի հեղուկ վիճակում:

□Ինտենսիվություն□ հասկացության քանակական չափանիշ են հանդիսանում նյութի մասնիկների կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաները: Եթե համակարգի գումարային կինետիկ էներգիան մեծ է պոտենցիալ էներգիայից, ապա մոլեկուլներն ինքնաբերաբար կցրվեն դրանց տրամադրված տարածության մեջ: Այսինքն՝ ունենում ենք գազ, որը ձգտում է ընդարձակման:

Գազը սեղմելիս նրա խտությունն աճում է, համապատասխանաբար նվազում են միջմոլեկուլային հեռավորությունները: Հետևաբար աճում է պոտենցիալ էներգիայի բացարձակ արժեքը (նկար 1.1.): Արդյունքում լինում է պահ (մոլեկուլների մի հեռավորություն), երբ համակարգի գումարային պոտենցիալ էներգիան գերազանցում է կինետիկ

էներգիային: Նման համակարգում մոլեկուլներն այլևս ազատ չեն, այլ միմյանց կապված են որոշակի ուժերով, ուստի նյութը կգտնվի հեղուկ կամ պինդ վիճակում: Այդպիսի պրոցեսի հետևանքով նյութերն ավելի հաճախ անցնում են հեղուկ վիճակի: Սակայն նման անցում (պրոցես) հնարավոր է միայն այն դեպքում, երբ մոլեկուլների կինետիկ էներգիան շատ մեծ չէ, այսինքն՝ մեծ չէ գազի ջերմաստիճանը: Բանն այն է, որ գոյություն ունի պոտենցիալ էներգիայի նվազագույն արժեք: Ուստի բավականաչափ բարձր ջերմաստիճանների դեպքում պոտենցիալ էներգիան չի կարող մեծ լինել կինետիկ էներգիայից, այսինքն՝ հնարավոր չէ գազը հեղուկացնել:

Ճնշումը նվազելու դեպքում հակառակ երևույթն է կատարվում՝ հեղուկը վերածվում է գազի:

Այսպիսով, նյութը սկզբունքորեն կարող է գտնվել 3 ագրեգատային վիճակներում՝ պինդ, հեղուկ և գազային:

Համեմատաբար վերջերս հայտնաբերված է նյութի չորրորդ ագրեգատային վիճակը՝ սյլազման: Պլազման տիեզերքում նյութի գոյության հիմնական ձևն է: Այն ատոմների կազմության մեջ մտնող էլեկտրոններից և ատոմային միջուկներից կամ իոններից բաղկացած համակարգ է: Նյութը սյլազմային վիճակում է շատ բարձր ջերմաստիճաններում ( $T > 6000$  Կ), այդ վիճակում է գտնվում աստղային նյութը: Վերջերս ցույց է տրված, որ երկրագնդի տարբեր մասերում ջուրը ցածր ջերմաստիճաններում (սենյակային) կարող է լինել սյլազմայի վիճակում, որի հետևանքով երկրագնդի տարբեր մասերում դիտվում է մի շարք անոմալ երևույթներ: Պլազմայի վիճակում կարող են լինել նաև գազերը, օրինակ՝ լազերային ճառագայթների ազդեցության տակ:

Գազային վիճակում նյութը չի պահպանում ո՛չ ձևը, ո՛չ ծավալը, քանի որ նրա մոլեկուլներին շողկապող ուժերը գրեթե բացակայում են: Գազն ամբողջությամբ զբաղեցնում է իրեն տրամադրված ծավալը, ուստի գազի ծավալ ասելով՝ նկատի ենք ունենում գազը պարունակող անոթի ծավալը: Գազի մոլեկուլները անընդհատ քառսային շարժման վիճակում են, յուրաքանչյուր մոլեկուլ շարժվում է ուղղագիծ հավասարաչափ և միայն այլ մոլեկուլների հետ բախվելիս փոխում է շարժման ուղղությունը: Ընդ որում, 2 հարևան բախումների միջև եղած միջին հեռավորությունը (ազատ վազքի երկարության) շատ անգամ ավելի մեծ է մոլեկուլի չափերից:

Որոշակի պայմաններում անոթի մեջ պարփակված գազի համար կարելի է անտեսել գազի մասնիկների չափերը և դրանց բախումները միմյանց հետ: Հաշվի են առնվում միայն դրա մասնիկների բախումները



անոթի պատի հետ: Նման դատողությունների դեպքում գազի մասնիկները դիտվում են որպես միմյանց հետ չփոխազդող նյութական կետեր: Նման պարզեցված դեպքում գազը կոչվում է իդեալական:

Իդեալական գազերը նկարագրվում են Մենդելև-Կլապեյրոնի հավասարումով, որն ունի հետևյալ տեսքը.

$$PV = \nu RT \quad (2. 1.)$$

որտեղ  $P$  -ն,  $V$  -ն,  $T$  -ն և  $\nu$  -ն համապատասխանաբար գազի ճնշումը, ծավալը, ջերմաստիճանը և մոլերի քանակն են,  $R$ -ը՝ ունիվերսալ գազային հաստատունը:

Եթե հաշվի առնենք գազի մոլեկուլների միջև գործող ձգողական և վանողական փոխազդեցության ուժերը, ապա այդպիսի գազերը իրենց հատկություններով մոտ են իրական գազերին և լավ նկարագրվում են Վանդերվալսի հավասարումով, որն ունի հետևյալ տեսքը.

$$\left( P + \nu^2 \frac{a}{V^2} \right) (V - \nu b) = \nu RT : \quad (2. 2.)$$

$a$  և  $b$  -ն կոչվում են Վանդերվալսի հաստատուններ և տարբեր գազերի համար ունեն տարբեր արժեքներ:  $a$  պարամետրը բնութագրում է մոլեկուլների միջև գործող ձգողական ուժերը, իսկ  $b$  -ն՝ վանողական:

Հեղուկ վիճակում նյութը պահպանում է ծավալը, սակայն ձևը չի պահպանում, այսինքն՝ օժտված է հոսելիությամբ:

Համաձայն ընդունված տեսակետի՝ ջերմային շարժումը հեղուկներում հետևյալ բնույթի է. յուրաքանչյուր մոլեկուլ որոշ ժամանակ ( $\sim 10^{-11}$ վ) տատանվում է որոշակի հավասարակշռության դիրքի շուրջը: Ժամանակ առ ժամանակ այն թռիչքով հայտնվում է նոր հավասարակշռության դիրքում, որը նախորդից հեռացված է մոլեկուլների չափերի կարգի հեռավորությամբ: Այսինքն՝ հեղուկի մոլեկուլները պարզապես դանդաղորեն շարժվում են հեղուկի զբաղեցրած ծավալով մեկ:

Քանի որ հեղուկի խտությունը անհամեմատ մեծ է գազի խտությունից, այսինքն՝ հեղուկում մոլեկուլները միմյանց բավականաչափ մոտ են դասավորված, ուստի նրանց միմյանց նկատմամբ ունեցած դասավորությունը մեծ չափով ազդում է հեղուկի կառուցվածքի, հատկությունների վրա: Օրինակ՝ ջրի մոլեկուլում լիցքի յուրահատուկ բաշխման շնորհիվ նրա յուրաքանչյուր մոլեկուլ հարևան ջրի մոլեկուլների հետ կարող է առաջացնել 4 ջրածնային կապ՝ առաջացնելով լոկալ տարածական հեքսագոնալ կառուցվածքներ: Սովորական հեղուկները իզոտրոպ են, այսինքն՝ դրանց հատկությունները տարածության բոլոր ուղղություններով նույնն են:

Ներկայումս գոյություն չունի վիճակի հավասարում, որով հնարավոր լինի ջերմաստիճանային ամբողջ տիրույթում ճշգրիտ նկարագրել հեղուկների վարքը:

**Պինդ** կոչվում են այն մարմինները, որոնք պահպանում են ոչ միայն իրենց ծավալը, այլև նաև ձևը: Պինդ մարմինները, ըստ իրենց ներքին կառուցվածքի, լինում են բյուրեղային և ամորֆ:

Բյուրեղային մարմինները կամ բյուրեղներն ունեն կանոնավոր ներքին կառուցվածք, այսինքն՝ դրանցում նյութի մասնիկները (ատոմներ, իոններ կամ մոլեկուլներ) կատարում են փոքր լայնույթով ջերմային տատանումներ որոշակի կետերի՝ բյուրեղային ցանցի հանգույցների շուրջը, որոնք տարածության մեջ բաշխված են պարբերաբար, խիստ համաչափ ձևով: Բյուրեղային ցանցը տարածության մեջ պատկերում է մասնիկների կենտրոնների փոխադարձ դիրքերը և պայմանավորված չէ մասնիկների չափերով: Պինդ մարմիններում մասնիկների ցատկերը մի հավասարակշռության դիրքից մյուսին շատ հազվադեպ են լինում, որի հետևանքով նրանցում դիֆուզիայի պրոցեսը շատ դանդաղ է ընթանում:

Ցանկացած բյուրեղի արտաքին հատկանիշը կանոնավոր երկրաչափական ձևն է: Դրանք ունեն հարթ, ասես հղկված նիստեր, որոնք կանոնավոր բազմանկյուններ են, ընդ որում, յուրաքանչյուր բյուրեղի կողմերի և նիստերի միջև կազմված անկյունները որոշակի հաստատուն մեծություններ են: Ներքին կառուցվածքային համաչափության առավել ցայտուն դրսևորումն այն է, որ բյուրեղի ֆիզիկական հատկությունները կախված են բյուրեղում ընտրված ուղղությունից: Բյուրեղի ֆիզիկական հատկությունների կախված լինելը նրանում ընտրված ուղղությունից կոչվում է անիզոտրոպություն: Մոլեկուլային կինետիկ տեսության տեսանկյունից բյուրեղների անիզոտրոպությունը պայմանավորված է տարբեր ուղղությունների վրա մասնիկների հեռավորությունների, հետևաբար և փոխազդեցությունների տարբերություններով:

Բյուրեղային վիճակում միևնույն քիմիական բաղադրությունն ունեցող շատ նյութեր, կախված արտաքին պայմաններից, կարող են առաջացնել տարբեր բյուրեղային կառուցվածքներ: Օրինակ՝ հայտնի է, որ գոյություն ունի սառույցի 10 տարատեսակ, ածխածինը գոյություն ունի գրաֆիտի, ալմաստի, կարբինի և ֆուլերենի ձևերով:

Բյուրեղային մարմինները տվյալ պայմաններում ունեն խիստ որոշակի հալման ջերմաստիճան: Օրինակ՝ նորմալ պայմաններում սառույցը հալվում է 0°C-ում:

Ամորֆ պինդ մարմինները, ի տարբերություն բյուրեղների, իզոտրոպ են. դրանց ֆիզիկական հատկությունները կախված չեն ընտրված ուղ-

ղությունից: Այս փաստը վկայում է այն մասին, որ ամորֆ մարմինները չունեն կանոնավոր ներքին կառուցվածք: Ամորֆ մարմինների ներքին կանոնավոր կառուցվածքի բացակայության անմիջական հետևանք է այն, որ դրանք չունեն հավան ջերմաստիճան: Եթե ամորֆ մարմինը տաքացնենք, ապա ջերմաքանակ հաղորդելուն զուգընթաց՝ նրա ջերմաստիճանն անընդհատ կբարձրանա, այն աստիճանաբար կփափկի և կվերածվի հեղուկի: Եթե այդ հեղուկից ջերմաքանակ վերցնենք, ապա նրա ջերմաստիճանն անընդհատ կնվազի, և հեղուկը կանցնի պինդ ամորֆ վիճակի: Ամորֆ մարմնի ֆիզիկական հատկությունները կախված են ինչպես նրա վիճակից, այնպես էլ արտաքին ազդեցությունների բնույթից: Որքան բարձր է ամորֆ մարմնի ջերմաստիճանը և որքան երկարատև է արտաքին ազդեցությունը, այնքան ամորֆ մարմնի հատկություններն ավելի մոտ են հեղուկների հատկություններին: Ընդհակառակը, ցածր ջերմաստիճաններում և կարճատև ազդեցությունների դեպքում ամորֆ մարմինն իրեն պահում է որպես բյուրեղային մարմին:

**Հեղուկ բյուրեղներ:** Ամորֆ նյութերին բնորոշ հատկությունների երկակիությամբ, այսինքն՝ և՛ պինդ, և՛ հեղուկ վիճակին բնորոշ հատկություններով են օժտված նաև հեղուկ բյուրեղները: Հեղուկ բյուրեղների կառուցվածքային հատկությունները միջանկյալ դիրք են գրավում բյուրեղային կառուցվածքով պինդ մարմինների և հեղուկների հատկությունների միջև: Հեղուկ բյուրեղներում մեկ ուղղությամբ դիտվում է մասնիկների կարգավորված դասավորություն, և այդ ուղղությամբ դրանք անիզոտրոպ են:

Ներկայումս հայտնի են կենսաբանական ծագում ունեցող բազմաթիվ օրգանական նյութեր, գոյացումներ, որոնք առաջացնում են հեղուկ բյուրեղային վիճակ, օրինակ՝ ԴՆԹ, կոլագենը, ուղեղանյութը, բջջանյութը և այլն:

Հեղուկ բյուրեղների հատկությունները կարելի է կտրուկ փոփոխել չափազանց թույլ արտաքին ազդանքների (ջերմաստիճան, էլեկտրական, մագնիսական դաշտեր և այլն) միջոցով, ինչի շնորհիվ դրանք լայնորեն օգտագործվում են տեխնիկայում, կենսադում, բժշկության մեջ: Հեղուկ բյուրեղների նշանակությունը կարևորվում է հատկապես կենսաբանության և բժշկության մեջ: Դրանց հատկությունների հետազոտումն ասի-րությունը թույլ կտա պարզել կենսաբանական մի շարք պրոցեսների մեխանիզմները:

### **3. ՋՐԻ ԿԱՌՈՒԾՎԱԾՔԸ, ՆՐԱ ՖԻԶԻԿԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

(Յու. Բաբայան)

Չուրը ամենակարևոր քիմիական նյութերից մեկն է, եթե ոչ ամենակարևորը: Այն մարդու օրգանիզմի և նրա կենսագործունեության միջավայրի հիմնական բաղադրամասն է: Ջրի ֆիզիկական հատկությունները հիմնովին տարբերվում են մյուս հեղուկների հատկություններից, որով և բացատրվում են անկենդան և կենդանի բնության մեջ ջրի մասնակցությամբ կատարվող օրինաչափությունները: Երկրագնդի վրա ջրի մեջ միշտ կան լուծված խառնուրդներ, հիմնականում CO<sub>2</sub>, որը լուծվում է մթնոլորտից:

Եթե ջրի ֆիզիկաքիմիական բնութագրերը համեմատենք այլ հեղուկների համապատասխան մեծությունների հետ, ապա կտեսնենք, որ այն օժտված է ամենամեծ հալման և եռման ջերմաստիճաններով, տեսակարար ջերմունակությամբ, հալման և գոլորշիացման ջերմությամբ, մակերևութային լարվածությամբ և այլն: Ջրի թվարկված անոմալ հատկությունները պայմանավորված են այն հանգամանքով, որ նրա մոլեկուլների միջև գործում են փոխազդեցության մեծ ուժեր: Համեմատության համար աղյուսակ 1.1-ում ներկայացված են մի շարք հեղուկների շոգեգոյացման տեսակարար ջերմության արժեքները մթնոլորտային նորմալ ճնշման դեպքում: Աղյուսակից հետևում է, որ ջրի շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունը, որը հավասար է 540 կալ/գ (1կալ  $\approx$  4,2Ջ), շատ անգամ գերազանցում է մյուս հեղուկների *r*-ին: Հայտնի է, որ *r*-ը անմիջականորեն կախված է միջմոլեկուլային ձգողական փոխազդեցության ուժերից և որոշվում է այն էներգիայով, որը հաստատուն ջերմաստիճանում անհրաժեշտ է հաղորդել հեղուկի միավոր զանգվածին՝ մոլեկուլների միջև ձգողական ուժերը հաղթահարելու և այն գազային վիճակի բերելու համար:

**Աղյուսակ 1.1.**

<b>Հեղուկ</b>	<b>Շոգեգոյացման տեսակարար ջերմություն <i>r</i> (կալ/գ)</b>
ջուր	540
մեթանոլ	263
էթանոլ	204
H-պրոպանոլ	164
ացետոն	125
բենզոլ	94
քլորոֆորմ	59

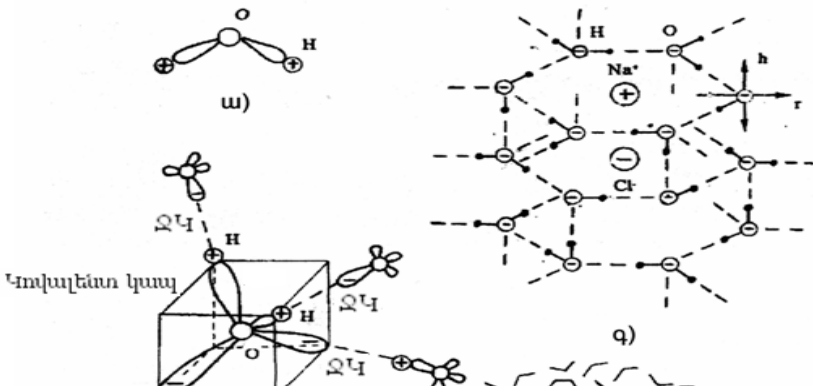
Ինչպես նշվեց, ջուրը օժտված է առանձնահատուկ հատկություններով, որոնք պայմանավորված են նրա կառուցվածքի յուրահատկությամբ: Ջրի կոնդենսացված (հեղուկ, սառույց) և գազային վիճակների կառուցվածքները կախված են նրանում պարունակվող թթվածնի ատոմի վալենտային

վիճակից: Ընդհանրապես թթվածինը երկվալենտ վիճակում է և ջրածնի հետ կազմում է վալենտահագեցված միացություն: Գազային վիճակում ջրի մոլեկուլում թթվածինը երկվալենտ վիճակում է, ջրածնի հետ կազմում է վալենտահագեցված կապ և առաջացնում է եռատոմ, ազատ, միմյանց հետ չկապված ջրի H-O-H մոլեկուլ (նկար 3.1.ա): Սառույցի մեջ, ինչպես և ջրում թթվածինը քառավալենտ է, որն առաջանում է այն պատճառով, որ 2p վիճակում գտնվող էլեկտրոններից մեկը գրգռվելով անցնում է 3S վիճակի: Դրա հետևանքով առաջանում է թթվածնի  $Sp^3$  հիբրիդիզացված վիճակ, որտեղ թթվածնի չորս չկապված էլեկտրոնները ջրի կոնդենսացված փուլում, ջրածնի մոտակա ատոմների հետ փոխազդելով, տարածության մեջ առաջացնում են քառանիստ, չորս կապերով, որոնցից երկուսն ուժեղ են՝ հագեցված կովալենտ կապ, իսկ մյուս երկուսը՝ համեմատաբար թույլ ջրածնային կապ (նկար 3.1.բ):

Այսպիսի փոխազդեցությունների շնորհիվ կարող են ձևավորվել ջրի տարբեր մոլեկուլային տարածական բյուրեղային ցանցեր:

Ռենտգենկառուցվածքային անալիզի միջոցով ներկայումս հայտնաբերված են սառույցի 12 կառուցվածքային տիպեր, որոնք բոլորն էլ իրականանում են ցածր ջերմաստիճանների և բարձր ճնշումների դեպքում:

Նորմալ պայմաններում ջրի առաջացրած կառուցվածքը (սառույցը) հեքսագոնալ օղակների փոխազդեցությամբ ձևավորված ծավալային ցանց է (նկար 3.1.գ): Հեքսագոնալ օղակը կազմված է օղակի անկյուններում տեղավորված թթվածնի 6 և ջրածնի 12 ատոմներից, որոնցից 6-ը հեքսագոնալ օղակի հարթության մեջ են՝ թթվածնի ատոմների միջև, իսկ մյուս 6-ը՝ մեկական, մեկընդմեջ թթվածնի ատոմների միջև՝ օղակի հարթության տարբեր կողմերում: Հետևաբար սառույցի կառուցվածքի հեքսագոնալ օղակը կազմված է ջրի 6 մոլեկուլներից: Հեքսագոնալ օղակները միանում են վալենտային կապերի քառանիստության շնորհիվ և միմյանց կապված են ջրածնային կապերով՝ ուղղված  $O-H^+...O^-$  առանցքի երկայնքով:



### Նկ. 3.1.

Դիտարկենք սառույցի հալման և ջրի գոլորշիացման պրոցեսներում հեքսագոնալ կառուցվածքների վարքը: Օգտվելով ջրի թերմոդինամիկական պարամետրերից (հալման ջերմության՝ 64 ԿՋ/մոլ, գոլորշիացման ջերմության՝ 500ԿՋ/մոլ) և ջրում ջրածնային կապի էներգիայի (19ԿՋ/մոլ) արժեքից՝ կարող ենք հանգել այն եզրակացության, որ սառույց-ջուր անցման ժամանակ քանդվում է միայն ջրածնային կապերի 32%-ը: Քանի որ սառույցի կառուցվածքից ջրի մեկ H<sub>2</sub>O մոլեկուլի անջատման համար անհրաժեշտ է 2 ջրածնային կապի խզում, ապա սառույցի հալման ժամանակ եռատոմային ջրի ազատ մոլեկուլների թիվը մոտավորապես հավասար է 16%-ի և մեկ ազատ H<sub>2</sub>O մոլեկուլին մոտավորապես համապատասխանում է 6 կապված մոլեկուլ: Հետևաբար, ջրի հեղուկ փուլում ազատ, զազանման ջրի մոլեկուլների հետ կան նաև սառույցի կառուցվածքի հեքսագոնալ մասեր:

Ամփոփելով կարող ենք ասել, որ սառույցի հալման ժամանակ ջրածնային կապերի 32%-ը խզվում է, որի հետևանքով սառույցի մոնոլիտ բյուրեղը բաժանվում է միկրոբյուրեղների (կլաստերների), որոնց արանքներում տեղավորվում են ազատ, չկապված զազանման ջրի մոլեկուլները (նկար 3.1.դ): Հետևաբար ջրի հեղուկ փուլը հանդես է գալիս որպես ազատ ջրի մոլեկուլների և սառույցի մոլեկուլային կառուցվածքների խառնուրդ: Հեղուկ-գոլորշի անցումը հանգեցնում է հեքսագոնալ կլաստերների քայքայմանը և հետևաբար ազատ ջրի մոլեկուլների թվաքանակի ավելացմանը: Ջրի կարևոր հատկություններից է նրա անսովոր մեծ զգայունությունը տարբեր ֆիզիկաքիմիական և էներգահինժորմացիոն ազդեցությունների նկատմամբ: Ենթադրվում է, որ դա պայմանավորված է համեմատաբար փոքր էներգիայով օժտված ջրածնային կապերի առկայությամբ, որոնք ընդունակ են վերակառուցվել արտաքին ազդեցություններով՝ դրա համար մեծ էներգիայի ծախս չպահանջելով:

Կենդանի օրգանիզմներում ընթացող բոլոր կենսաքիմիական պրոցեսները կատարվում են ջրային միջավայրում: Ջուրը այն ունիվերսալ միջավայրն է, որի միջոցով, ամենայն հավանականությամբ, իրականացվում է կենսահինժորմացիայի փոխանցումը բջջի առանձին մոլեկուլների կամ կառուցվածքային էլեմենտների միջև: Այս տեսանկյունից ջրի կառուցվածքի և նրա հնարավոր փոփոխությունների ուսումնասիրությունը տարբեր պաթոլոգիական պրոցեսների դեպքում մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում:

Ջրի՝ վերը հիշատակված անումալ ֆիզիկաքիմիական հատկությունները պայմանավորված են ջրի մոլեկուլի կառուցվածքով (մոլեկուլում լիցքի բաշխմամբ), որի հետևանքով դրանք միանալով ջրածնային կապերով, առաջացնում են **կլաստերներ**:

### **Հիդրոֆոր և հիդրոֆիլ փոխազդեցություններ**

Ջուրը մեծ դեր է կատարում կենսապոլիմերների կառուցվածքի ձևավորման և նրա կայունացման գործում: Հայտնի է, որ կենսապոլիմերները պարունակում են բևեռային և ոչ բևեռային ֆունկցիոնալ խմբեր, որոնք ջրի մոլեկուլների հետ կարող են փոխազդել էլեկտրաստատիկ և վանդեր-վալսյան ուժերով՝ միաժամանակ առաջացնելով նաև ջրածնային կապեր:

Ցանկացած համակարգ, այդ թվում նաև կենսահամակարգերը, ձգտում են տվյալ պայմաններում առաջացնել այնպիսի կառուցվածք, որ համակարգի ազատ էներգիան նվազագույն լինի: Հետևաբար հնարավոր է, որ էներգետիկ տեսանկյունից ձեռնտու է, որ կենսապոլիմերի որոշ ֆունկցիոնալ խմբեր անմիջական կապվեն ջրի հետ, իսկ որոշ մասեր, ընդհակառակը, խուսափելով ջրի մոլեկուլների հետ անմիջական փոխազդեցությունից, մոտենան իրար՝ դրանց միջից վանելով ջուրը, առաջացնելով ածխաջրածնային հավաք գոյացումներ: Օրինակ՝ սպիտակուցներում ջուրը կարող է մրցակցել բևեռային ամինաթթվային մնացորդների հետ ջրածնային կապերի առաջացման համար, որի հետևանքով բևեռային ամինաթթվային մնացորդները ձգտում են ջրածնային կապերով կապվել ինչպես ջրի ազատ մոլեկուլների, այնպես էլ հեքսագոնալ կառուցվածք առաջացնող ջրի մոլեկուլների հետ: Նման փոխազդեցությունների հետևանքով ջրի հեքսագոնալ կլաստերային կառուցվածքը որոշ փոփոխություն է կրում. փոխվում է համակարգի ազատ էներգիան: Միաժամանակ սպիտակուցի ոչ բևեռային ամինաթթվային մնացորդները, խուսափելով ջրի հետ փոխազդեցությունից (որը հանգեցնում է համակարգի ազատ էներգիայի աճման) մոտենում են իրար, հնարավորինս փոքրացնելով ոչ բևեռային ամինաթթվային մնացորդների անմիջական փոխազդեցությունը ջրի մոլեկուլների հետ: Հետևաբար միջմոլեկուլային փոխազդեցության շնորհիվ ջրային միջավայրում առաջանում է կենսապոլիմերի որոշակի կառուցվածք՝ համակարգի նվազագույն ազատ էներգիայով, որի բևեռային ֆունկցիոնալ խմբերը հիմնականում կապվում են ջրի մոլեկուլների հետ, իսկ ոչ բևեռայինները, խուսափելով ջրի մոլեկուլների հետ փոխազդեցությունից, ձգվելով իրար, կազմում են հավաք կառուցվածք՝ հնարավորինս նվազագույն մակերևույթի մակերեսով: Նշված հանգամանքով է պայմանավորված, որ որոշ սպիտա-

կուցներ առաջացնում են հավաք կառուցվածքներ, որոնք կոչվում են գլոբուլա:

Ելնելով վերը շարադրվածից՝ Կաուզմանը ներմուծեց **հիդրոֆոր** և **հիդրոֆիլ** փոխազդեցության գաղափարը: Դրանք նոր փոխազդեցության ուժեր չեն, ցույց են տալիս նույն էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության ուժերը ջրի մոլեկուլի և բևեռային ու ոչ բևեռային ֆունկցիոնալ խմբեր պարունակող օրգանական միացությունների միջև: Եթե ուսումնասիրվող միացության և ջրի փոխազդեցության շնորհիվ համակարգի ազատ էներգիան նվազում է, ապա այդ միացությունները կամ ֆունկցիոնալ խմբերը գերադասում են շրջապատվել ջրի մոլեկուլներով,  $\square$ սիրում  $\square$  են ջրի հետ փոխազդեցության մեջ մտնել. սրանք **հիդրոֆիլ են**: Իսկ եթե ուսումնասիրվող միացության և ջրի անմիջական փոխազդեցության շնորհիվ համակարգի ազատ էներգիան աճում է, ապա այդ միացությունները կամ ֆունկցիոնալ խմբերը գերադասում են մոտենալ իրար՝ դրանց միջից վանելով ջրի մոլեկուլներին,  $\square$ չեն սիրում  $\square$  փոխազդեցության մեջ մտնել ջրի մոլեկուլների հետ. սրանք **հիդրոֆոր են**: Նման կերպ համակարգի ազատ էներգիայի նվազագույնի պայմանից ձևավորվում է տվյալ առաջնային կառուցվածքով կենսապոլիմերի տարածական կառուցվածքը: Չնայած կենսապոլիմերների տարբեր ֆունկցիոնալ խմբերի միջև գործում են նաև այլ տիպի փոխազդեցություններ (օրինակ՝ ջրածնային կապեր, դիսուլֆիդային կապեր և այլն) հիդրոֆոր և հիդրոֆիլ փոխազդեցությունները մեծ դեր են կատարում նրանց երկրորդային, երրորդային կառուցվածքի ձևավորման և կայունացման գործում:

***Թեստային օրինակներ***

1. Ինչպիսի՞ կառուցված ունի մեզ շրջապատող աշխարհը.

ա) անընդհատ      բ) ընդհատ      գ) անորոշ      դ) անտարբեր

2. Բևեռային կոչվում են այն մոլեկուլները, որոնց դրական և բացասական լիցքերի բաշխման կենտրոնները ... և ...

1) չեն համընկնում      2) համընկնում են  
 3) ունեն դիպոլ մոմենտ      4) չունեն դիպոլ մոմենտ  
 ա) 1,3      բ) 1,4      գ) 2,3      դ) 2,4

3. Ո՞ր բանաձևով է հնարավոր որոշել մոլեկուլների միջև գործող փոխազդեցության ուժը.

ա)  $F(r) = \frac{dU(r)}{dr}$ ,      բ)  $F(r) = -\frac{d^2U(r)}{dr^2}$ ,      գ)  $F(r) = -\frac{dU(r)}{dt}$ ,      դ)  $F(r) = -\frac{dU(r)}{dr}$

4. Լիցքերի համակարգի դիպոլ մոմենտի չափման միավորն է՝



- 1)  $U_1$  մ                      2)  $U_1$  մ<sup>2</sup>                      3) U վմ                      4) U մ  
 ա) բոլորը սխալ են,              բ) միայն 2,                      գ) միայն 2,3,                      դ) միայն 1,3

**5. Էլեկտրաստատիկ փոխազդեցության էներգիան հակադարձ համեմատական է**

- ա)  $r^6$ ,                      բ)  $\frac{1}{r^6}$ ,                      գ)  $\frac{1}{r}$ ,                      դ)  $r$

**6. Չեզոք, բևեռային խմբերի միջև գործող ձգողական ուժերը կոչվում են՝**

- ա) դիսպերսիոն    բ) դիպոլ-դիպոլ  
 գ) դիպոլ-մակածված դիպոլ    դ) ինդուկցիոն

**7. Դիպոլ-մակածված դիպոլ (ինդուկցիոն) փոխազդեցության էներգիան որոշվում է՝**

- ա)  $-\frac{3}{2} \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\epsilon r^6}$ ,                      բ)  $-\frac{1}{6\pi\epsilon_0 K T} \frac{\mu_1^2 \mu_2^2}{\epsilon r^6}$ ,                      գ)  $-\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\alpha \mu^2}{\epsilon r^6}$ ,                      դ)  $-\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{\epsilon r}$

**8. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում մոլեկուլների հավասարակշիռ հեռավորությունը,**

**եթե**  $U(r) = -\frac{A}{r^6} + \frac{B}{r^8}$

- ա)  $\sqrt[4]{\frac{4B}{3A}}$ ,                      բ)  $\sqrt{\frac{3A}{4B}}$ ,                      գ)  $\sqrt{\frac{4B}{3A}}$ ,                      դ)  $\sqrt[3]{\frac{4B}{3A}}$

**9. Էլեկտրաստատիկ հաստատունի չափման միավորն է՝**

**(Ֆ-Ֆարադ, Ա-Ամպեր, Կլ-Կուլոն)**

- 1)  $\Phi$ /մ                      2)  $U_1^2$ /Նմ<sup>2</sup>                      3)  $U^2$ վ<sup>2</sup>/Նմ<sup>2</sup>                      4) չունի  
 ա) միայն 4                      բ) միայն 1,2,3                      գ) բոլորը սխալ են                      դ) միայն 2

**10. Ջերմային, քառասային շարժման ինտենսիվությունը կախված է՝**

- ա) ծավալից,                      բ) ջերմաստիճանից,                      գ) ճնշումից,                      դ) բոլորը սխալ են

**11.  $\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$  հավասարման մեջ՝**

- 1) a պարամետրը նկարագրում է մոլեկուլների միջև գործող ձգողական ուժերը  
 2) b պարամետրը նկարագրում է մոլեկուլների միջև գործող վանողական ուժերը  
 3) a պարամետրը նկարագրում է մոլեկուլների միջև գործող վանողական ուժերը  
 4) b պարամետրը նկարագրում է մոլեկուլների միջև գործող ձգողական ուժերը  
 ա) միայն 1,2                      բ) միայն 3,4                      գ) բոլորը սխալ են                      դ) միայն 1

**12. Պինդ մարմինները, ըստ իրենց ներքին կառուցվածքի, լինում են՝**

- 1) բյուրեղային                      2) ամոքս                      3) ամֆոտեր                      4) ցանցային  
 ա) միայն 1,3                      բ) միայն 1,4                      գ) միայն 2,4                      դ) միայն 1,2

**13. Հետևյալ արտահայտություններից ո՞րն է սխալ.**

- ա)  $U(r) = -F(r)dr$ ,                      բ)  $F(r) = -\frac{dU(r)}{dr}$ ,                      գ)  $F(r) = -U'(r)$ ,                      դ)  $dU(r) = -F(r)dr$

**14. Մոլեկուլների փոխազդեցության էներգիան որոշվում է՝**

$$U(r) = \begin{cases} -\frac{A}{r^6}, & r \geq 3r_0 \\ \frac{B}{r^8}, & r < 3r_0 \end{cases} \quad \text{Հաշվել } U(2r_0)\text{-ն:}$$

- ա)  $-\frac{A}{64r_0^6}$       բ)  $\frac{B}{256r_0^8}$       գ)  $-\frac{B}{256r_0^8}$       դ)  $\frac{A}{64r_0^6}$

15. Մոլեկուլների փոխազդեցության էներգիան որոշվում է՝

$$U(r) = \begin{cases} -\frac{A}{r^6}, & r \geq 3r_0 \\ \frac{B}{r^8}, & r < 3r_0 \end{cases} \quad \text{Հաշվել } F(2r_0)\text{-ն:}$$

- ա)  $-\frac{B}{64r_0^9}$ ,      բ)  $\frac{B}{64r_0^9}$ ,      գ)  $\frac{3A}{64r_0^7}$ ,      դ)  $-\frac{3A}{64r_0^7}$

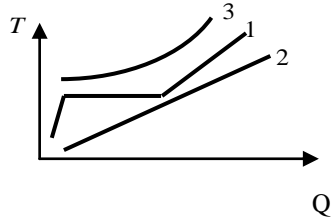
16. Ջրի կոնդենսացված վիճակում թթվածնի յուրաքանչյուր մոլեկուլ առաջացնում է համապատասխանաբար ... ջրածնային և ... կովալենտ կապեր

- ա) 2;1      բ) 2;2      գ) 1;1      դ) 1;2

17. Ամորֆ պինդ մարմինները՝

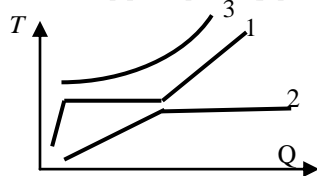
- 1) իզոտրոպ են      2) չունեն ներքին կանոնավոր կառուցվածք  
3) անիզոտրոպ են      4) ունեն հալման ջերմաստիճան  
ա) միայն 1,2,4,      բ) միայն 3,4,      գ) միայն 1,2,      դ) միայն 1,4

18. Հետևյալ գրաֆիկներից ո՞րն է արտահայտում բյուրեղային պինդ մարմնի ջերմաստիճանի կախումը հաղորդված ջերմաքանակից.



- ա) 1      բ) 2  
գ) 3      դ) բոլորը հնարավոր են

19. Հետևյալ գրաֆիկներից ո՞րն է արտահայտում ամորֆ մարմնի ջերմաստիճանի կախումը հաղորդված ջերմաքանակից.



- ա) 1      բ) 2  
գ) 3      դ) բոլորը հնարավոր են

20. Մոլեկուլների փոխազդեցության ուժը որոշվում է  $F(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$

բանաձևով: Ստանալ փոխազդեցության  $U(r)$  էներգիայի կախումը  $r$ -ից.

$$\text{ա) } \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r} + c$$

$$\text{բ) } -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^4} + c$$

$$\text{գ) } \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^3} + c$$

$$\text{դ) } -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^3} + c, \text{ որտեղ } c = \text{const}$$

## Պատասխաններ

1.բ	2.ա	3.դ	4.դ	5.դ	6.բ	7.գ	8.գ	9.բ
10.բ	11.ա	12.դ	13.ա	14.բ	15.բ	16.բ	17.գ	18.ա
19.գ	20.ա:							

## 4. ՓՈՒՆԱՆՑՄԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐ

(Յու. Բաբայան)

Մոլեկուլային համակարգերում մասնիկների ջերմային, քառասային շարժման և իրար հետ փոխազդեցության շնորհիվ, համակարգում կատարվում է առկա անհամասեռությունների վերացում. հավասարվում են համակարգի տարբեր մասերի խտությունները, ջերմաստիճանները, մասնիկների շարժման արագությունները և այլն: Համակարգում ընթանում են դիֆուզիայի, ջերմահաղորդականության և ներքին շփման պրոցեսներ: Այդ պրոցեսները շատ ընդհանրություններ ունեն, ուստի միավորվում են փոխանցման երևույթներ ընդհանուր անվամբ:

Հայտնի է, որ եթե մոլեկուլային համակարգը գտնվում է ոչ հավասարակշռված վիճակում, ապա ազատ թողնելու դեպքում այն ինքնաբերաբար անցնում է հավասարակշռված վիճակի:

Հավասարակշռության վիճակում համակարգի բոլոր կետերում ջերմաստիճանը նույնը պետք է լինի: Համակարգի որևէ մասում ջերմաստիճանի շեղումը իր հավասարակշիռ արժեքից հանգեցնում է նրան, որ ջերմային շարժ է առաջանում համակարգի բոլոր մասերում՝ ջերմաստիճանի հավասարությունն ապահովելու համար: Դրանով պայմանավորված ջերմության տեղաշարժը կոչվում է ջերմահաղորդականություն:

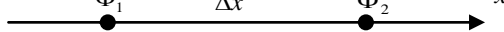
Հավասարակշռության վիճակում համակարգի բաղադրամասերի խտությունը նրա բոլոր կետերում նույնն է: Խտության շեղումը հավասարակշռության արժեքից հանգեցնում է համակարգի բաղադրամասերի այնպիսի տեղաշարժի, որ համակարգի բաղադրամասերի խտությունները նրա բոլոր կետերում հավասարվեն: Դրա հետ կապված նյութի տեղաշարժը կոչվում է դիֆուզիա:

Հավասարակշռության վիճակում ուսումնասիրվող համակարգի տարբեր մասեր դադարի վիճակում են գտնվում միմյանց նկատմամբ: Դրանց փոխադարձ շարժման ժամանակ առաջանում են դիմադրության ուժեր կամ **մածուցիկություն**: Այդ ուժերը պայմանավորված են համակարգի տարբեր շերտերի փոխադարձ շարժման ժամանակ դրանց միջև իմպուլսի փոխանցման պրոցեսներով: Ուստի գազերում և հեղուկներում շփման ուժի առաջացումը պայմանավորված է նրա առանձին շերտերի շարժման տարբեր արագություններով, որի հետևանքով կատարվում է մոլեկուլների կարգավորված շարժման իմպուլսի փոխանցում:

**Փոխանցման երևույթների քանակական ուսումնասիրությունը**

Եթե փոխանցման հետևանքով  $x$  ուղղությամբ կատարվում է որևէ  $\Phi$  մեծության արժեքների հավասարեցում, ապա երկարության միավորի վրա նրա փոփոխությունը կարտահայտվի  $\frac{d\Phi}{dx}$  մեծությամբ: Այդ մեծությունը կոչվում է **գրադիենտ**: Եթե  $\Phi$  մեծության փոփոխությունը  $x$  առանցքով կատարվում է հավասարաչափ, ապա գրադիենտը կորոշվի հետևյալ բանաձևով.

$$\frac{d\Phi}{dx} = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta x},$$

հոսքի ուղղությունը  


Նկ. 4.1.

որտեղ  $\Phi_1$ -ը և  $\Phi_2$ -ը տվյալ փոփոխվող մեծության արժեքներն են իրարից  $\Delta x$  հեռավորության վրա (նկար 4.1.):  $\Phi$  մեծության հոսքի ուղղությունը համընկնում է  $\Phi$  մեծության նվազման ուղղության հետ: Քանի որ միշտ  $\Phi_1 > \Phi_2$ , ապա  $\frac{d\Phi}{dx} < 0$ :  $\Phi$  մեծության հոսք կոչվում է  $x$  առանցքին ուղղահայաց միավոր մակերեսից միավոր ժամանակում հաղորդված  $\Phi$  մեծության չափը և նշանակվում է  $I_\phi$ : Բոլոր փոխանցման երևույթների համար գոյություն ունի մի ընդհանուր օրենք.  $\Phi$  մեծության հոսքը ուղիղ համեմատական է այդ մեծության գրադիենտին:

$$I_\phi = -\alpha_\phi \frac{d\Phi}{dx} \tag{4.1.}$$

որտեղ  $\alpha_\phi$ -ն համեմատականության գործակից է և որոշվում է փոխանցման պրոցեսի տեսակով:

Եթե փոխանցման պրոցեսի ընթացքում  $\frac{d\Phi}{dx} = const$ , ապա այդպիսի պրոցեսը կոչվում է ստացիոնար, իսկ եթե  $\frac{d\Phi}{dx}$ -ը բացարձակ արժեքով

նվազում է, ապա ոչ ստացիոնար:

**Դիֆուզիա:** Փոխանցման պրոցեսների տեսակներից է դիֆուզիան՝ տարբեր նյութերի ինքնաբերաբար, իրար մեջ ներթափանցելու երևույթը: Դիֆուզիան ընթանում է, եթե գոյություն ունի մոլեկուլների թվի, խտության անհամասեռություն: Դիֆուզիայի պրոցեսում համակարգը բնութագրող մնացած պարամետրերը (ջերմաստիճան, ճնշում) մնում են անփոփոխ:

Գազային խառնուրդի որևէ բաղադրիչի փոխանցման պրոցեսը կոչվում է **ինքնադիֆուզիա:** Դիտարկենք  $x$  առանցքով կատարվող ինքնադիֆուզիայի երևույթը: Դիֆուզիայի հոսքը կորոշվի  $I_N = \frac{dN}{Sdt}$  արտա-

հայտությամբ: Մասնիկների  $I_N$  հոսքի և կոնցենտրացիայի գրադիենտի միջև կապը որոշվում է հետևյալ բանաձևով, որը կոչվում է **Ֆիկի** օրենք.

$$I_N = -D \left( \frac{dn}{dx} \right)_{P,T} ; \quad (4.2.)$$

Ֆիկի օրենքը կարելի է գրել նաև տեղափոխված նյութի զանգվածի միջոցով՝

$$I_M = -D \left( \frac{dp}{dx} \right)_{P,T} , \quad (4.3.)$$

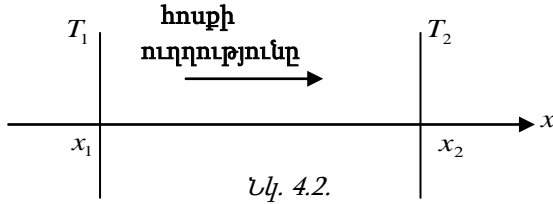
որտեղ  $D$  համեմատականության գործակիցը կոչվում է դիֆուզիայի գործակից: (4.2.) և (4.3.) բանաձևերից կարելի է որոշել  $S$  մակերեսից  $dt$  ժամանակամիջոցում տեղափոխված մասնիկների քանակը կամ նյութի զանգվածը:

$$dN = -D \left( \frac{dn}{dx} \right)_{P,T} Sdt, \quad dM = -D \left( \frac{dp}{dx} \right)_{P,T} Sdt :$$

Հաշվումները ցույց են տալիս, որ գազերի համար  $D = \frac{1}{3} \lambda \bar{V}$ , որտեղ  $\lambda$ -ն

ազատ վազքի միջին երկարությունն է, իսկ  $\bar{V}$ -ն՝ արագության մեծության միջին արժեքը:

**Ջերմահաղորդականություն:** Ենթադրենք՝  $x$  առանցքի ուղղությամբ ջերմաստիճանը կետից կետ փոխվում է, այսինքն՝ ֆունկցիա է  $x$ -ից, մինչդեռ այդ առանցքի ուղղահայաց հարթության մեջ ջերմաստիճանը ամենուրեք նույնն է (նկար 4.2.):



Քանի որ ջերմության հոսքի ուղղությունը համընկնում է ջերմաստիճանի նվազման ուղղությանը, ապա համաձայն փոխանցման երևույթների

(4.1.) հավասարման՝ ջերմության հոսքը  $I_Q = \frac{dQ}{Sdt}$  ուղիղ համեմատական

է ջերմաստիճանի գրադիենտին (Ֆուրյեի օրենք)՝

$$I_Q = -\chi \frac{dT}{dx} : \quad (4.4.)$$

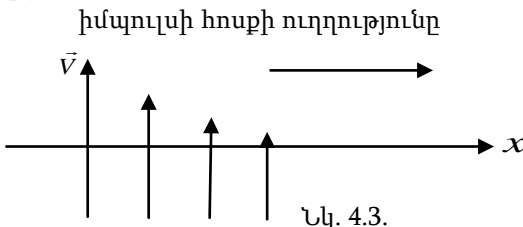
(4.4.) հավասարման մեջ մտնող  $\chi$  համեմատականության գործակիցը կոչվում է ջերմահաղորդականության գործակից:

(4.4.) բանաձևից կարելի է որոշել  $S$  մակերեսից  $dt$  ժամանակամիջոցում հաղորդված ջերմաքանակը՝

$$dQ = -\chi \frac{dT}{dx} Sdt$$

**Մածուցիկություն (ներքին շփում):** Ենթադրենք՝ հեղուկի կամ գազի շերտերի շարժման արագության փոփոխությունը կատարվում է  $x$  առանցքի ուղղությամբ (նկար 4.3.):

$x$  առանցքին ուղղահայաց ուղղությամբ բոլոր կետերում շարժման արագությունը նույնն է: Դա նշանակում է, որ  $V$  արագությունը ֆունկցիա է միայն  $x$ -ից:



Համաձայն փոխանցման երևույթների (4.1.) հավասարման՝ տարբեր արագությամբ շարժվող շերտերի միջև առաջացող ներքին շփման ուժը ուղիղ համեմատական է արագության գրադիենտին՝  $\left(\frac{dV}{dx}\right)$

$$F = -\eta \frac{dV}{dx}, \quad (4.5)$$

որտեղ  $F$ -ը երկու հարևան շերտերը բաժանող մակերևույթի  $1 \text{ մ}^2$ -ի վրա ազդող ուժն է:  $\eta$  գործակիցը կոչվում է դինամիկ մածուցիկության կամ ներքին շփման գործակից և կախված է հեղուկի (գազի) հատկություններից:  $\eta$ -ն թվապես հավասար է  $1 \text{ մ}^2$ -ի վրա ազդող ուժին արագության միավոր գրադիենտի դեպքում:

Հեղուկների համար (4.5.) բանաձևը ստացվել է Նյուտոնի կողմից և կոչվում է Նյուտոնի բանաձև:  $S$  մակերեսի վրա ազդող ներքին շփման ուժը կորոշվի

$$F = -\eta \frac{dV}{dx} S : \quad (4.6)$$

$\eta$ -ի չափման միավորը կարող ենք սահմանել (4.6.) բանաձևից, որը ցույց է տալիս  $[\eta] = \frac{\text{ն} \cdot \text{վ}}{\text{մ}^2} = \frac{\text{կգ}}{\text{վ} \cdot \text{մ}} = 10 \frac{\text{գ}}{\text{վ} \cdot \text{սմ}}$ : Մածուցիկության չափման

$1 \frac{\text{գ}}{\text{վ} \cdot \text{սմ}}$  միավորը կոչվում է պուազ: Ներքին շփման ուժը դանդաղեցնում է

հեղուկի ավելի արագ շարժվող շերտերի արագությունները և արագացնում ավելի դանդաղ շարժվողներինը:

Բացի դինամիկ մածուցիկության գործակցից, օգտագործվում է նաև կինեմատիկական մածուցիկության գործակիցը ( $\nu$ ), որը որոշվում է

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (4.7.)$$

բանաձևով, որտեղ  $\rho$ -ն հեղուկի (գազի) խտությունն է:

Հեղուկները, ըստ իրենց մածուցիկության հատկության, բաժանվում են նյուտոնյան և ոչ նյուտոնյան հեղուկների:

Հեղուկները կոչվում են նյուտոնյան, եթե նրանց մածուցիկության գործակիցը կախված է միայն նրա տեսակից և ջերմաստիճանից: Նյուտոնյան հեղուկների համար ճիշտ է (4.6.) բանաձևը և  $\eta$  համեմատականության գործակիցը հաստատուն մեծություն է՝ անկախ հեղուկի հոսքի բնույթից: Դինամիկ մածուցիկության կախումը ջերմաստիճանից

հեղուկների համար լավ նկարագրվում է  $\eta = Ae^{\frac{B}{T}}$  բանաձևով, որտեղ  $A$  և  $B$  գործակիցները որոշվում են միայն հեղուկի տեսակով: Բանաձևից հետևում է, որ ջերմաստիճանի բարձրացման ժամանակ նյուտոնյան հեղուկների մածուցիկության գործակիցը արագ նվազում է:

**Ոչ նյուտոնյան կոչվում են այն հեղուկները**, որոնց մածուցիկության գործակիցը կախված է ոչ միայն հեղուկի տեսակից և ջերմաստիճանից, այլև հեղուկի հոսքի բնույթից, մասնավորապես  $\frac{dV}{dx}$  արագության գրադի-  
 ենտից: Այդպիսի հեղուկների համար մածուցիկության գործակիցը հաս-  
 տատուն մեծություն չէ,  $F$  ներքին շփման ուժը դադարում է գծային  
 կախված լինել  $\frac{dV}{dx}$  գրադիենտից: Ընդհանուր դեպքում՝

$$F \sim \left( \frac{dV}{dx} \right)^n, \quad (4. 8.)$$

որտեղ  $n$  պարամետրը տվյալ հոսքի պայմաններում բնութագրում է հեղուկի մեխանիկական հատկությունները:

Ոչ նյուտոնյան հեղուկի օրինակ է **սուսպենզիան**: Այն այնպիսի հեղուկ է, որի մեջ հավասարաչափ բաշխված են իրար հետ չփոխազդող մասնիկներ: Այդպիսի համակարգի հատկությունները առաջին հերթին կախված են հեղուկի  $\eta_0$  գործակցից: Ընդհանուր դեպքում նշված համակարգի մածուցիկությունը՝  $\eta$ -ն կախված է լուծված մասնիկների կոնցենտրացիայից և նրանց ձևից: Փոքր կոնցենտրացիաների դեպքում այդ կախումը ունի հետևյալ տեսքը.

$$\eta = \eta_0 (1 + kc), \quad (4. 9.)$$

որտեղ  $k$  գործակիցը կախված է մասնիկների երկրաչափական կառուց-  
 վածքից (ձև, չափեր): Օրինակ սֆերիկ մասնիկների դեպքում

$$k = 2,5 \cdot V = 2,5 \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{10}{3} \pi R^3,$$

որտեղ  $R$ -ը գնդի շառավիղն է:

Եթե հեղուկի հոսքի ընթացքում լուծված մասնիկների երկրաչափական ձևը կամ չափերը փոփոխվում են, ապա  $\eta$  մածուցիկությունը նույնպես փոփոխվում է: Ոչ նյուտոնյան հեղուկի տիպիկ օրինակ է արյունը:

### **Լամինար և տուրբուլենտ հոսքեր**

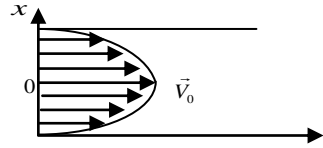
Հեղուկի կամ գազի հոսքը կոչվում է լամինար, երբ հեղուկի (գազի) շեր-  
 տերը թեև հոսում են տարբեր արագություններով, բայց միշտ իրար զու-  
 գահեռ են: Հեղուկի լամինար հոսքի դեպքում արագությունը խողովակի  
 առանցքին ուղղահայաց ( $x$  առանցքով) փոխվում է քառակուսային օրեն-



քով. արագության վեկտորի ծայրակետերը միացնող կորը պարաբոլ է (նկար 4.4.):

Հեղուկի շերտի արագությունը, կախված խողովակի առանցքից ունեցած  $x$  հեռավորությունից, որոշվում է

$$V = V_0 \left( 1 - \frac{x^2}{R^2} \right) \quad (4.10.)$$



Նկ. 4.4.

բանաձևով, որտեղ  $R$ -ը խողովակի շառավիղն է,  $V_0$ -ն խողովակի առանցքով շարժվող շերտի արագությունը (առավելագույն արագությունը):

Հոսքի արագության որոշակի արժեքի դեպքում, որը կախում ունի հեղուկի (գազի) հատկություններից և խողովակի շառավղից, հեղուկի մեջ սկսում են երևան գալ մրրիկներ, որոնք խախտում են տարբեր շերտերի զուգահեռությունը. հոսքը դառնում է **տուրբուլենտ**: Ինչքան փոքր է խողովակի շառավիղը, այնքան ավելի մեծ արագությունների դեպքում է հոսքը դառնում տուրբուլենտ: Տուրբուլենտ հոսքի դեպքում հեղուկի տարբեր մասերի արագությունները, ժամանակից կախված, փոփոխվում են կամայականորեն: Այս դեպքում խողովակով հեղուկի շարժման արագության պրոֆիլը դադարում է պարաբոլ լինելուց:

Հեղուկի հոսքի բնույթը որոշվում է Ռեյնոլդսի թվով ( $Re$ ): Գլանային խողովակով հեղուկի հոսքի դեպքում

$$Re = \frac{2RV\rho}{\eta}, \quad (4.11.)$$

որտեղ  $V$ -ն ուղղահայաց հատույթով հեղուկի հոսքի միջին արագությունն է,  $R$ -ը խողովակի շառավիղը:

Եթե  $Re$  թիվը փոքր է  $Re_{կր} = 2300$  կրիտիկական արժեքից, ապա հեղուկի հոսքը լամինար է: Եթե  $Re > Re_{կր}$ , ապա հոսքը դառնում է տուրբուլենտ:

Սովորաբար արյան հոսքը անոթներով լամինար է: Մակայն որոշ դեպքում առաջանում են տուրբուլենտություններ, օրինակ՝ անոթների ճյուղավորման հատվածներում, արյան հոսքի արագության մեծացման պատճառով, արյան անոթների տեղային նեղացման (տրոմբ) պատճառով և այլն:

**Պուազեյի բանաձևը:** Քանի որ արյունատար անոթները տարբեր տրամագծի գլանային խողովակներ են, ուստի դիտարկենք հեղուկի լամինար հոսքը գլանային խողովակով: Գլանային խողովակով հոսող հեղուկի դեպքում արագության բաշխումը պատկերված է նկար 4.4-ում:

Եթե խողովակի  $l$  երկարության վրա հեղուկի ճնշումների տարբերությունը  $\Delta p$  է, ապա հաշվումները ցույց են տալիս, որ ստացիոնար լամինար հոսքի դեպքում միավոր ժամանակում խողովակի հատույթով տեղափոխված հեղուկի ծավալը որոշվում է Պուազեյլի բանաձևով՝

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{\Delta p}{l} : \quad (4.12.)$$

(4.12.) բանաձևից հետևում է, որ տվյալ ճնշումների տարբերության դեպքում խողովակով տեղափոխված հեղուկի ծավալը մեծ է այն դեպքերում, երբ փոքր է  $\eta$  մածուցիկությունը և մեծ խողովակի շառավիղը: Պուազեյլի բանաձևը կիրառելի է միայն լամինար հոսքի դեպքում:

$W = \frac{8\eta l}{\pi R^4}$  մեծությունը կոչվում է անոթների հիդրավլիկ դիմադրություն: (4.12.) բանաձևը  $W$ -ի միջոցով կգրվի

$$\Delta p = WQ : \quad (4.13.)$$

$Q$ -մեծությունը շատ հաճախ կոչվում է հեղուկի **ծավալային արագություն**:

(4.13.) բանաձևից հետևում է, որ արյան ճնշման անկումը անոթներում կախված է արյան հոսքի ծավալային արագությունից և մեծապես կախված է անոթի շառավղից: Օրինակ՝ 20%-ով շառավղի փոքրացումը հանգեցնում է 2 և ավելի անգամ  $\Delta p$  -ի մեծացմանը:

Արյունատար անոթների բացվածքի չնչին փոփոխությանը էապես ազդում է  $\Delta p$  ճնշումների տարբերությանը: Այդ պատճառով մարդու արյան ճնշումը կարգավորող հիմնական դեղամիջոցները անմիջական ազդում են արյունատար անոթների բացվածքի վրա:

Պուազեյլի բանաձևը կիրառելի է, եթե առկա են հետևյալ պայմանները.

1. Հեղուկի հոսքը լամինար է:
2. Հեղուկը հոմոգեն է:
3. Խողովակները գլանային, ուղիղ և կոշտ են:
4. Հեղուկի հոսքի ուսումնասիրությունը պետք է իրականացվի խոտորման աղբյուրներից հեռու տիրույթներում:

### **Թեստային օրինակներ**

1. Ո՞ր մեծությունն է կոչվում  $\Phi$  մեծության գրադիենտ.

ա)  $\frac{d\Phi}{dx}$ ,      բ)  $\frac{d^2\Phi}{dx^2}$ ,      գ)  $d\Phi, \eta) \int \Phi(x)dx$

2. Տարբեր նյութերի ինքնաբերաբար, իրար մեջ ներթափանցելու երևույթը կոչվում է՝

- ա) մածուցիկություն
- բ) ջերմահաղորդականություն
- գ) ներքին շփում
- դ) դիֆուզիա

3. Ներքին շփման (դինամիկ մածուցիկության) գործակցի չափման միավորն է՝

- 1) նվ/մ<sup>2</sup>
- 2) կգ/վմ
- 3) կգ/մ<sup>2</sup> վ
- 4) կգ/մվ<sup>2</sup>

- ա) միայն 1,3
- բ) միայն 1,2
- գ) միայն 1,4
- դ) միայն 3

4. Հեղուկներն ըստ իրենց մածուցիկության հատկության բաժանվում են ... հեղուկների

- ա) նյուտոնյան և արքիմեդյան
- բ) նյուտոնյան և ոչ նյուտոնյան
- գ) պուազեյյան և ոչ պուազեյյան
- դ) կինեմատիկական և դինամիկական

5. Սուսպենզիան ոչ նյուտոնյան հեղուկ է, որի մածուցիկությունը որոշվում է ... բանաձևով:

ա)  $\eta = \eta_0 \left(1 + \frac{k}{c}\right)$ ,      բ)  $\eta = \eta_0 kc$ ,      գ)  $\eta = \eta_0 (1 + kc)$ ,      դ)  $\eta = \eta_0 (1 + k)$

6. Հեղուկի լամինար հոսքի դեպքում արագությունը խողովակի առանցքին ուղղահայաց ուղղությամբ փոխվում է ... օրենքով.

- ա) խորանարդային
- բ) գծային
- գ) լոգարիթմական
- դ) քառակուսային

7.  $W = \frac{8\eta l}{\pi R^4}$  մեծությունը կոչվում է անոթների՝

- ա) հիդրավիլի դիմադրություն
- բ) լամինարության չափանիշ
- գ) Ռեյնոլդսի թիվ
- դ) ծավալային արագություն

8. Կինեմատիկական մածուցիկության գործակցի ( $\nu$ ) չափման միավորն է՝

- ա) կգ/վմ,
- բ) մ<sup>2</sup>/վ,
- գ) կգ մ<sup>2</sup>/վ,
- դ) պուազ

9. Ջերմահաղորդականության գործակցի չափման միավորը չէ՝

- ա) Ջ/մվԿ,
- բ) Ն/ Կվ,
- գ) կգմ/ վ<sup>3</sup>Կ,
- դ) կգմ/ վ<sup>2</sup>Կ

Պատասխաններ

- 1.ա    2.դ    3.բ    4.բ    5.գ    6.դ    7.ա    8.բ    9.դ:

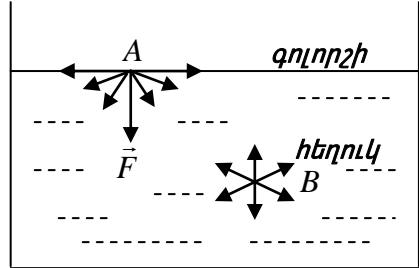
## 5. ՀԵՂՈՒԿՆԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԼԱՐՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆ, ԼԱՐՄԱՆ ԳՈՐԾԱԿԻՑ

(Յու. Բաբայան)

Հեղուկի այն մակերևույթը, որը հպվում է այլ միջավայրի հետ, օրինակ, իր իսկ սեփական գույրը չի կամ այլ հեղուկի կամ պինդ մարմնի հետ (մասնավորապես այն անոթի պատերի հետ, որտեղ այն գտնվում է), ի

տարբերություն հեղուկի մնացած զանգվածի, գտնվում է առանձնահատուկ պայմաններում:

Այդ առանձնահատուկ պայմաններն առաջանում են նրանից, որ հեղուկի սահմանեզրում գտնվող մոլեկուլները (նկար 5.1-ի A մոլեկուլ), ի տարբերություն նրա խորքում գտնվող մոլեկուլների (նկար 5.1-ի B մոլեկուլ), ոչ բոլոր կողմերից են շրջապատված այդ նույն հեղուկի մոլեկուլներով: Այդ պատճառով հեղուկի մակերևութային շերտի մոլեկուլները, ունենալով տարբեր օհարևաններ, տարբեր ձևով էլ փոխազդեցության մեջ են մտնում նրանց հետ: Դրա հետևանքով այդ շերտի յուրաքանչյուր մոլեկուլի վրա ազդող ուժերը լինում են չհավասարակշռված, և առաջանում է մի համագոր ուժ, որն ուղղված է կա՛մ հեղուկի ծավալի կողմը, կա՛մ նրան սահմանակից միջավայրի ծավալի կողմը (նկար 5.1.):



Նկար 5.1-ում մակերևութի A մոլեկուլի վրա ազդող համագոր ուժը ուղղված է դեպի հեղուկի ներսը և կատարելով դրական աշխատանք՝ Նկ. 5.1.

ձգտում է փոքրացնել հեղուկի մակերևութի մակերեսը, իսկ խորքի B մոլեկուլի վրա ազդող համագոր ուժը հավասար է զրոյի: Հետևաբար շարժվելով մակերևութի շերտից դեպի հեղուկի խորքը՝ մոլեկուլը կատարում է դրական աշխատանք: Ընդհակառակը, մոլեկուլների անցումը հեղուկի ծավալից դեպի մակերևութ ուղեկցվում է բացասական աշխատանքով, այսինքն՝ արտաքին ուժերն են աշխատանք կատարում:

Եթե հաստատուն շերմաստիճանի դեպքում հեղուկի մակերևութի մակերեսը փոփոխվել է  $dS$  մեծությամբ, ապա դրա համար անհրաժեշտ  $dA$  աշխատանքը կորոշվի

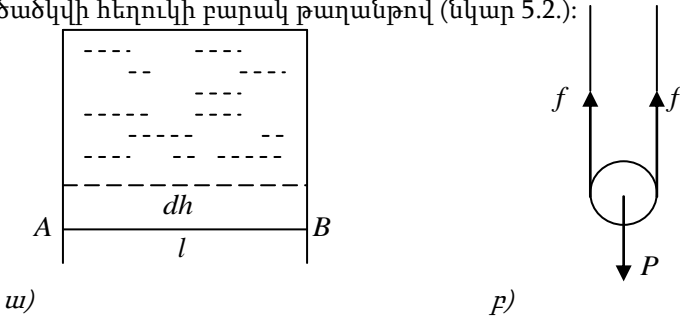
$$dA = -\sigma dS \tag{5.1.}$$

բանաձևով, որտեղ  $\sigma$  համեմատականության գործակիցը կոչվում է մակերևութային լարման գործակից և բնութագրում է տվյալ հեղուկը: (5.1.) բանաձևում բացասական նշանը ցույց է տալիս, որ մակերևութի մակերեսի մեծացումը  $dS > 0$  ուղեկցվում է բացասական աշխատանքով:

Մակերևութային լարման գործակցի սահմանումից հետևում է, որ  $\sigma$  -ն ունի  $\frac{G}{\delta^2} = \frac{G}{\delta}$  չափողականություն:

Ցանկացած համակարգ ձգտում է նվազագույն ազատ էներգիայով վիճակի: Այդ պատճառով հեղուկի մակերևույթի երկայնքով ազդում են ուժեր, որոնք ձգտում են կրճատել հեղուկի մակերևույթի մակերեսը: Այդ ուժերը կոչվում են մակերևույթի լարվածության ուժեր:

Որոշ հեղուկներ, օրինակ, օճառաջուրը, ունեն բարակ թաղանթներ առաջացնելու հատկություն: Եթե մետաղալարից պատրաստված մի կողմը (AB) շարժական շրջանակը խորասուզենք օճառաջրի մեջ, ապա այն կծածկվի հեղուկի բարակ թաղանթով (նկար 5.2.):



Նկ. 5.2.

Մակերևութային լարման ուժերը ստիպում են թաղանթին կրճատվել, որի հետևանքով շարժական AB ձողը տեղաշարժվում է դեպի վեր (նկար 5.2.ա): Այսինքն՝ թաղանթում գործող մակերևութային լարման ուժերը ուղղահայաց են AB ձողին, որը բաժանման գիծն է (նկար 5.2.բ): Պարզ է, որ այդ ուժերը գործում են նաև քառանկյան մյուս կողմերի վրա: Ենթադրենք՝ մակերևութային լարման ուժի ազդեցությամբ AB ձողը տեղաշարժվել է dh-չափով, ուրեմն այդ ուժի կատարած աշխատանքը կլինի

$$dA = f dh, \quad (5.2.)$$

որտեղ  $f$ -ը օճառաջրի մեկ մակերևույթի վրա ազդող մակերևույթի լարման ուժն է:

Համաձայն (5.1.) սահմանման՝  $dA = -\sigma dS$  որտեղ  $dS = -l dh$ , հետևաբար  $dA$  կլինի

$$dA = \sigma dh: \quad (5.3.)$$

Հավասարեցնելով (5.2.) և (5.3.) արտահայտությունները՝ կստանանք

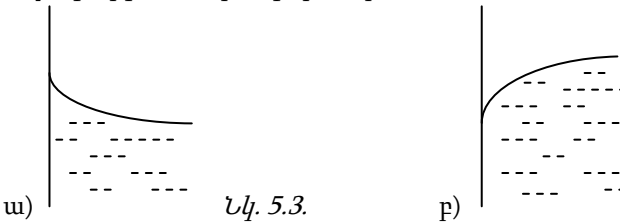
$$\sigma = \frac{f}{l}: \quad (5.4.)$$

Մակերևութային լարման գործակիցը որոշվում է միջուկեկուլային փոխազդեցության ուժերով և բնութագրում է հեղուկի տեսակը:

Ջերմաստիճանի մեծացման հետ (հեռու կրիտիկական ջերմաստիճանից)  $\sigma$  -ն համարյա գծային նվազում է:

**Թրջող և չթրջող հեղուկներ**

Անոթում լցված հեղուկի մասնիկների և պինդ մարմնի մասնիկների փոխազդեցությունն ազդում է նաև հեղուկի մակերևույթի ձևի վրա: Եթե հեղուկի մեծ քանակություն լցված է լայն անոթի մեջ, ապա նրա մակերևույթի ձևը որոշվում է ծանրության ուժով, որը բնականաբար ապահովում է հարթ և հորիզոնական մակերևույթ: Սակայն անոթի պատերին շատ մոտ մասերում հեղուկի մակերևույթը կորացած է. առաջանում է մենիսկ, գոգավոր՝ թրջող հեղուկների համար (նկար 5.3.ա) և ուռուցիկ՝ չթրջող հեղուկների համար (նկար 5.3.բ):



Պինդ մարմնի հետ հեղուկի բաժանման սահմանին դիտվող թրջման և չթրջման երևույթների շնորհիվ է, որ հեղուկը պինդ մարմնի մակերևույթին առաջացնում է կաթիլ (հիդրոֆոբ մակերևույթ) կամ համարյա մոնոմոլեկուլային շերտով տարածվում է պինդ մարմնի մակերևույթին (հիդրոֆիլ մակերևույթ):

**Մագական երևույթներ: Լապլասի բանաձևը:** Հեղուկի մակերևույթի կորացումը հանգեցնում է մակերևութային շերտերի կողմից ավելի խոր շերտերի վրա լրացուցիչ ճնշման առաջացման: Դիտարկենք  $r$  շառավիղով հեղուկի գնդաձև կաթիլ: Գնդային մակերևույթի տակ հեղուկի ծավալը մակերևութային լարման ուժերի ազդեցությամբ միշտ գտնվում է սեղմված վիճակում, այսինքն՝ մակերևույթի վրա ազդում է լրացուցիչ ճնշում: Ենթադրենք՝ այդ  $p$  ճնշման ազդեցությամբ հեղուկ գնդի շառավիղը փոքրացել է  $dr$ -ով, իսկ ծավալը՝  $dV$ -ով:

Սեղմման  $dA$  աշխատանքը կորոշվի՝

$$dA = pdV : \tag{5.5.}$$

Միաժամանակ  $dA$ -ի մեծությունը՝ համաձայն (5.1.) սահմանման՝

$$dA = \sigma dS : \tag{5.6.}$$

Գնդի մակերևույթի մակերեսի և ծավալի

$$S = 4\pi r^2 \quad \text{և} \quad V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

բանաձևերից դրանք փոփոխելու համար ստանում ենք հետևյալ արտահայտությունները.

$$dS = 8\pi r dr \quad dV = 4\pi r^2 dr :$$

Տեղադրելով (5.5.) և (5.6.) արտահայտություններում՝ կստանանք

$$p = \frac{2\sigma}{r} \quad (5.7.)$$

Գնդային մակերևույթի համար հեղուկի մակերևույթի կորությամբ պայմանավորված լրացուցիչ ճնշման բանաձևը կոչվում է *Լապլասի բանաձև*:

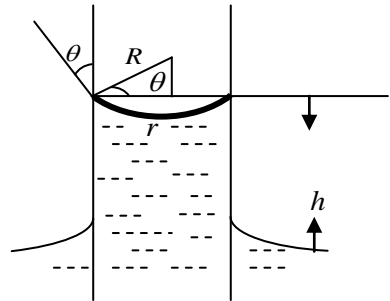
### Մագական երևույթներ

Անոթի պատերի հետ հեղուկի փոխազդեցության հետևանքով մակերևութային լարվածության ուժերը ձգտում են բարձրացնել կամ իջեցնել հեղուկի մակարդակը խողովակում: Եթե անոթի պատերը տրված հեղուկի համար թրջելի են, ապա հեղուկը բարձրանում է, հակառակ դեպքում՝ իջնում: Ենթադրենք՝ հեղուկը բարձրացել է որևէ  $h$  չափով, ապա հավասարակշռության վիճակում հիդրոստատիկ ճնշումը հավասարակշռվում է մակերևույթի կորությամբ պայմանավորված ճնշումով (նկար 5.4.):

$$\rho gh = \frac{2\sigma}{R} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}, \quad (5.8.)$$

որտեղ  $R$ -ը հեղուկի մակերևույթի կորության շառավիղն է, իսկ  $r$ -ը՝ խողովակի շառավիղը: (5.8)-ից կորոշվի  $h$  բարձրությունը՝

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho gr} : \quad (5.9.)$$

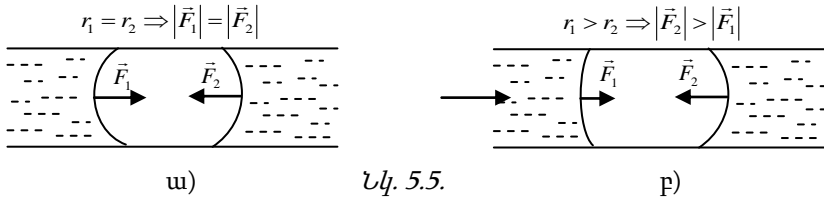


Եթե հեղուկի մակերևույթի կորության շառավիղը և խողովակի շառավիղը նույն կարգի են, ապա նման Նկ. 5.4. խողովակները կոչվում են մագական, իսկ դրանցում կատարվող երևույթները՝ մագական երևույթներ:

Մագական երևույթները մեծ դեր են կատարում կենդանական և բուսական աշխարհում: Դրա շնորհիվ է, որ ջուրը ծառերի ցողուններով կարող է հասնել մի քանի տասնյակ մետր բարձրության վրա և այլն:

Դիտարկենք օդի պղպջակի վարքը մագական խողովակում, որտեղ հեղուկ կա: Եթե պղպջակի տարբեր կողմերի վրա հեղուկի կողմից ազդող ճնշումները հավասար են, ապա պղպջակի 2 մակերևույթների կորության

շառավիղները կլինեն իրար հավասար, և դրա վրա ազդող ճնշման ուժերը հավասար կլինեն մոդուլով, ուղղությամբ հակառակ՝  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$  (նկար 5.5.ա)



Հեղուկի հոսքի դեպքում առաջանում է ճնշումների տարբերություն, որի հետևանքով կոր մակերևույթները դեֆորմացվում են (նկար 5.5.բ): Լրացուցիչ ճնշումների հետևանքով առաջացած ուժերը հիմա չեն համակշռի, որի հետևանքով օդի պղպջակը որոշակի ազդեցություն կգործի հեղուկի հոսքի վրա: Քանի որ պղպջակի վրա ազդող համագոր ուժը ուղղված է հեղուկի հոսքին հակառակ, ապա դրա հետևանքով կդանդաղի կամ ընդհանրապես կդադարի հեղուկի հոսքը: Նման երևույթ կարող է կատարվել արյան մազական խողովակներում: Արյան մեջ թափանցած օդի պղպջակները կարող են խցանել նեղ, մազական արյան անոթները: Այդ երևույթը կոչվում է էմբոլիա:

### Թեստային օրինակներ

#### 1. Մակերևութային լարման ուժերը՝

- 1) ձգտում են կրճատել հեղուկի մակերևույթի մակերեսը
  - 2) ձգտում են մեծացնել հեղուկի մակերևույթի մակերեսը
  - 3) որոշվում են  $f = \sigma l^2$  բանաձևով
  - 4) ձգտում են փոքրացնել հեղուկի մակերևութային էներգիան
- ա) միայն 1,4      բ) միայն 3,4      գ) միայն 2,3,4      դ) բոլորը սխալ են

#### 2. Մակերևութային լարման ուժերը՝

- 1) որոշում են հեղուկի մակերևույթի կորության շառավիղը մազական խողովակներում
  - 2) կախված չեն հեղուկի մասնիկների միջմոլեկուլային փոխազդեցության ուժերից
  - 3) ազդում են հեղուկի կոր մակերևույթի հագեցած գոլորշու ճնշման վրա
  - 4) որոշվում են Լապլասի բանաձևով
- ա) միայն 1,4      բ) միայն 1,3      գ) միայն 1,2,3      դ) բոլորը ճիշտ են

**3. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում մազական խողովակում մակերևութային լարվածության ուժերով պայմանավորված հեղուկի մակարդակը.**



$$\text{ա) } h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r}, \quad \text{բ) } h = \frac{2\sigma}{g r}, \quad \text{գ) } h = \frac{2\sigma \cos \alpha}{\rho r}, \quad \text{դ) } h = \frac{2\sigma r \cos \theta}{\rho g}$$

4. Հեղուկի գնդային մակերևույթի համար Լապլասի բանաձևը գրվում է՝

$$\text{ա) } p = \frac{2\sigma}{r}, \quad \text{բ) } p = \frac{\sigma}{2r}, \quad \text{գ) } p = \frac{\sigma}{r},$$

դ) բոլոր պատասխանները սխալ են

5. Մակերևութային լարման գործակցի չափման միավոր չէ

$$\text{ա) } \text{Ջ/մ}^2 \quad \text{բ) } \text{Ն/մ} \quad \text{գ) } \text{Ջ/մ} \quad \text{դ) } \text{կգ/վ}^2$$

### Պատասխաններ

1.ա 2.բ 3.ա 4.ա 5.գ:

## 6. ԹԵՐՄՈՂԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՏԱՐԲԵՐԸ

(Յու. Բաբայան)

Մեծ թվով մասնիկներից բաղկացած համակարգը կոչվում է թերմոդինամիկական համակարգ: Հետևաբար ցանկացած կենդանի համակարգ, բջիջ կամ օրգան ընդհանուր առմամբ կարելի է դիտարկել որպես թերմոդինամիկական համակարգ:

Թերմոդինամիկա կոչվում է ֆիզիկայի այն բաժինը, որն ուսումնասիրում է նյութը, երևույթները, նյութը կազմող մասնիկների վարքը՝ այն դիտարկելով որպես մի ամբողջություն:

Թերմոդինամիկայի խնդիրն է առանց պարզաբանելու հետազոտվող երևույթի մոլեկուլային մեխանիզմները կամ հետազոտվող մարմնի կառուցվածքը, հենվելով ընդհանուր օրենքների վրա, որոնք կոչվում են թերմոդինամիկայի սկզբունքներ, ուսումնասիրել հետազոտվող երևույթները կամ մարմինների հատկությունները մակրոսկոպիկ մեծությունների (այնպիսի մեծությունների միջոցով, որոնցով բնութագրվում է համակարգը՝ ամբողջությամբ վերցրած) օգնությամբ:

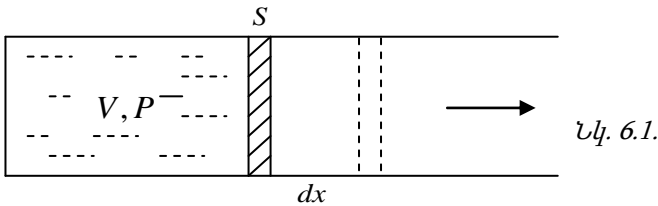
Թերմոդինամիկան հենվում է 3 սկզբունքների վրա: Դրանցից առաջինը ներկայացնում է էներգիայի պահպանման օրենքը՝ կիրառված ջերմային երևույթների նկատմամբ, երկրորդը որոշում է թերմոդինամիկական պրոցեսների ուղղությունը, իսկ երրորդը սահմանափակում է թերմոդինամիկական պրոցեսների հնարավորությունները՝ պնդելով բացարձակ զրո ջերմաստիճանի անհասանելիությունը:

Թերմոդինամիկական համակարգերը բնութագրող հիմնական մակրոսկոպական պարամետրերն են ծավալը (V), ճնշումը (P), ջերմաստիճանը (T) և զանգվածը (m): Համակարգը կարող է լինել հավասարակշիռ և ոչ հավասարակշիռ վիճակներում: Համակարգի հավասարակշիռ վիճակ

կոչվում է այնպիսի վիճակը, որը բնութագրվում է ժամանակից կախում չունեցող պարամետրերով, այսինքն՝ այն բնութագրող մակրոսկոպիկ պարամետրերը մնում են հաստատուն: Համակարգի մի հավասարակշիռ վիճակից մյուսին անցումը կոչվում է պրոցես:

Այն պրոցեսները, որոնց ընթացքում համակարգը ամբողջ ժամանակ մնում է հավասարակշռության վիճակում, կոչվում են ստացիոնար պրոցեսներ:

**Աշխատանքը թերմոդինամիկայում:** Ենթադրենք՝ համակարգը ընդարձակվելով կատարում է աշխատանք: Պարզության համար ենթադրենք՝ ընդարձակումը կատարվել է  $dx$  չափով հաստատուն  $P$  ճնշման դեպքում (նկար 6.1.):



Համաձայն մեխանիկական աշխատանքի սահմանման՝

$$dA = F dx \cos 0 = p S dx = p dV \quad (6.1.)$$

Օրինակ՝ հաշվել 1 մոլ իդեալական գազի կատարած աշխատանքը իզոթերմ պրոցեսում, եթե ծավալն աճել է  $V_1$ -ից  $V_2$

$$dA = p dV = \frac{RT}{V} dV$$

$$A = \int_1^2 \frac{RT}{V} dV = RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

**Ջերմություն կամ ջերմության քանակ:** Փորձից հայտնի է, որ 2 մարմինների հպման ժամանակ նրանց ջերմային վիճակները հավասարվում են. տաք մարմնից դեպի սառը մարմին փոխանցվում է ջերմության քանակ: Փաստորեն ջերմությունը մոլեկուլների քառասային շարժման տեսքով ներկայացված էներգիան է, նշանակվում է  $Q$  տառով:

Մասնիկների քառասային շարժման կինետիկ էներգիայի և դրանց փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիաների գումարը կոչվում է ներքին էներգիա: Այն նշանակվում է  $U$  տառով, իսկ նրա անվերջ փոքր փոփոխությունը՝  $dU$ :

**Թերմոդինամիկայի I սկզբունքը:** Եթե համակարգին հաղորդվել է  $Q$  ջերմաքանակ, որի հետևանքով այն կատարել է  $A$  աշխատանք և նրա

ներքին էներգիան փոխվել է  $\Delta U$  չափով, ապա համաձայն թերմոդինամիկայի առաջին սկզբունքի՝

$$Q = \Delta U + A: \quad (6.2.)$$

(6.2.) արտահայտությունը դիֆերենցիալ տեսքով կգրվի՝

$$dQ = dU + dA: \quad (6.3.)$$

**Թերմոդինամիկայի II սկզբունքը:** Ինչպես արդեն նշվեց, թերմոդինամիկայի երկրորդ սկզբունքը որոշում է թերմոդինամիկական պրոցեսների ուղղությունը: Գոյություն ունեն թերմոդինամիկայի երկրորդ սկզբունքի համարժեք մի քանի սահմանումներ:

**Կլաուզիուսի սահմանումը:** Ջերմությունը ինքնաբերաբար չի կարող անցնել ցածր ջերմաստիճան ունեցող մարմնից բարձր ջերմաստիճան ունեցող մարմնին:

**Փոմսոնի սահմանումը:** Անհնար է իրականացնել այնպիսի պարբերական պրոցես, որի միակ արդյունքը կլինի մարմնի սառեցման հետևանքով ջերմության փոխակերպումը աշխատանքի:

Հայտնի է, որ որևէ պրոցեսի հետևանքով համակարգին հաղորդված ջերմության քանակը կախված է պրոցեսի տեսակից, այսինքն՝  $Q$ -ն *վիճակի ֆունկցիա չէ* ( $dQ$  -ն լրիվ դիֆերենցիալ չէ):

**Վիճակի ֆունկցիա** կոչվում են այն բոլոր մեծությունները, որոնց փոփոխությունը կախված չէ պրոցեսի տեսակից, այլ որոշվում է պրոցեսի վերջում և սկզբում նրա ունեցած արժեքների տարբերությամբ: Հաշվումները ցույց են տալիս, որ հավասարակշիռ պրոցեսների համար, չնայած  $dQ$  -ն վիճակի ֆունկցիա չէ, սակայն  $\frac{dQ}{T}$  հարաբերությունը լրիվ դիֆերենցիալ է, այսինքն՝ վիճակի ֆունկցիա է: Այն վիճակի ֆունկցիան, որի դիֆերենցիալը  $\frac{dQ}{T}$  մեծությունն է, կոչվում է էնթալպիա և նշանակվում է  $S$  տառով:

Հետևաբար

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (6.4.)$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}, \quad (6.5.)$$

որտեղ  $S_2$  և  $S_1$  համակարգի էնթալպիայի արժեքներն են համապատասխանաբար վերջնական և սկզբնական վիճակներում: (6.4.) բանաձևից հետևում է, որ էնթալպիայի չափման միավորը  $\text{Ջ/}^\circ\text{C}$ -ն է:

Թերմոդինամիկական համակարգի վիճակը նկարագրելու համար օգտագործվում են մի շարք վիճակի ֆունկցիաներ: Դրանցից առավելապես օգտագործվում են ազատ էներգիան ( $F$ ) և Գիբսի ազատ էներգիան ( $G$ ), որոնք սահմանվում են

$$F(T, V) = U - TS$$

$$G(T, P) = U - TS + PV = F + PV :$$

Համակարգը նկարագրելու համար վիճակի ֆունկցիայի ընտրությունը որոշվում է այն հանգամանքով, թե ինչպիսի թերմոդինամիկական պարամետրերով է հարմար այն նկարագրել:

Թերմոդինամիկայի երկրորդ սկզբունքը կարելի է սահմանել նաև էնթալպիայի միջոցով: Ենթադրենք՝ ունենք մեկուսացված թերմոդինամիկական համակարգ: Մեկուսացված կոչվում են այն համակարգերը, որոնք շրջապատող մարմինների հետ նյութական և էներգետիկ փոխանակման մեջ չեն գտնվում: Համաձայն թերմոդինամիկայի երկրորդ սկզբունքի՝ *մեկուսացված համակարգերում ընթացող պրոցեսներում էնթալպիան կա՛մ մնում է հաստատուն, կա՛մ աճում է:*

Հետևաբար եթե մեկուսացված համակարգերում ընթացող պրոցեսների արդյունքում այն հավասարակշռության վիճակում է, ապա էնթալպիան այդ վիճակում ընդունում է իր առավելագույն արժեքը: Քանի որ ինքն իրեն թողած մեկուսացված համակարգը միշտ ձգտում է հավասարակշռության վիճակի, ապա **էնթալպիան միշտ պետք է աճի:**

Համակարգի էնթալպիայի ֆիզիկական իմաստը կարելի է մեկնաբանել մոլեկուլային կինետիկ տեսության միջոցով:

Ընդհանուր առմամբ էնթալպիան որոշվում է համակարգ կազմող մասնիկների **անկարգավորության աստիճանով:**

Բոլցմանի կողմից ցույց է տրված, որ էնթալպիան կապված է թերմոդինամիկական հավանականության ( $W$ ) հետ հետևյալ բանաձևով.

$$S = k \ln W, \quad (6.6.)$$

որտեղ  $k$ -ն Բոլցմանի հաստատունն է:  $W$  թերմոդինամիկական հավանականությունը միկրովիճակների թիվն է, որոնց միջոցով իրականացվում է տվյալ մակրովիճակը:

Պարզաբանենք միկրովիճակ և մակրովիճակ հասկացություններն ավելի հանգամանորեն: Ենթադրենք՝ ունենք համակարգ՝ բաղկացած  $N$  մասնիկներից, որոնք տարածության մեջ կարող են զբաղեցնել  $N$  հավասար հավանականությամբ դիրքերից յուրաքանչյուրը:

Համակարգի մակրովիճակը համակարգի այն վիճակն է, որտեղ  $N$  մասնիկները զբաղեցնում են  $N$  վիճակներից կամայական  $N_i$ -ը, թե

կոնկրետ որ  $N_i$ -ը, կարևոր չէ: Դիտարկվող մակրովիճակը կարելի է ստանալ տարբեր եղանակներով.  $N_i$  հատ մասնիկները կարելի է տարբեր եղանակներով դասավորել  $N$  տեղերում: Նման բոլոր վիճակները կոչվում են միկրովիճակներ, և դրանք բոլորը որոշում են նույն մակրովիճակը: Օգտվելով միացությունների տեսության սահմանումներից՝ միկրովիճակների թիվը ( $W$ ), որոնց միջոցով իրականանում է ուսումնասիրվող մակրովիճակը, կորոշվի՝

$$W = N! / (N - N_i)! \quad (6.7.)$$

Եթե համակարգը բաղկացած է  $N_i$  միատեսակ մասնիկներից, որոնք դարձյալ բաշխված են  $N$  վիճակներում, ապա  $W = N! / (N - N_i)! N_i!$ :

Նշենք, որ (6.6.) Բուլցմանի բանաձևը ճիշտ է ցանկացած համակարգերի համար՝ անկախ այնտեղ կատարվող պրոցեսների տեսակից (թե՛ հավասարակշիռ, թե՛ անհավասարակշիռ): Բանաձևից հետևում է, որ ինչքան կարգավորված է համակարգը, այսինքն՝ ինչքան քիչ է միկրովիճակների թիվը, որոնց միջոցով իրականացվում է տվյալ մակրովիճակը, այնքան փոքր է համակարգի էնթալպիայի արժեքը: Էնթալպիան, լինելով համակարգի անկարգավորության աստիճանը բնութագրող ֆիզիկական մեծություն, հավասարակշռության վիճակում ձգտում է իր առավելագույն արժեքին, հետևաբար և ինքն իրեն թողած մեկուսացված համակարգը, ձգտելով հավասարակշռության վիճակի, ձգտում է տվյալ հավասարակշռության վիճակում ստանալ էնթալպիայի առավելագույն արժեք:

**Էնթալպիան և ինֆորմացիան:** Էնթալպիայի և ինֆորմացիայի միջև կապը կարելի է հասկանալ հետևյալ դատողությամբ:

Ենթադրենք՝ հայտնի է համակարգի որևէ մակրոսկոպիկ վիճակ, այսինքն՝ որոշակի ճշտությամբ հայտնի է նրա ծավալը, ճնշումը, ջերմաստիճանը, քիմիական կազմությունը, նրա վրա ազդող արտաքին դաշտերը և այլն: Յուրաքանչյուր մակրովիճակի համար գոյություն ունի որոշակի միկրովիճակների համախումբ ( $W$ ): Բոլոր  $W$  միկրովիճակները, որոնք համապատասխանում են տվյալ մակրովիճակին, ունեն նույն հավանականությունը: Համակարգի վերաբերյալ մեր տեղեկությունը կլինի ամբողջական, եթե իմանանք, թե որ միկրովիճակում է այն: Կարելի է հաշվել ինֆորմացիայի քանակը, որն անհրաժեշտ է ստանալ տվյալ մակրովիճակում գտնվող համակարգի վերաբերյալ, որպեսզի հնարավոր լինի միարժեք որոշել նրա միկրովիճակները:

Մտովի պատկերացնենք, որ կատարվել է փորձերի շարք և որոշվել են միկրովիճակները (իրականում դա անհնար է): Մինչև փորձը կատարելը, հավանականությունը, որ համակարգը տվյալ միկրովիճակում է, հավա-

սար է  $P = \frac{I}{W}$ , իսկ փորձից հետո՝  $P_1 = I$ : Ստացված ինֆորմացիայի քանակը, որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$I = \log_2 \frac{P_1}{P} = -\log_2 P: \quad (6.8.)$$

Միկրովիճակների թվի օգնությամբ կատանանք հետևյալը.

$$I = -\log_2 \frac{I}{W} = \log_2 W \quad (6.9.)$$

Համեմատենք (6.9.) բանաձևը (6.6.) բանաձևի հետ: Կարելի է տեսնել, որ էնթրոպիան և ինֆորմացիան որոշվում են  $W$  միջոցով: Հեշտ է նկատել, որ նրանք համընկնում են հաստատուն գործակցի ճշտությամբ: Հետևաբար համակարգի էնթրոպիան ինֆորմացիայի այն քանակն է, որը պակասում է այն լրիվ նկարագրելու համար: Ընդհանուր առմամբ  $I$  և  $S$  մեծություններն էապես նույնական են: Որպեսզի ինֆորմացիայի քանակից (բիթ) անցում կատարվի էնթրոպիային (էնթրոպիայի միավոր), անհրաժեշտ է 2 հիմքով լոգարիթմից անցում կատարել բնական հիմքով լոգարիթմի և բազմապատկել  $k$ -ով:

$$I = \log_2 W = \frac{k \ln W}{k \ln 2} = \frac{S}{k \ln 2} \Rightarrow S = k \ln 2 \cdot I:$$

$$S (\text{Ջ/Կ}) = 9.6 \cdot 10^{23} I (\text{բիթ})$$

Էնթրոպիայի և ինֆորմացիայի դեպքում գործ ունենք նույն իրավիճակի հետ, որը գոյություն ունի էներգիայի ( $E$ ) և զանգվածի ( $m$ ) միջև: Համաձայն  $E = mc^2$  բանաձևի՝  $E$  և  $m$  մեծություններն իրարից տարբերվում են  $c^2$  հաստատուն գործակցով:

Ինչպես գիտենք, հասուն մարդու օրգանիզմում պարունակվում է  $\sim 10^{13}$  բջիջ: Եթե ընդունենք, որ գոյություն չունի 2 միատեսակ բջիջ, ապա ինֆորմացիայի քանակը, որն անհրաժեշտ է այդ բջիջներից մարդ ստանալու համար, կլինի՝

$$I = \log_2 10^{13} \approx 10^{13} \log_2 10^{13} \approx 4 \cdot 10^{14} \text{ բիթ:}$$

Հետևաբար առանձին բջիջներից կարգավորված կառուցվածքի՝ մարդու կազմավորման ժամանակ էնթրոպիայի փոփոխությունը կլինի՝

$$\Delta S = -9.6 \cdot 10^{-23} \cdot 4 \cdot 10^{14} \approx -3.8 \cdot 10^{-8} \text{ Ջ/Կ:}$$

### **Կենդանի օրգանիզմը որպես բաց թերմոդինամիկական համակարգ**

Բոլոր կենսահամակարգերը թերմոդինամիկական բաց համակարգեր են, որոնք շրջապատող մարմինների հետ նյութական և էներգետիկ փոխանակման մեջ են: Որոշ դեպքերում, երբ ուսումնասիրվում է

կենդանի համակարգերում ընթացող այնպիսի պրոցեսներ, որոնք ընթանում են դիտման ժամանակամիջոցից շատ փոքր ժամանակներում (օրինակ՝ քիմիական փոխարկումներ), կամ դիտման ժամանակամիջոցը շատ փոքր է շրջապատի հետ համակարգի փոխազդեցության ժամանակամիջոցից, ապա կենդանի համակարգը կարելի է դիտարկել որպես փակ համակարգ: Այս տեսանկյունից կենդանի և անկենդան բնության մեջ ընթացող պրոցեսները կնկարագրվեն նույն օրենքներով:

Հետևաբար որոշ բացառիկ դեպքերում կենսահամակարգերի վիճակը կարելի է նկարագրել հավասարակշիռ թերմոդինամիկայի օրենքներով: Սակայն հիմնականում անհնար է անտեսել արտաքին մարմինների ազդեցությունը ուսումնասիրվող թե՛ կենդանի, թե՛ անկենդան համակարգերի վրա: Այդպիսի դեպքերում համակարգերը նկարագրելու համար անհրաժեշտ է օգտվել անհավասարակշիռ պրոցեսների թերմոդինամիկայից: Կենդանի համակարգերը, չնայած նրա մեջ կատարվող տարբեր պրոցեսների առկայությանը, կարող են գտնվել որոշակի ստացիոնար վիճակներում: Նշենք, որ չնայած ստացիոնար վիճակներում համակարգը փոխազդում է շրջապատող մարմինների հետ, սակայն այն նկարագրող պարամետրերը ժամանակի ընթացքում չեն փոփոխվում:

Ենթադրենք՝ դիտման ժամանակամիջոցի ընթացքում կարելի է ընդունել, որ կենդանի օրգանիզմը ստացիոնար վիճակում է: Չնայած ստացիոնար վիճակում գտնվող կենդանի օրգանիզմում կատարվում են ոչ հակադարձելի պրոցեսներ (դիֆուզիա, քիմիական ռեակցիաներ և այլն), որոնց հետևանքով էնթոպիան աճում է, այնուամենայնիվ համակարգի էնթոպիան մնում է հաստատուն: Համակարգի էնթոպիայի փոփոխությունը՝  $\Delta S$ -ը, կարելի է ներկայացնել 2 գումարելիների գումարի տեսքով.

$$\Delta S = \Delta S_i + \Delta S_e, \quad (6.10.)$$

որտեղ  $\Delta S_i$ -ն էնթոպիայի փոփոխությունն է պայմանավորված համակարգում կատարվող անհավասարակշիռ պրոցեսներով,  $\Delta S_e$ -ն՝ էնթոպիայի փոփոխությունը՝ պայանավորված արտաքին մարմինների հետ համակարգի փոխազդեցությամբ:

Անհավասարակշիռ պրոցեսների համար  $\Delta S_i > 0$ , իսկ ստացիոնար պրոցեսներում՝  $\Delta S = 0$ : Հետևաբար  $\Delta S_e = \Delta S - \Delta S_i < 0$ :

Ստացված արտահայտությունը կարելի է մեկնաբանել հետևյալ կերպ: Նյութական կամ էներգիայի տեսքով կենդանի համակարգի ստացած

էնթրոպիան փոքր է կենդանի համակարգից դուրս եկած արդյունքների էնթրոպիայից:

Ինչպես արդեն նշվել էր, հավասարակշիռ վիճակում էնթրոպիան ընդունում է իր առավելագույն արժեքը: Համակարգի ստացիոնար վիճակը ուսումնասիրվել է **Պրիգոժինի** կողմից: Համաձայն նրա կողմից առաջարկված սկզբունքի՝ **համակարգի ստացիոնար վիճակում կատարվող անհավասարակշիռ պրոցեսները (դիֆուզիա, քիմիական ռեակցիաներ և այլն) ընթանում են այնպես, որ միավոր ժամանակում էնթրոպիայի աճը մինիմալ է:** Դա նշանակում է, որ համակարգը սեփական անհավասարակշիռ պրոցեսների հետևանքով չի կարող դուրս գալ ստացիոնար վիճակից: Եթե նույնիսկ փոքր շեղումների (ֆլուկտուացիա) հետևանքով համակարգը որոշ չափով շեղվում է ստացիոնար վիճակից, ապա ներքին պրոցեսները, ձգտելով փոքրացնել  $dS_i / dt$ -ն, նորից համակարգին վերադարձնում են նախնական ստացիոնար վիճակի:

Ընդհանուր առմամբ կենդանի օրգանիզմը բաց թերմոդինամիկական համակարգ է, որը շրջապատող մարմինների հետ նյութական և էներգետիկ փոխանակման մեջ է: Այն զարգացող համակարգ է և մինևույն ստացիոնար վիճակում չէ:

Ենթադրենք՝ դիտարկման  $dt$  ժամանակամիջոցն այնքան փոքր է, որ կենդանի համակարգի վիճակը կարելի է համարել ստացիոնար: Ստացիոնար համակարգում  $dS=0$ , հետևաբար  $S=\text{const}$  և  $dS_i > 0$ , իսկ  $dS_e < 0$ : Եթե օրգանիզմ-շրջական միջավայր ամբողջությունը դիտարկենք որպես մեկուսացված համակարգ, ապա նրա էնթրոպիան պետք է աճի, չնայած օրգանիզմի էնթրոպիան այդ դեպքում մնում է հաստատուն: Քանի որ էնթրոպիան բնութագրում է համակարգի անկարգավորության աստիճանը, հետևաբար կարելի է եզրակացնել, որ **կենդանի օրգանիզմի կարգավորվածությունը պահպանվում է շնորհիվ շրջակա միջավայրի կարգավորության նվազման:**

Որոշ պաթոլոգիական վիճակներում կենսահամակարգերն անցնում են նոր ստացիոնար վիճակի, և էնթրոպիան աճում է ( $dS > 0$ ): Այդ դեպքում մեծանում է համակարգի անկարգավորության աստիճանը, որի հետևանքով հնարավոր է, որ համակարգը չկարողանա հաստատվել նոր ստացիոնար վիճակում: Նման իրավիճակ ստեղծվում է, օրինակ, հյուսվածքների ուռուցքային տրանսֆորմացիայի դեպքում: Կատարվում է բջիջների քանակի անկանոն, քաոսային աճ, որի հետևանքով օրգանիզմը չի կարողանում հաստատվել նոր ստացիոնար վիճակում և դադարում է գոյություն ունենալուց:



(6.10.) արտահայտությունն անվերջ փոքր  $dt$  ժամանակի համար կգրվի  $dS = dS_i + dS_e$ , որտեղից՝

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt} \quad (6.11.)$$

Ստացիոնար վիճակում ( $S = \text{const}$ )  $\frac{dS}{dt} = 0$ , հետևաբար

$$\frac{dS_i}{dt} = -\frac{dS_e}{dt} \quad (6.12.)$$

(6.12.) արտահայտությունից հետևում է, որ կենդանի օրգանիզմի նորմալ կենսագործունեության ժամանակ ներքին պրոցեսների հետևանքով էնթրոպիայի փոփոխության արագությունը միևուս նշանով հավասար է շրջապատող միջավայրի հետ նյութական և էներգետիկ փոխանակության շնորհիվ էնթրոպիայի փոփոխության արագությանը: Համաձայն Պրիգոժինի սկզբունքի՝  $\frac{dS_i}{dt} > 0$  և միաժամանակ ընդունում է մինիմալ արժեք:

(6.12.)-ից հետևում է, որ մինիմալ արժեք ունի նաև  $\left| -\frac{dS_e}{dt} \right|$  մեծությունը:

Հետևաբար ընդհանրացնելով կարելի է պնդել, որ կենդանի օրգանիզմի ստացիոնար վիճակում շրջապատող միջավայրի էնթրոպիայի փոփոխության արագությունը նույնպես մինիմալ է:

### Թեստային օրինակներ

1. **Էնթրոպիայի փոփոխությունը  $m$  զանգվածով սառույցը  $0^\circ C$ -ում ջրի փոխակերպելիս հավասար է ( $\lambda$  -ը սառույցի հալման տեսակարար ջերմությունն է)**՝

ա)  $\frac{m\lambda}{273}$ ,      բ)  $\frac{m\lambda}{373}$ ,      գ)  $\int \frac{md\lambda}{T}$ ,      դ)  $m\lambda$

2. **Իզոթերմ պրոցեսում մեկ մոլ իրական գազի կատարած աշխատանքը, երբ ծավալը  $V_1 = 2b$  -ից աճում է մինչև  $V_2 = 3b$** ՝

ա)  $RT \ln 2 + \frac{a}{6b}$ ,      բ)  $RT \ln 2 - \frac{a}{6b}$ ,      գ)  $RT \ln \frac{3}{2} - \frac{a}{6b}$ ,      դ)  $RT \ln \frac{3}{2} - \frac{a}{3b}$

3. **Էնթրոպիայի ( $S$ ) չափման միավորն է**

ա)  $\text{Ջ/}^\circ\text{C}^2$ ,      բ)  $\text{Ջ/}^\circ\text{C}\cdot\text{կգ}$ ,      գ)  $\text{Նմ/}^\circ\text{C}$ ,      դ)  $\text{Կգմ/}^\circ\text{C}$

4.  **$\Omega$  ը բանաձևով է որոշվում ինֆորմացիայի ( $I$ ) և էնթրոպիայի ( $S$ ) կապը.**

ա)  $I = k \ln S$ , բ)  $I = S \ln k$ , գ)  $S = \frac{Ik}{\log_2 e}$ , դ)  $S = kI$

**5. Թերմոդինամիկա կոչվում է ֆիզիկայի այն բաժինը, որը ուսումնասիրում է նյութը՝**

- 1) առանց դիտարկելու նյութը կազմող մասնիկների փոխազդեցությունները
- 2) այն դիտարկելով որպես մի ամբողջություն
- 3) հաշվի չառնելով նրա մոլեկուլային կառուցվածքը
- 4) հաշվի առնելով նրա ատոմամոլեկուլային կառուցվածքը

ա) միայն 1,2,3 բ) միայն 4 գ) բոլորը սխալ են դ) միայն 1,2,4

**6. Թերմոդինամիկական համակարգերը բնութագրող հիմնական մակրոսկոպական պարամետրերն են՝**

- 1) ծավալ, 2) ջերմաստիճան, 3) ճնշում, 4) մասնիկի իմպուլս

ա) բոլորը բ) միայն 3,4 գ) միայն 1,2,4 դ) միայն 1,2,3

**7. Քանի՞ սկզբունք ունի թերմոդինամիկան.**

ա) 1, բ) 2, գ) 3, դ) 4

**8. Հետևյալ սահմանումներից որո՞նք են թերմոդինամիկայի երկրորդ սկզբունքի ձևակերպումները.**

1) ջերմությունը ինքնաբերաբար չի կարող անցնել ցածր ջերմաստիճան ունեցող մարմնից բարձր ջերմաստիճան ունեցող մարմնին

2) մեկուսացված համակարգում ընթացող պրոցեսներում էնթալպիան կա՛մ մնում է հաստատուն, կա՛մ աճում է

3) անհնար է իրականացնել այնպիսի պարբերական պրոցես, որի միակ արդյունքը լինի մարմնի սառեցման հետևանքով ջերմության փոխակերպումը աշխատանքի

4) մեկուսացված համակարգում ընթացող պրոցեսներում էնթալպիան կա՛մ մնում է հաստատուն, կա՛մ նվազում է

ա) միայն 1,2,3 բ) միայն 1,3,4 գ) միայն 1,2 դ) միայն 3,4

**9. Վիճակի ֆունկցիա կոչվում են բոլոր այն մեծությունները՝**

1) որոնց փոփոխությունը կախված է պրոցեսի տեսակից

2) որոնց փոփոխությունը կախված չէ պրոցեսի տեսակից

3) որոնց փոփոխությունը որոշվում է պրոցեսի վերջում և սկզբում նրա ունեցած արժեքների տարբերությամբ

4) որոնց փոփոխությունը ներկայացնում է լրիվ դիֆերենցիալ

ա) միայն 1,3,4 բ) միայն 2,3,4 գ) բոլորը սխալ են դ) միայն 1,3

**10. Քանի՞ որ ինքն իրեն թողած մեկուսացված համակարգը միջոտ ձգտում է հավասարակշռության վիճակի, ապա էնթալպիան՝**

ա) չպետք է նվազի, բ) փոխվում է կամայական օրենքով

գ) պետք է նվազի, դ) բոլորը սխալ են

**11. Հետևյալ բանաձևերից ո՞րն է սխալ.**

ա)  $S = k \ln W$ , բ)  $I = \log_2 W$ , գ)  $\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$ , դ)  $S = \frac{dQ}{dT}$

**12. Հավասարակշիռ պրոցեսների համար հետևյալ բանաձևերից ո՞րն է սխալ.**

ա)  $TdS = dU + dA$ ,

բ)  $dQ = dU + dA$

գ)  $TdS = dQ$ ,

դ)  $SdT = dU + dA$

13. Ո՞ր արտահայտությամբ կարելի է հաշվել էնթալպիայի փոփոխությունը  $m$  զանգվածով ջուրը  $100^{\circ}\text{C}$ -ում գոլորշու փոխակերպելիս ( $r$  -ը շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունն է).

ա)  $\frac{mr}{273}$ ,

բ)  $\frac{mr}{373}$ ,

գ)  $\frac{mr}{100}$ , դ)  $\int_0^{100} \frac{m dr}{T}$

14. Կենդանի օրգանիզմի կարգավորվածությունը պահպանվում է շնորհիվ շրջակա միջավայրի կարգավորվածության՝

ա) աճման

բ) հաստատունության

գ) նվազման

դ) բոլոր պատասխանները սխալ են

15. Հաշվել  $m$  զանգվածով ջրի էնթալպիայի փոփոխությունը  $10^{\circ}\text{C}$  -ից  $50^{\circ}\text{C}$  տաքացնելիս ( $c$  -ն ջրի տեսակարար ջերմունակությունն է).

ա)  $mc \ln \frac{293}{283}$ ,

բ)  $mc \ln \frac{323}{293}$ ,

գ)  $mc \ln \frac{323}{283}$ ,

դ)  $mc \ln 10$

16. Հետևյալ մեծություններից որոնք են վիճակի ֆունկցիա.

1) էնթալպիա, 2) աշխատանք, 3) ջերմության քանակ, 4) ներքին էներգիա

ա) բոլորը

բ) միայն 1

գ) միայն 1,4

դ) միայն 2,3

17. 2 մոլ իդեալական գազի կատարած աշխատանքը իզոթերմ պրոցեսում, երբ ծավալը աճել է  $V$  -ից  $4V$ , հավասար է՝

ա)  $RT \ln 4$ ,

բ)  $2RT \ln 4$ ,

գ)  $2RTV$ ,

դ)  $8RT$

18. Համակարգի հավասարակշիռ վիճակ կոչվում է այնպիսի վիճակը, որը բնութագրվում է՝

ա) ժամանակից կախում ունեցող պարամետրերով

բ) միայն ճնշման և ջերմաստիճանի միջոցով

գ) ժամանակից կախում չունեցող պարամետրերով

դ) բոլոր պատասխանները սխալ են

19. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում էնթալպիայի ( $S$ ) և ինֆորմացիայի ( $I$ ) կապը.

ա)  $S = I^2 \cdot k \ln 2$ ,

բ)  $S = k \ln I$ ,

գ)  $S = k \ln 2 \cdot I$ ,

դ)  $S = k \ln 2I$

20. Կենդանի օրգանիզմը՝

1) բաց թերմոդինամիկական համակարգ է

2) զարգացող համակարգ է և միևնույն ստացիոնար վիճակում չէ

3) շրջապատող մարմինների հետ նյութական և էներգետիկ փոխանակման մեջ է

4) իր կարգավորվածությունը պահպանում է շրջակա միջավայրի կարգավորվածության աճման շնորհիվ.

ա) միայն 1,2,3

բ) միայն 1,3,4

գ) միայն 1,4

դ) բոլորը ճիշտ են

21. Համաձայն թերմոդինամիկայի I սկզբունքի՝ եթե իզոթերմ պրոցեսում համակարգին հաղորդվել է  $180\text{Ջ}$  ջերմաքանակ, ապա նրա ներքին էներգիան փոխվել է .....  $\text{Ջ}$  չափով

ա) 180,      բ) 90,      գ) 0,      դ) բոլոր հնարավոր են

### **Պատասխաններ**

1.ա	2.բ	3.գ	4.գ	5.ա	6.դ	7.գ	8.ա	9.բ
10.ա	11.դ	12.դ	13.բ	14.գ	15.գ	16.գ	17.բ	18.գ
19.գ	20.ա	21.դ						

## ԳԼՈՒԽ 2. ԿԵՆՄԱՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄ

(Յու.Բարայան)

Մոդելավորումը՝ որպես գիտական իմացության մեթոդ, մարդկությանը վաղուց է հայտնի և կիրառվում է մարդկային գործունեության համարյա բոլոր բնագավառներում՝ տնտեսագիտության, բժշկության, տեխնիկայի և այլն:

Կենդանի օրգանիզմը բարդ համակարգ է, որի հետևանքով անհնար է այն նկարագրել ամենայն մանրամասնությամբ: Այդ իսկ պատճառով ուսումնասիրողը ձգտում է ընտրել ավելի պարզեցված համակարգ, որը հարմար է կոնկրետ առաջարկված խնդրի լուծման համար: Իրական համակարգերի այդպիսի պարզեցումը ընկած է մոդելավորման մեթոդի հիմքում: Մոդելավորումը օգտագործվում է կենդանի օրգանիզմների հետազոտության բոլոր մակարդակներում՝ սկսած մոլեկուլային, բջջի, թաղանթի և օրգանների կենսաաֆիզիկայից մինչև բարդ համակարգերի կենսաաֆիզիկա: Օգտվելով մոդելավորման եղանակից՝ հետազոտողը մշակում է բուժման, ախտորոշման նոր մեթոդներ, դեղամիջոցների կիրառման նոր սխեմաներ: Բարդության պատճառով օբյեկտը (պրոցես, երևույթ) փոխարինվում է պարզեցված նմանակով՝ մոդելով: Նշենք կենսաաֆիզիկա դասընթացի թեմայում դիտարկվող հայտնի մոդելները, օրինակ կենսաթաղանթների հեղուկ-բյուրեղային մոդելը (Մինգեր-Նիկոլսոն), արյունատար համակարգի (ֆրանկի մոդելը), մկանների կծկման ժամանակ սահող թելիկների Հիլլի մոդելը և այլն:

### **Մոդելավորման հիմնական փուլերը**

Բարդ համակարգերի ուսումնասիրություններում հետազոտվող օբյեկտը փոխարինվում է իրականից ավելի պարզ, սակայն հիմնական, առավել էական հատկությունները կրող, այսպես կոչված, մոդելով:

Մոդելավորումը այնպիսի մեթոդ է, որի դեպքում իրական բարդ օբյեկտի (պրոցեսի, երևույթի) հետազոտությունը փոխարինվում է նրա մոդելի ուսումնասիրությամբ:

#### **1. Առաջնային ինֆորմացիայի հավաքագրում**

Հետազոտողը հնարավորին չափ շատ ինֆորմացիա պետք է հավաքագրի իրական օբյեկտի բազմապիսի բնութագրերի մասին, նրա հատկությունների, նրանում ընթացող պրոցեսների, արտաքին տարբեր պայմաններում նրա վարքի օրինաչափությունների մասին:

#### **2. Խնդրի դրվածքը**

Ձևակերպվում է հետազոտության նպատակը, որոշվում է, թե կատարված ուսումնասիրությունների արդյունքում ինչ նոր գիտելիքներ է ձգտում ստանալ հետազոտողը:

### ***3. Հիմնական ենթադրությունների հիմնավորումը***

Կատարվում է իրական օբյեկտի պարզեցում, հետազոտման նպատակի վրա էապես չազդող օբյեկտի բնութագրերն անտեսվում են:

#### ***4. Մոդելի ստեղծումը, նրա ուսումնասիրումը***

#### ***5. Մոդելի համապատասխանության ստուգումը իրական օբյեկտի հետ: Մոդելի կիրառելիության սահմանների ճշգրտումը***

Այսպիսով, մոդելը իրական օբյեկտը կարծես թե համաձայնեցնում է ուսումնասիրության նպատակի հետ, մի կողմից պարզեցնում է օբյեկտը, մյուս կողմից պահպանում է այն կարևորը, որը հետաքրքրում է հետազոտողին:

Կենսաֆիզիկայում, կենսաբանության և բժշկության մեջ հաճախ կիրառվում են ֆիզիկական, կենսաբանական, մաթեմատիկական մոդելներ:

***Ֆիզիկական մոդել:*** Այն ունի նույն ֆիզիկական բնույթը, ինչ և ուսումնասիրվող օբյեկտը: Օրինակ՝ արյան հոսքը անոթներով մոդելավորվում է հեղուկի խողովակով հոսքի՝ կոշտ կամ էլաստիկ պատերով: Սրտի էլեկտրական պրոցեսների մոդելավորման ժամանակ այն դիտվում է որպես հոսանքի դիպոլ: Իոնների թափանցելիության պրոցեսներն ուսումնասիրելու համար օգտվում են արհեստական թաղանթներից: Մոդելների կիրառությունը հնարավորություն տվեց բացատրելու մի շարք երևույթներ:

Ֆիզիկական մոդելներ են նաև արհեստական օրգանները, արհեստական երիկամը երիկամի մոդելն է, կարդիոատիմուլյատորը՝ սրտի սինուսային հանգույցում ընթացող պրոցեսների մոդելը, արհեստական շնչառության ապարատը՝ թոքերի մոդելը:

***Կենսաբանական մոդել:*** Այն կենսաբանական օբյեկտ է, որը հարմար է փորձարարական հետազոտությունների համար: Օրինակ՝ գործողության պոտենցիալի ձևավորման և նյարդաթելով նրա տարածման օրինաչափությունները հայտնի դարձան այնպիսի հաջող օբյեկտի շնորհիվ, ինչպիսին է կաղամարի հսկա աքսոնը: Կենսաֆիզիկայի համար այն դարձավ հիանալի մոդելային օբյեկտ կենսապոտենցիալներ ուսումնասիրելու գործընթացում:

***Մաթեմատիկական մոդելը*** իրական օբյեկտում ընթացող պրոցեսների նկարագրությունն է մաթեմատիկական հավասարումների (սովորաբար որպես օրենք դիֆերենցիալ հավասարումների) օգնությամբ:

Մաթեմատիկական մոդելավորման համար լայն կիրառություն ունեն էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենաները (ԷՀՄ): Նրանց օգնությամբ կատարվում են, այսպես կոչված, □մեքենայական փորձեր□, օրինակ՝ կարդիոլո-

գիայում, զանազան պաթոլոգիական պրոցեսի ուսումնասիրությունը և այլն:

Դիֆերենցիալ հավասարումների մեջ գործակիցների փոփոխումով կամ նոր անդամներ ներմուծելով, հաշվի առնելով այս կամ այն հատկությունը՝ կարելի է տեսականորեն ստեղծել նոր հատկություններով օբյեկտ, օրինակ, մշակել դեղորայքներով բուժման առավել արդյունավետ սխեմաներ:

ԷՀՄ-ի օգնությամբ լուծելով բարդ հավասարումներ՝ կարելի է կանխատեսել համակարգի վարքագիծը, հիվանդության ընթացքը, բուժման արդյունավետությունը, դեղաբանորեն ակտիվ միացությունների հնարավոր ազդեցությունները և այլն:

### **Հիմնական պահանջներ, որոնց մոդելը պետք է բավարարի**

1. Համապատասխանություն (ադեկվատություն)

• Մոդելը պետք է համապատասխանի օբյեկտին, այսինքն՝ մոդելը պետք է տրված ճշտությամբ վերարտադրի հետազոտվող երևույթի օրինաչափությունները: Այդ վերլուծությունը կատարվում է և՛ մոդելի ընտրության, և՛ արդյունքների համեմատության ժամանակ:

2. Մոդելի կիրառելիության սահմանները

• Պետք է տրվեն մոդելի կիրառելիության սահմանները, որոնցից դուրս մոդելը համարժեք չէ ուսումնասիրվող օբյեկտին, քանի որ ոչ մի մոդել չի տալիս օբյեկտի ողջ անմնացորդ նկարագրությունը:

Օրինակ՝ եթե իդեալական գազի մոդելը բավականին ճշգրիտ է նկարագրում իրական գազերի վիճակը միայն բարձր ջերմաստիճանների և ցածր ճնշումների դեպքում, ապա Վանդերվալսի մոդելը ճիշտ է նկարագրում իրական գազերի վիճակը ճնշումների և ջերմաստիճանների ավելի լայն միջակայքում: Կամ, օրինակ, լիպոսոմը լավագույն մոդել է լիպիդային թափանցելիությունը ուսումնասիրելու համար, մինչդեռ էլեկտրոդենեգի համար՝ ոչ:

Ներնստի հավասարումը բավարար ճշտությամբ նկարագրում է հանգստի (հավասարակշռության) վիճակում գտնվող բջջի թաղանթային պոտենցիալների տարբերությունը, հետևաբար համարժեք մաթեմատիկական մոդել է այդ վիճակում գտնվող համակարգի համար:

Ընդհանրացնելով այս ամենը՝ կարելի է պնդել, որ մոդելավորման արդյունքում ստացվում են հետազոտվող պրոցեսի ընթացքի մասին նոր տվյալներ:

Սակայն չպետք է կարծել, որ ստեղծված ամեն մի մոդել բացարձակապես ճիշտ է արտացոլում իրական համակարգերում կատարվող պրոցես-

ները: Այն ստեղծվում է՝ ելնելով ուսումնասիրվող օբյեկտի որոշակի սահմանափակ հատկություններից, ուստի այն միշտ ենթակա է հետագա կատարելագործման:

Բժշկականաբանական հետազոտություններում հաճախ օգտվում են օսն արկղի օ մոդելից: Այս դեպքում ուսումնասիրվում են հետազոտվող համակարգի մուտքային և ելքային պարամետրերը՝ առանց նրա ներքին կառուցվածքի և նրանում ընթացող պրոցեսները հաշվի առնելու: Այս դեպքում ուսումնասիրվում է ելքային պարամետրերի կախվածությունը մուտքայինից, օրինակ՝ նեյրոկլիբեռնետիկայում օսն արկղը ֆորմալ նեյրոնն է:

Կենսաբանության և բժշկության մեջ կարևոր նշանակություն ունեն պոպուլյացիաների թվաքանակի աճի մոդելը և ֆարմակակինետիկական մոդելը:

## 7. ՖԱՐՄԱԿԱԿԻՆԵՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼ

Օրգանիզմում դեղորայքի կոնցենտրացիայի փոփոխության կինետիկան (ժամանակային կախվածությունը) նկարագրելու համար առաջարկվում է ***ֆարմակակինետիկական մոդել***:

Մեր կոնկրետ խնդիրն է.

Գտնել դեղորայքի կոնցենտրացիայի փոփոխման օրենքները այն ներմուծելու և ելքի տարբեր եղանակների և պարամետրերի դեպքում:

### ***Հիմնական ենթադրություններ***

Չի դիտարկվում օրգանների համակարգը, որոնցով հաջորդաբար անցնում է դեղորայքը.

1. Հաշվի չի առնվում դեղորայքի մուտքի, տեղափոխության և ելքի բազմափուլությունը:

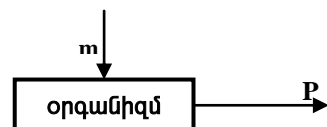
2. Պրոցեսների մոլեկուլային մեխանիզմները հաշվի չեն առնվում (օրինակ՝ նյութերի թափանցելիությունը, քիմիական փոխարկումները)

3. Մուտքի և ելքի պրոցեսները բերվում են նրանց արագությանը

Դիտարկենք օրգանիզմում դեղորայքի կոնցենտրացիայի  $c(t)$  փոփոխության օրենքները դեղորայքի տարբեր եղանակներով ներմուծման ժամանակ:

### 1. ***Ղեղորայքի միանվագ ներարկում***

Օրգանիզմը դիտարկվում է V ծավալով համակարգ, որում ներմուծվում է  $m_0$  զանգվածով դեղորայք (դեղորայքի բաշխումը դիտվում է հավասարաչափ), նրա ելքի





արագությունը օրգանիզմից՝ P (նկար 7.1.):

Նկ. 7.1.

Ենթադրենք դեղորայքի ելքի արագությունը ուղիղ համեմատական է օրգանիզմում նրա զանգվածին:

$P \sim m$ , հետևաբար  $P = km$ :

Որտեղ  $k$ -ն պրեպարատի հեռացման գործակիցն է: Օրգանիզմում դեղորայքի զանգվածի փոփոխման արագությունը  $\frac{dm}{dt}$ -ն, մինուս նշանով հավասար է նրա ելքի արագությանը :

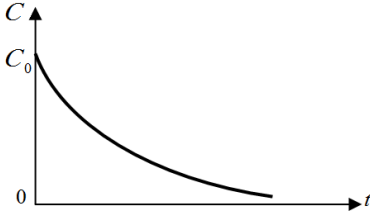
$$\frac{dm}{dt} = -km \quad (7.1.)$$

$$\frac{dm}{m} = -kdt \quad \int_{m_0}^m \frac{dm}{m} = -k \int_0^t dt \quad \ln \frac{m}{m_0} = -kt$$

$$\ln \frac{m}{m_0} = \ln e^{-kt}$$

Հետևաբար

$m = m_0 e^{-kt}$  զանգվածից կոնցենտրացիային անցնելով՝ կստանանք.



$$C = \frac{m}{V},$$

$$C = \frac{m_0}{V} e^{-kt}$$

$$C = C_0 e^{-kt} \quad (7.2.)$$

Նկ. 7.2.

Համաձայն (7.2.) բանաձևի՝ միանվագ ներարկման դեպքում կոնցենտրացիան նվազում է էքսպոնենցիալ օրենքով (նկար 7.2.):

**2. Դեղորայքի անընդհատ ներարկում հաստատուն արագությամբ**

Սա համապատասխանում է ներմուծման կաթիլային եղանակին: Այս դեպքում դեղորայքի զանգվածի (կոնցենտրացիայի) փոփոխությունը կախված է ոչ միայն հեռացման P արագությունից, այլև միավոր ժամանակում օրգանիզմ ներմուծվող Q քանակից (նկար 7.3.):



Նկ. 7.3.

$$\frac{dm}{dt} = Q - km \quad (7.3.)$$

Եթե  $t=0$ , ապա  $m=0$ : Լուծենք (7.3.) դիֆերենցիալ հավասարումը նշված սկզբնական պայմանների դեպքում:

$$\frac{dm}{Q - km} = dt, \quad \int_0^m \frac{dm}{Q - km} = \int_0^t dt :$$

Կատարենք նշանակում՝  $(Q - km) = U$ , հետևաբար՝  
 $d(Q - km) = dU$  և  $dU = -kdm$

$$\int_0^m \frac{dm}{Q - km} = -\frac{1}{k} \int_Q^{Q - km} \frac{dU}{U} = -\frac{1}{k} \ln \frac{Q - km}{Q}$$

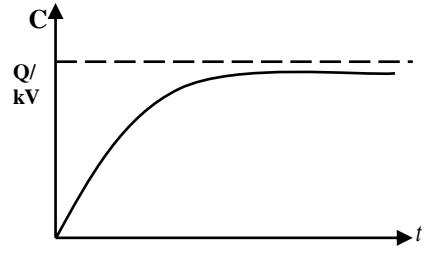
$$-\frac{1}{k} \ln \frac{Q - km}{Q} = t, \quad \ln \frac{Q - km}{Q} = -kt, \quad \ln \frac{Q - km}{Q} = \ln e^{-kt},$$

$$Q - km = Q \cdot e^{-kt} \quad m = \frac{Q}{k} (1 - e^{-kt})$$

$$C = \frac{Q}{kV} (1 - e^{-kt}) \quad (7.4.)$$

Նկար 7.4-ում պատկերված է դեղորայքի անընդհատ ներարկման դեպքում կենդանի օրգանիզմում նրա կոնցենտրացիայի կախումը ժամանակից՝ որոշված (7.4.) բանաձևով:

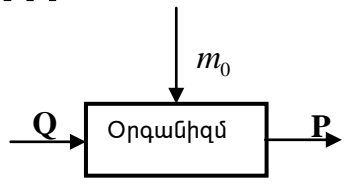
(7.4.) բանաձևից հետևում է, որ եթե  $t=0$ ,  $C=0$ , իսկ եթե  $t \rightarrow \infty$ , ապա  $C_{\text{օպտ.}} = \frac{Q}{kV} = \text{const}$ :



Ընտրելով դեղորայքի ներարկման  $Q = C_{\text{օպտ.}} kV$  հաստատուն արագությունը՝ որոշ ժամանակ անց կստանանք թերապևտիկ էֆեկտի համար անհրաժեշտ օպտիմալ կոնցենտրացիան ( $C_{\text{օպտ.}}$ ): Նկ. 7.4.

**3. Անընդհատ և միանվագ ներարկման գույզորդում**

Քանի որ անընդհատ եղանակով դեղորայքի օպտիմալ կոնցենտրացիան կայունանում է մի որոշ ժամանակ անց, առաջին և երկրորդ եղանակները միաժամանակ կիրառելով, կարելի է դեղորայքի օպտիմալ



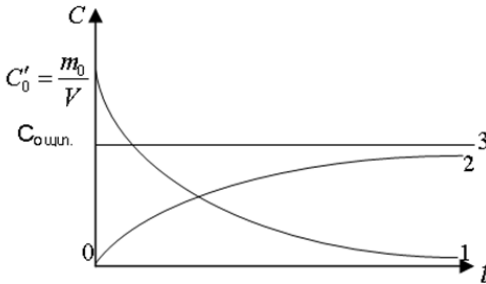
կենցենտրացիային հասնել գրեթե ակնթարթորեն:  
Նկ. 7.5.

Այս դեպքում օրգանիզմում դեղորայքի զանգվածի փոփոխությունը կարելի է նկարագրել (7.3.) դիֆերենցիալ հավասարումով՝ հաշվի առնելով, որ եթե  $t=0$ , ապա  $m = m_0$ : Լուծելով դիֆերենցիալ հավասարումը՝ կստանանք.

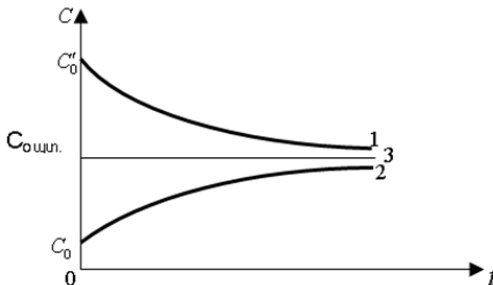
$$C(t) = \frac{Q}{Vk} (1 - e^{-kt}) + \frac{m_0}{V} \cdot e^{-kt}$$

$$C(t) = \frac{Q}{Vk} - \frac{1}{V} \left( \frac{Q}{k} - m_0 \right) \cdot e^{-kt} \quad (7.5.)$$

(7.5.) բանաձևից հետևում է, որ կոնցենտրացիայի վերջնական արժեքը կախված չէ սկզբնական բեռնավորման դոզայից ( $m_0$ ), քանի որ  $t \rightarrow \infty$ , ուստի  $e^{-kt} \rightarrow 0$  և  $C = \frac{Q}{Vk}$ : Մյուս կողմից երևում է, որ եթե  $\left(\frac{Q}{k} - m_0\right) = 0$ , ապա (7.5.) բանաձևից հետևում է, որ  $C(t) = \frac{Q}{Vk}$ , այսինքն՝ երբ  $m_0 = \frac{Q}{k}$ , ապա գրեթե ակնթարթորեն հաստատվում է  $C_{\text{օպտ}} = \frac{Q}{Vk}$  կոնցենտրացիան, որը ժամանակի ընթացքում մնում է անփոփոխ:



Նկ. 7.6



Նկ. 7.7

Գրաֆիկի վրա (նկար 7.6.) պատկերված է միանվագ (առաջին եղանակ՝ 1-ին գրաֆիկ) և կաթիլային (երկրորդ եղանակ՝ 2-րդ գրաֆիկ) ներարկման ժամանակ դեղորայքի  $C(t)$  կոնցենտրացիայի կախումը ժամանակից: (3) գրաֆիկը կներկայացնի ժամանակի ցանկացած պահին (1) և (2) գրաֆիկների գումարը, երբ  $\frac{Q}{k} = m_0$ : Եթե  $\frac{Q}{k} \neq m_0$ , ապա (1) և (2)

կորերի գումարը կտարբերվի ուղիղ գծից, բայց միշտ կձգտի  $C_{\text{այն}} = \frac{Q}{kV}$  արժեքին, եթե  $t \rightarrow \infty$ :

Գրաֆիկորեն պատկերենք միաժամանակյա երկու եղանակով ներարկման դեպքում  $C(t)$  կախումը ((7.5.) բանաձևով որոշվող) տարբեր սկզբնական պայմանների դեպքում (նկար 7.7.): Եթե  $m_0 < \frac{Q}{k}$  (2),  $m_0 > \frac{Q}{k}$

(1) և  $m_0 = \frac{Q}{k}$  (3):

## 8. ՊՈՊՈՒԼՅԱՑԻԱՅԻ ԹՎԱՔԱՆԱԿԻ ԱՃԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼՆԵՐԸ

(Յու. Բաբայան)

Պոպուլյացիայի թվաքանակի փոփոխության մոդելների մաթեմատիկական նկարագիրը տրվել է դեռևս 18-րդ դարում: Ամենապարզ մոդելը առաջարկվել է Մալթուսի կողմից, որի համաձայն՝ պոպուլյացիայի թվաքանակը աճում է ցուցային օրենքով: Բնական է, որ դա ընդունելի է միայն ժամանակային որոշ սահմանափակ տիրույթում: Հետագայում առաջարկվեց Ֆերխյուստի մոդելը, որտեղ հաշվի առնվեց բնության մեջ հաճախ դիտարկվող թվաքանակի կայունացման հարցը, որը կատարվում է, օրինակ, ներտեսակային մրցակցության արդյունքում:

Գիտնականներ Լոտկիի և Վոլտերի կողմից առաջարկվեցին երկու և ավելի տեսակների մրցակցությամբ պայմանավորված պոպուլյացիաների թվաքանակի փոփոխության մոդելավորումը:

Վերը նշված մոդելներում պոպուլյացիայի թվաքանակի ժամանակային կախումը նկարագրվում է դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգով.

$$\frac{dx_i}{dt} = F_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

որտեղ  $x_i - i$ -րդ պոպուլյացիայի թվաքանակն է,  $F_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$ - մեծությունները ոչ գծային ֆունկցիաներն են: Դիտարկենք դրանցից մի քանիսը.

**Պոպուլյացիայի թվաքանակի բնական աճի մոդելը. Մայթուսի մոդել**

Դիտարկվում է միևնույն տեսակի պոպուլյացիա (օրինակ՝ միկրոօրգանիզմներ, նապաստակներ և այլն), որում ընթանում են զանազան պրոցեսներ: Մեր խնդիրն է գտնել նրանց թվաքանակի աճի ժամանակային կախվածությունը:

Խնդրի լուծման համար ստեղծենք մոդել, որի հիմնական ենթադրություններն են.

1. Առկա են միայն բազմացման և բնական մահվան պրոցեսներ, որոնց արագությունները համեմատական են տեսակի թվաքանակին:
2. Կենսաքիմիական և ֆիզիոլոգիական պրոցեսները հաշվի չեն առնվում:
3. Չկա պայքար տեղի և սննդի համար:
4. Չկան գիշատիչներ. դիտարկվում է միայն մեկ պոպուլյացիա

Կատարենք հետևյալ նշանակումները՝

$x$  - պոպուլյացիայի քանակը  $t$  պահին,

$R$  - բազմացման արագությունը,

$\gamma$  - բազմացման գործակիցը,

$S$  - բնական մահվան արագությունը,

$\sigma$  - բնական մահվան գործակիցը,

$\frac{dx}{dt}$  - պոպուլյացիայի թվաքանակի փոփոխության արագությունը,

$\varepsilon = \gamma - \sigma$  - կլիմի թվաքանակի փոփոխության կամ աճի գործակիցը,

ապա  $R = \gamma \cdot x$  և  $S = \sigma x$ :

Համապատասխան դիֆերենցիալ հավասարումը, որը նկարագրում է պոպուլյացիայի թվաքանակի փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում, կունենա հետևյալ տեսքը.

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= R - S & \text{կամ} & & \frac{dx}{dt} &= (\gamma - \sigma)x \\ & & & & \frac{dx}{dt} &= \varepsilon x : \end{aligned} \tag{8.1.}$$

Լուծենք (8.1.) հավասարումը՝ ընդունելով, որ  $t=0$  պահին  $x = x_0$ :

(8.1.) հավասարումը առաջին կարգի անջատվող փոփոխականով դիֆերենցիալ հավասարում է:

$\frac{dx}{x} = \varepsilon dt$  ինտեգրենք, ընդունելով  $\varepsilon$  հաստատուն մեծություն, կստա-

նանք  $\ln x = \varepsilon t + c$ : Հաշվի առնելով սկզբնական պայմանը՝ կունենանք  $c = \ln x_0$ , որտեղից  $\ln x - \ln x_0 = \varepsilon t$

$$X = X_0 \cdot e^{\varepsilon t} \quad (8.2.)$$

Համաձայն (8.2.) բանաձևի՝ պոպուլյացիայի թվաքանակը, ժամանակից կախված, փոփոխվում է ցուցչային օրենքով:

Քննարկենք (8.2.) հավասարումը.

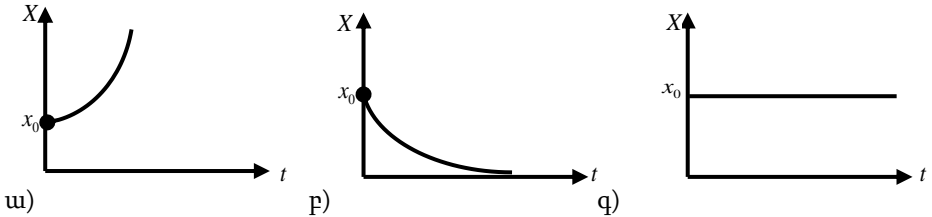
ա)  $\varepsilon > 0$ ,  $\gamma - \sigma > 0$ ,  $\gamma > \sigma$

Կատարվում է պոպուլյացիայի թվաքանակի անսահմանափակ աճ ցուցչային օրենքով (նկար 8.1.ա)

բ)  $\varepsilon < 0$ ,  $\gamma - \sigma < 0$ ,  $\gamma < \sigma$

Դիտվում է պոպուլյացիայի թվաքանակի նվազում մինչև անհետացում ( $x = 0$ ) (նկար 8.1.բ):

գ)  $\varepsilon = 0$   $\gamma = \sigma$   $x = const$  տվյալ պոպուլյացիայի թվաքանակը մնում է հաստատուն (նկար 8.1.գ)



Նկ. 8.1.

Համաձայն այս մոդելի՝  $\varepsilon > 0$  դեպքում պոպուլյացիայի թվաքանակը անսահման կաճի, եթե հաշվի է առնվում միայն բնական մահը: Մակայն իրական պատկերը այսպիսին չէ:

### Ֆերիսյուստի մոդել

Ենթադրենք գոյություն ունի մրցակցություն (պայքար) նույն պոպուլյացիայի անհատների միջև: Դրա հետևանքով առաջանում է անհատների մահացության լրացուցիչ պատճառ: Ենթադրելով, որ այդպիսի մահվան արագությունը համեմատական է նրանց հանդիպման հավանականությանը՝ կունենանք  $S = -\delta x \cdot x = -\delta x^2$ , որտեղ  $\delta$ -ն համեմատականության գործակից է: Մրցակցության առկայության դեպքում պոպուլյացիայի թվաքանակի փոփոխությունը կնկարագրվի՝

$$\frac{dx}{dt} = \gamma x - \sigma x - \delta x^2$$

դիֆերենցիալ հավասարումով: Հավասարումը կարելի է գրել նաև

$$\frac{dx}{dt} = \varepsilon x - \delta x^2 \quad (8.3.)$$

տեսքով: Հաշվի առնելով, որ  $t = 0$  պահին  $x = x_0$ , կստանանք.

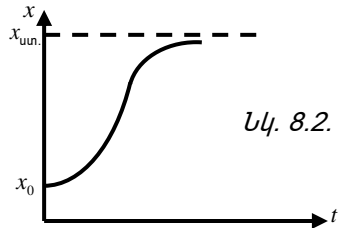
$$x(t) = \frac{x_0 \varepsilon}{(\varepsilon - \delta x_0) e^{-\varepsilon t} + x_0 \delta} \quad (8.4.)$$

$x(t)$ -ի կախումը պատկերված է նկար 8.2.-ում:

Մրցակցության առկայությունը հաշվի առնելիս պոպուլյացիայի քանակի աճը հասնում է ստացիոնար վիճակի, որը

հավասար է  $x_{\text{ստ.}} = \frac{\varepsilon}{\delta}$ :

Եթե  $t \rightarrow \infty$ , ապա (8.4.) բանաձևից հետևում է, որ  $x$ -ը ձգտում է  $\frac{\varepsilon}{\delta}$  արժեքի՝



հաստատվում է ստացիոնար մակարդակ: Կենսատեխնոլոգիայում սույն մոդելը հնարավորություն է տալիս իրականացնելու զանազան միկրո-օրգանիզմների աճի օպտիմալ ռեժիմներ:

### Վոլտերի Գիշատիչ-զոհ մոդելը

Այս մոդելում դիտարկվում է երկու տեսակ՝ ռզոհ (օրինակ՝ նապաստակ) և գիշատիչ (օրինակ՝ լուսան), որոնք համատեղ ապրում են ինչ-որ տարածքում: Ընդ որում, առաջիններն օգտվում են բուսական սննդից, որն անսահմանափակ է, իսկ գիշատիչները՝ միայն զոհերից:

*Ենթադրենք՝*  $x$  -ը զոհերի թիվն է  $t$  պահին,  $y$  -ը՝ գիշատիչների թիվը:

Զոհերի թվաքանակի փոփոխությունը կնկարագրվի

$$\frac{dx}{dt} = \gamma x - \sigma x - \alpha xy$$

հավասարումով, իսկ գիշատիչներինը՝  $\frac{dy}{dt} = \theta xy - \beta y$ : Կստանանք դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգ:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \varepsilon x - \alpha xy \\ \frac{dy}{dt} = \theta xy - \beta y \end{cases} \quad (8.5.)$$

(8.5.) ոչ զծային հավասարումների լուծումը հանգեցնում է հետևյալին:

Դիտարկենք (8.5.) հավասարումների համակարգի լուծումը, տեսակների թվաքանակի ստացիոնար արժեքներից փոքր շեղումների դեպքում: Փորձը ցույց է տալիս, որ ուսումնասիրվող համակարգում ժամանակի ընթացքում հաստատվում է որոշակի ստացիոնար վիճակ. գիշատիչի և զոհի քանակական փոփոխությունները կատարվում են միայն դրա շուրջը: Այդ պատճառով սկզբում որոշենք համակարգի ստացիոնար լուծումները՝  $x = const, y = const$ , այսինքն՝  $\frac{dx}{dt} = 0, \frac{dy}{dt} = 0$ : (8.5.) հավա-

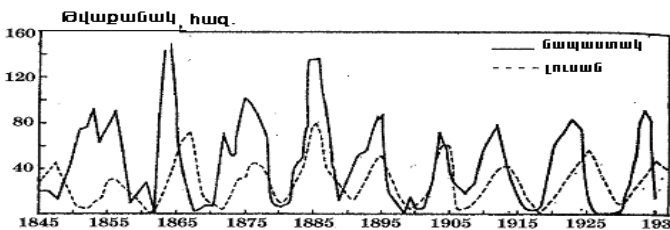
սարումների համակարգից հետևում է, որ  $x_{ստաց.} = \frac{\beta}{\theta}, y_{ստաց.} = \frac{\varepsilon}{\alpha}$ : Հետո

փնտրենք լուծումը՝ ենթադրելով, որ կատարվել է փոքր շեղում ստացիոնար վիճակից: Հաշվումները ցույց են տալիս, որ լուծումը կունենա հետևյալ տեսքը.

$$\begin{aligned} x(t) &= x_{ստաց.} + U_{\max} \sin \sqrt{\varepsilon\beta}t \\ y(t) &= y_{ստաց.} + V_{\max} \sin(\sqrt{\varepsilon\beta}t + \varphi_0): \end{aligned}$$

Հավասարումից հետևում է, որ գիշատիչների և զոհերի թվաքանակը փոխվում է պարբերաբար, նույն պարբերությամբ: Հավասարման մեջ մտնող հաստատունները ( $x_{ստաց.}; y_{ստաց.}; U_{\max}; V_{\max}; \varphi_0$ ) կախված են խնդրի պայմաններից:

Գիշատիչների և զոհերի թվաքանակի պարբերական փոփոխությունները փորձով դիտարկվել և հաստատվել են նրանց մորթիների քանակով (Կանադա 1845-1935թթ. ժամանակահատվածում) (նկար 8.3.): Այսպիսով,  $x$  և  $y$  պոպուլյացիաների քանակները կատարում են ներդաշնակ տատանումներ իրենց ստացիոնար արժեքների շուրջ՝ նույն հաճախությամբ՝  $\omega = \sqrt{\varepsilon\beta}$ , սակայն  $\varphi_0$  ֆազային շեղումով:

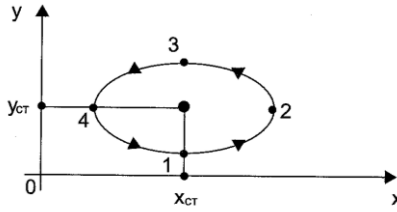


Նկ. 8.3.

Y տեսակի թվաքանակի կախվածությունը X տեսակի թվաքանակից կարելի է ներկայացնել նաև փուլային դիագրամի օգնությամբ (նկար 8.4.):

Նկարագրված մոդելի դեպքում փուլային դիագրամը էլիպս է.





Նկ. 8.4.

Մեկնաբանենք ստացված արդյունքները: Ենթադրենք՝ ի սկզբանե համակարգը գտնվում է այնպիսի վիճակում (1), որ գիշատիչների թիվը նվազագույն է, իսկ զոհերի թիվը ստացիոնար: Գիշատիչների փոքր քանակության պատճառով զոհերը հնարավորություն ունեն քիչ թե շատ ազատ բազմանալու, և նրանց թվաքանակի աճը իր հերթին հանգեցնում է գիշատիչների սնման պայմանների բարելավմանը, և նրանց թիվը նույնպես աճում է: Գիշատիչների քանակը հասնում է ստացիոնար արժեքի (2): Այդ պահից սկսած՝ զոհերի թիվը դադարում է աճել, գիշատիչների քանակը բավականաչափ շատ է, և նրանք սկսում են ինտենսիվ ուտել զոհերին: Գիշատիչների քանակը շարունակում է աճել, և դա ընթանում է մինչև այն պահը, երբ զոհերի քանակը դառնում է ստացիոնար արժեքին հավասար (3): Այնուհետև բոլոր գիշատիչներին սնունդը չի բավարարում, և նրանց թիվը նույնպես նվազում է: □Գիշատիչ-զոհ□ մոդելը ներկայումս օգտագործվում է բժշկության մեջ: Այս մոդելը հնարավորություն է ընձեռում նոր գիտելիքներ ստանալու տարբեր պայթուղիաների դեպքում միջօջառյին փոխազդեցությունների երևույթների մասին, և իհարկե գտնել օպտիմալ բուժման ուղիներ և հիվանդությունների դեմ պայքարի միջոցներ:

**Ինքնակարգավորում. սիներգետիկա:** Վերը նկարագրված մոդելում տատանումների ինքնաբերաբար ծագումը համակարգի սեփական հատկությունների հաշվին ինքնակարգավորման լավագույն օրինակ է: Ինքնակարգավորման առաջին հետազոտությունները կատարվել են Պրիգոժինի և նրա աշխատակիցների կողմից (1960 թ.):

Այստեղ ի հայտ է գալիս դինամիկ կարգավորվածություն, որը հատուկ է բոլոր բաց բարդ համակարգերին, որոնք հեռու են հավասարակշռությունից: Ֆիզիկական, քիմիական, կենսաբանական, էկոլոգիական նման համակարգերում որոշակի պայմաններում կարող են ծագել ինքնակարգման երևույթներ:

**Ժամանակի և տարածության մեջ կարգավորված մակրոկառուցվածքների առաջացման ընդհանուր օրինաչափություններն ուսումնասիրող գիտական ուղղությունը կոչվում է սիներգետիկա:**

Մակրոմակարդակի վրա տարածաժամանակային կարգավորվածության ինքնակամ ծագումը հնարավոր է միայն բարդ բաց համակարգերում, շնորհիվ առկա մեծ թվով օբյեկտների միջև գործող կոպպերատիվ փոխազդեցությունների:

**Թեստային օրինակներ**

1. Դեղորայքի ելքի արագության ( $p$ ) չափման միավորը չէ՝

- ա) կգ վ<sup>-1</sup>      բ) գ վ<sup>-1</sup>      գ) գ/ժամ      դ) կգ/վ<sup>2</sup>

2. Ո՞ր դիֆերենցիալ հավասարումով կարելի է նկարագրել դեղորայքի միանվագ ներմուծումը.

- ա)  $dm = kmdt$ ,    բ)  $dm = -kmt$ ,    գ)  $\frac{dm}{dt} = Q - km$ ,    դ)  $\frac{dm}{m} = -kdt$

3. Որոշել դեղորայքի միանվագ ներմուծման դեպքում կոնցենտրացիայի՝  $C(t)$  կախումը ժամանակից ( $t$ ), եթե ներարկման սկզբնական կոնցենտրացիան՝  $C_0 = 3$  մգ/լ, իսկ դեղորայքի հեռացման գործակիցը՝  $k=10$ վ<sup>-1</sup> ( $C$  գ/մ<sup>3</sup>).

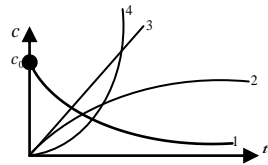
- ա)  $C = 10e^{-3t}$ ,    բ)  $C = 3 \cdot e^{-10t}$ ,    գ)  $C = 3 \cdot 10^{-3} e^{-10t}$ ,    դ)  $C = 3 \cdot e^{-\frac{t}{10}}$

4. Սրսկումից որքան ժամանակ անց դեղանյութի սկզբնական քանակը օրգանիզմում կփոքրանա  $e$  անգամ, եթե դեղանյութի հեռացման գործակիցը՝  $k$  է.

- ա)  $k$ ,      բ)  $k^{-1}$ ,      գ)  $k/e$ ,      դ)  $ek$

5. Ո՞ր գրաֆիկով է նկարագրվում օրգանիզմում դեղորայքի անընդհատ ներմուծելու դեպքում նրա կոնցենտրացիայի ժամանակից կախումը.

- ա) 1      բ) 2  
գ) 3      դ) 4



6. Որքա՞ն ժամանակ անց պոպուլյացիայի քանակը կաճի 2 անգամ, եթե այն փոխվում է Մալթուսի օրենքով.

- ա)  $e^{-1} \ln 2$ ,    բ)  $\varepsilon \log_2 e$ ,    գ)  $\varepsilon \ln 2$ ,    դ)  $2 \ln \varepsilon$

7. Ինչպիսի՞ օրենքով է փոխվում պոպուլյացիայի թվաքանակը՝ ժամանակից կախված.

- ա) գծային,    բ) քառակուսային,    գ) ցուցչային,    դ) անորոշ

8. Որոշել պոպուլյացիայի քանակը  $t$  պահին, եթե  $t=0$  պահին  $x_0 = 50$ , իսկ աճի գործակիցը՝  $\varepsilon = 0$ .

- ա)  $x = 50$ ,    բ)  $x = 50\varepsilon^{-1}$ ,    գ)  $x = 50\varepsilon$ ,    դ) բոլորը հնարավոր են

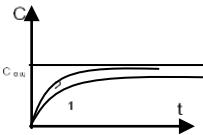
9. Դեղորայքի անընդհատ ներարկման դեպքում  $Q=2$ գ/ժամ, իսկ  $k=0,1$ ժամ<sup>-1</sup>: Որոշել դեղորայքի գանգվածը օրգանիզմում ներարկումից 10 ժամ անց.

- ա)  $20e(e-1)$ ,    բ)  $20e^{-1}(e-1)$ ,    գ)  $20(e-1)$ ,    դ)  $20e$

10. Պոպուլյացիայի թվաքանակի աճման Մալթուսի մոդելում՝

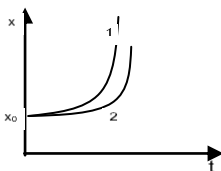
- 1) կա պայքար տեղի համար
- 2) չկա պայքար սննդի համար
- 3) դիտարկվում է 2 պոպուլյացիա
- 4) չկան գիշատիչներ
- ա) միայն 1,3,4
- բ) միայն 2,3,4
- գ) միայն 2,4
- դ) միայն 1,3

11. Նկարում տրված են անընդհատ ներարկման դեպքում օրգանիզմում դեղանյութի կոնցենտրացիայի կախումը ժամանակից արտահայտող կորերը: Հետևյալ արտահայտություններից ո՞րն է ճիշտ.



- ա)  $k_1 > k_2$
- բ)  $k_1 = k_2$
- գ)  $k_1 < k_2$
- դ)  $k_1 \geq k_2$

12. Նկարում տրված են երկու տարբեր պոպուլյացիայի քանակի ժամանակից կախվածությունը արտահայտող կորերը:  $\varepsilon > 0, t = 0$  պահին երկու համակարգերում էլ պոպուլյացիայի քանակը նույնն է: Այդ դեպքում 1 և 2 կորերի համար ճիշտ է՝



- ա)  $\varepsilon_1 < \varepsilon_2$ ,
- բ)  $\varepsilon_2 \geq \varepsilon_1$ ,
- գ)  $\varepsilon_2 < \varepsilon_1$ ,
- դ)  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$

13. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում Վոլտերի օճիշատիչ-զոհո մոդելում պոպուլյացիայի ստացիոնար քանակը.

- ա)  $x_{\text{st.}} = \frac{\beta}{\theta}, y_{\text{st.}} = \frac{\varepsilon}{\alpha}$
- բ)  $x_{\text{st.}} = \beta\theta, y_{\text{st.}} = \varepsilon\alpha$
- գ)  $x_{\text{st.}} = \frac{\beta}{\theta}, y_{\text{st.}} = \varepsilon\alpha$
- դ)  $x_{\text{st.}} = \beta\theta, y_{\text{st.}} = \frac{\varepsilon}{\alpha}$

14. Ի՞նչ հաճախությամբ են պոպուլյացիայի քանակները Վոլտերի օճիշատիչ-զոհո մոդելում կատարում են ներդաշնակ տատանումներ.

- ա)  $\omega = \sqrt{\frac{\beta}{\varepsilon}}$ ,
- բ)  $\omega = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\beta}}$ ,
- գ)  $\omega = \sqrt{\varepsilon\beta}$ ,
- դ)  $\omega = \varepsilon\beta$

15. Միանվագ ներարկումից որքա՞ն ժամանակ հետո դեղորայքի կոնցենտրացիան օրգանիզմում կմեծանա սկզբնական քանակի 1/3-ով, եթե նրա հեռացման գործակիցը՝  $k=0,2$  ժամ<sup>-1</sup>

- ա) 0,6
- բ) 0,2
- գ) 2/3
- դ) բոլորը սխալ են

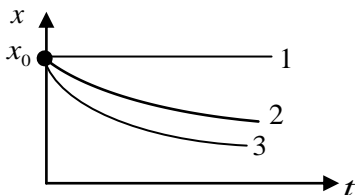
16. Միանվագ և անընդհատ զուգորդված ներարկման դեպքում Q, k, և mօ պարամետրերի ինչպիսի՞ առնչության համար դեղորայքի կոնցենտրացիան օրգանիզմում միշտ մեծ կլինի նրա օպտիմալ կոնցենտրացիայից.

- ա)  $m_0 k < Q$ ,
- բ)  $m_0 k > Q$ ,
- գ)  $m_0 > Qk$ ,
- դ)  $m_0 < Qk$

17. Պոպուլյացիայի թվաքանակի փոփոխության Ֆերիսյուստի մոդելում՝

- 1) չի դիտարկվում միջտեսակային պայքարը
  - 2) չի դիտարկվում ներտեսակային պայքարը
  - 3) դիտարկվում է ներտեսակային պայքարը
  - 4) դիտարկվում է 2 և ավելի պոպուլյացիա
- ա) միայն 1,4
  - բ) միայն 2,4
  - գ) միայն 1,2
  - դ) միայն 1,3

18. Պոպուլյացիայի թվաքանակի կախումը ժամանակից 3 տարբեր



(x)

պոպուլյացիաների համար նկարագրված է գրաֆիկով: Նշվածներից ո՞րն է ճիշտ արտահայտում թվաքանակի փոփոխության գործակցի ( $\varepsilon$ ) արժեքների փոխկապակցությունը.

- ա)  $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$
- բ)  $\varepsilon_3 > \varepsilon_2 > \varepsilon_1$
- գ)  $\varepsilon_1 = 0, \varepsilon_3 > \varepsilon_2$
- դ)  $\varepsilon_2 > \varepsilon_3 > \varepsilon_1$

**Պատասխաններ**

- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1.դ  | 2.դ  | 3.բ  | 4.բ  | 5.բ  | 6.ա  | 7.գ  | 8.ա  | 9.բ  |
| 10.գ | 11.ա | 12.գ | 13.ա | 14.գ | 15.դ | 16.բ | 17.դ | 18.ա |

**ԳԼՈՒԽ 3.**

ՄՈՂԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ԿԵՆՍԱՖԻԶԻԿԱ

**9. ԿԵՆՍԱՊՈՂԻՄԵՐՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԸ ԵՎ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

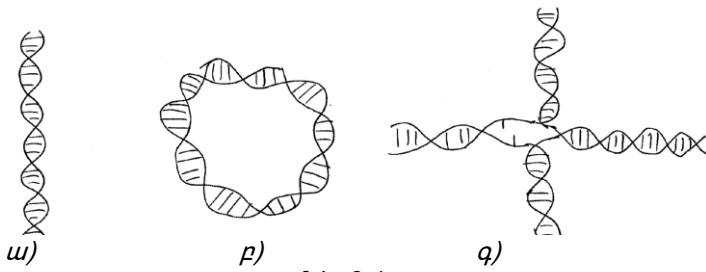
(Յու. Բաբայան)

Պոլիմերները կոչվում են այնպիսի միացությունները, որոնցում շղթա-յաձև, որոշակի հաջորդականությամբ քիմիական կապերով միացված են մեծ թվով նույնատիպ կամ ոչ նույնատիպ ատոմային խմբեր:

Պոլիմերները ըստ ծագման լինում են բնական և սինթետիկ: Բնական պոլիմերներից են բնական կաուչուկը, գուտապերճը, ցելյուլոզան, օսլան, սպիտակուցները և նուկլեինաթթուները: Քանի որ կենդանի համակարգերում նուկլեինաթթուները և սպիտակուցներն ունեն շատ կարևոր ֆունկցիաներ, որոնք հիմնականում պայմանավորված են նրանց կառուցվածքով, ուստի ավելի հանգամանորեն ուսումնասիրենք նրանց կառուցվածքը:

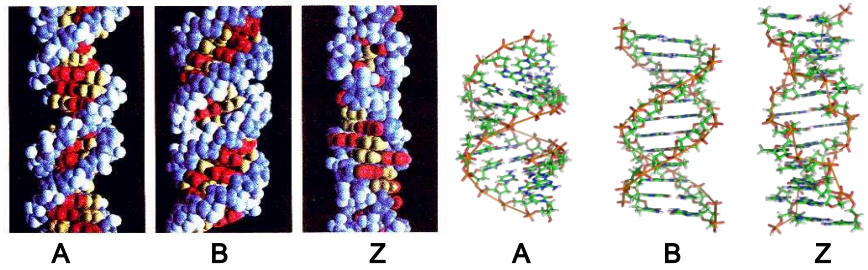
**Նուկլեինաթթուների կառուցվածքը:**

Նուկլեինաթթուները բաժանվում են 2 դասի՝ դեզօքսիռիբոնակլեինաթթու (ԴՆԹ) և ռիբոնուկլեինաթթու (ՌՆԹ): ԴՆԹ-ն in vivo և in vitro պայմաններում առաջացնում է գծային, փակ կամ շրջանային երկպարուրային շղթաներ: ՌՆԹ-ն, որը կենդանի օրգանիզմում հանդիպում է 4 տարբեր տարատեսակներով (ռիբոսոմային, մատրիցային, տրանսպորտային և վիրուսային) in vivo և in vitro պայմաններում առաջացնում է գծային երկպարուրային (նկար 9.1.ա) փակ շրջանային (նկար 9.1.բ), և խաչանման կառուցվածքներ (նկար 9.1.գ), որոնցում միևնույն կամ տարբեր շղթաների ազոտային զույգ հիմքերը կարող են իրար հետ առաջացնել ջրածնային կապեր:



Նկ. 9.1.

**ԴՆԹ-ի կրկնակի պարուրային կառուցվածքը:** ԴՆԹ-ից պատրաստված թաղանթների և օլիգոնուկլեոտիդների բյուրեղների ռենտգենակառուցվածքային հետազոտությունները ցույց են տվել, որ կախված միջավայրի հարաբերական խոնավությունից, իոնական ուժից և նուկլեոտիդների հաջորդականությունից՝ ԴՆԹ մոլեկուլը կարող է գտնվել տարբեր պարուրային պարամետրերով բնութագրվող կրկնակի պարուրային կոնֆորմացիաներում: Ներկայումս փորձնականորեն հայտնաբերված և ուսումնասիրված են ԴՆԹ-ի աջ (A, B, C, և այլն) և ձախ (Z, Z' և այլն) պարուրային ձևերը (նկար 9.2.):



Նկ. 9.2.

Նշենք, որ ԴՆԹ մոլեկուլը **in vivo** պայմաններում գտնվում է **B** ձևում, որը բնութագրվում է հետևյալ պարամետրերով. մոլեկուլի տրամագիծը  $\cong 20\text{Å}^0$  ( $1\text{Å}^0 = 10^{-10}$  մ), շրջայի երկայնքով հարևան գույգ հիմքերի հեռավորությունը՝  $3,4 \pm 0,2\text{Å}^0$ . մեկ գալարին համընկնում են  $10,4 \pm 0,1$  գույգ ազոտային հիմքեր, որոնք, կախված նուկլեոտիդների հաջորդականությունից և միջավայրի հատկություններից, միմյանց նկատմամբ թեքված են  $\approx 36 \pm 4^0$  անկյունով: Չույգ հիմքերը դասավորված են համարյա միմյանց զուգահեռ: Ջերմային շարժման հետևանքով հիմքերը ամենաշատը կարող են շեղվել  $3^0$ -ով:

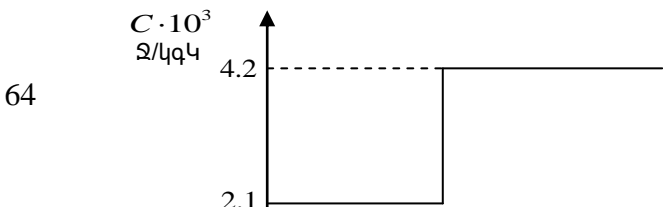
Գտնվելով պարուրային վիճակում՝ ԴՆԹ-ի զույգ ազոտային հիմքերը որոշակի հավանականությամբ ( $p = 10^{-5}$ ) կարող են բացվել և փակվել: ԴՆԹ-ի B ձևը շատ հաճախ կոչվում է ԴՆԹ-ի նատիվ կառուցվածք: ԴՆԹ-ն նատիվ վիճակում է  $pH = 5 \div 8$  տիրույթում:  $pH$  -ի փոքրացումը կամ մեծացումը հանգեցնում է պարուրային կառուցվածքի քանդմանը:

ԴՆԹ-ի կրկնակի պարուրային կառուցվածքի կայունացման գործում մեծ դեր են կատարում կոմպլեմենտար զույգ ազոտային հիմքերի միջև առկա ջրածնային կապերը, ներմուլեկուլային և միջմուլեկուլային վանդեր-վալսյան ուժերը (հիդրոֆոբ և հիդրոֆիլ փոխազդեցության ուժերը): ԴՆԹ մոլեկուլը մոդելային դիտարկման դեպքում կարելի է համարել որպես միաչափ, ոչ պարբերական բյուրեղ:

ԴՆԹ մոլեկուլը մոդելային դիտարկման դեպքում կարելի է համարել որպես միաչափ բյուրեղ, քանի որ ԴՆԹ մոլեկուլի տարրական բջիջը (զույգ ազոտային հիմքերը) փոխազդում է միայն 2 հարևան բջիջների հետ: Մոլեկուլը ոչ պարբերական է, քանի որ բաղկացած է 2 տիպի տարրական բջիջներից՝ AT (ադենին-թիմին) և GC (գուանին-ցիտոզին): Այսպիսի միաչափ ոչ պարբերական բյուրեղի հատկություններն էապես տարբերվում են ցածրամոլեկուլային նյութերի առաջացրած բյուրեղային կառուցվածքի հատկություններից: Ընդհանուր առմամբ ԴՆԹ մոլեկուլը յուրահատուկ ֆիզիկական համակարգ է և նրա ֆիզիկական հատկությունների պարզաբանումը թույլ է տալիս հասկանալ կենդանի օրգանիզմում ԴՆԹ-ի կենսաբանական ֆունկցիաները և բացատրել մի շարք պաթոլոգիական պրոցեսների առաջացման մոլեկուլային մեխանիզմները:

**ԴՆԹ-ի դենատուրացիան:**

ԴՆԹ մոլեկուլում ընթացող ֆիզիկական պրոցեսներից առանձնահատուկ տեղ է գրավում համեմատաբար լավ ուսումնասիրված դենատուրացիայի (հալում, պարույր-կծիկ անցում) պրոցեսը: Այն լավ պատկերացնելու համար դիտարկենք ցածրամոլեկուլային նյութերից, օրինակ, սառույցի հալման պրոցեսը: Բոլորին հայտնի է, որ սառույց-ջուր անցումը նորմալ մթնոլորտային ճնշման պայմաններում կատարվում է  $0^{\circ}\text{C}$  ( $273\text{K}$ ) ջերմաստիճանում, և քանի դեռ սառույցը լրիվ չի փոխակերպվել ջրի, համակարգի ջերմաստիճանը չի փոխվում: Նկար 9.3.-ում պատկերված է սառույց-ջուր համակարգի C տեսակարար ջերմունակության կախումը t ջերմաստիճանից,  $0^{\circ}\text{C}$ -ին մոտ տիրույթում:

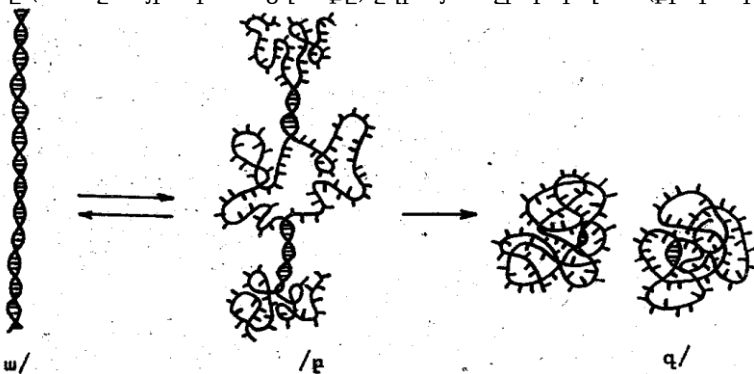


Սառույցը տաքացնելիս նրա ջերմաստիճանը աճում է մինչև 0°C, ու թեև համակարգը ստանում է ջերմաքանակ, այնուամենայնիվ նրա ջերմաստիճանը չի փոխվում: Գրաֆիկից երևում է, որ երբ սառույցը 0°C-ում լրիվ վերածվում է ջրի, C-ն թռիչքային փոփոխվում է, որից հետո ջերմություն հաղորդելուց t -ն աճում է: Հետագա տաքացման ժամանակ C-ն գրեթե մնում է հաստատուն: Հետևաբար սառույց-ջուր անցումը կարելի է բնութագրել մեկ պարամետրով՝ հալման ջերմաստիճանով:

Դիտարկենք ԴՆԹ-ի դենատուրացիան: Որոշակի պայմաններում (օրինակ՝ ջերմաստիճանը բարձրացնելիս, միջավայրի *pH* փոխելիս) ջրածնային կապերը AT և GC կոմպլեմենտար զույգ ազոտային հիմքերի միջև քանդվում են, որի հետևանքով ԴՆԹ մոլեկուլի կրկնակի պարույրը բաժանվում է 2 շղթաների: Նկար 9.4-ում սխեմատիկորեն պատկերված է կրկնակի պարույրային ԴՆԹ-ի դենատուրացիայի պրոցեսը՝

- ա) լրիվ պարույր վիճակը,
- բ) մասնակի դենատուրացված վիճակը,
- գ) լրիվ դենատուրացված վիճակը:

ԴՆԹ-ի դենատուրացիայի պրոցեսում ազոտային հիմքերի հաջորդականությունը (առաջնային կառուցվածքը) շղթայում չի փոխվում (քիմիական

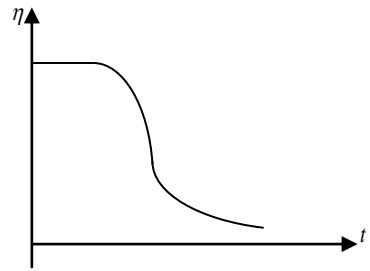


Նկ.9.4.

կապերը չեն խզվում), քանդվում են երկու շղթաների միջև գործող ներ-մուլեկուլային ջրածնային կապերը:

ԴՆԹ մուլեկուլի միթելանի շղթաները, որոնք առաջանում են դենատուրացիայի հետևանքով, ճկուն պոլիմերային շղթաներ են: Այդպիսի շղթաները նկարագրվում են ազատ-միացված շղթայի մոդելով: Նրանց ծայրերի միջև եղած հեռավորությունների բաշխումը Գաուսյան է, այդ պատճառով այդպիսի շղթաները կոչվում են գաուսյան կամ վիճակագրա-կան կծիկ: Դենատուրացված կամ կծիկանման վիճակում ԴՆԹ մուլեկուլում հարևան ազոտային հիմքերի հեռավորությունը կազմում է  $6,8\text{Å}^0$ , որը 2 անգամ ավելի մեծ է, քան կրկնակի պարույր վիճակում: Որոշակի պայմաններում ԴՆԹ մուլեկուլի հալումը հակադարձելի է: Ջերմաստիճանի նվազման հետ շղթաների կոմպլեմենտար հիմքերը միանում են ջրածնային կապերով՝ առաջացնելով կրկնակի պարուրային տեղամասեր (ռենատուրացիա): Հետևաբար ընդհանրացնելով շարադրվածը՝ կարելի է պնդել, որ ԴՆԹ մուլեկուլի դենատուրացիան կարգավորված պարույր (բյուրեղային) վիճակից անցում է չկարգավորված կծիկ (հեղուկ) վիճակի:

Ուսումնասիրենք ԴՆԹ-ի դենատուրացիայի ժամանակ որևէ ֆիզիկական մեծության (օրինակ՝ լուծույթի  $\eta$  մածուցիկության) կախումը  $T$ -ից (նկար 9.5): Փորձերը ցույց են տալիս, որ, կախված միջավայրի իոնական ուժից, որոշակի ջերմաստիճանից սկսած մածուցիկությունը փոքրանում է և լրիվ դենատուրացված վիճակում գրեթե մնում է



*Նկար 9.5.*

հաստատուն: Հետևաբար ԴՆԹ-ի դենատուրացիան (հալումը) չի կատարվում որևէ հաստատուն ջերմաստիճանում: Այդ պատճառով դենատուրացիայի պրոցեսի նկարագրման համար անհրաժեշտ են ոչ պակաս, քան 2 պարամետրեր, որոնք ընդունված է անվանել հալման ջերմաստիճան և միջակայք:

ԴՆԹ մուլեկուլի մուլային զանգվածը  $\sim 10^7 \div 10^9$  դալտոն կարգի է: Եթե այն լրիվ ձգված կրկնակի պարույր լիներ (ունենար ձողանման կառուցվածք), ապա կունենար 5 մկմ երկարություն: Սակայն լուսացրման մեթոդով հաշվարկված է, որ ֆիզիոլոգիական պայմաններում մուլեկուլի չափը  $\cong 0,5$  մկմ: Այս տվյալներից կարող ենք ընդհանրացնել, որ ԴՆԹ մուլեկուլի կրկնակի պարուրային կառուցվածքը որոշ մասերում  $\square$ կոտրը-



վում է՝ առաջացնելով դենատուրացված տեղամասեր: Այսպիսի կառուցվածքների համար մոլեկուլի չափի կախումը մոլային զանգվածից որոշվում է Դոտի-Ռայս-Մակլիսիչի բանաձևով, որ նատիվ ԴՆԹ-ի համար ունի հետևյալ տեսքը.

$$R = 2,7 \cdot 10^{-9} M^{0,58}; \quad (9.1.)$$

Եթե ԴՆԹ-ն իդեալական կծիկ լիներ, ապա նրա համար  $R = A \cdot M^{0,5}$ , իսկ եթե հանդիսանար կոշտ փայտիկ, ապա  $R = A \cdot M$ : Հետևաբար (9.1.) բանաձևից հետևում է, որ նատիվ վիճակում ԴՆԹ մոլեկուլն ունի ինչ-որ միջանկյալ կառուցվածք:

Հիդրոդինամիկական հետազոտությունները ցույց են տվել, որ ԴՆԹ-ի լուծույթի հոսքի որոշակի գրադիենտից սկսած՝ ԴՆԹ մոլեկուլները կտրտվում են կտորների՝ առանց խախտելու կրկնակի պարուրային կառուցվածքը: Այդ նպատակով մեծ մոլեկուլային զանգվածով ԴՆԹ-ի հետ աշխատելիս անհրաժեշտ է շատ զգույշ վարվել, օգտագործել հնարավորինս լայն տրամագծով մազական խողովակներ, լուծույթը դանդաղ լցնել կամ թափել:

Ուսումնասիրենք ԴՆԹ-ի այնպիսի լուծույթ, երբ չի դիտարկվում ԴՆԹ մոլեկուլների փոխազդեցությունը իրար հետ (նոսրացված լուծույթ): Այդպիսի լուծույթների մածուցիկությունը գնահատվում է բնութագրական մածուցիկության միջոցով, որը որոշում է լուծված նյութի կառուցվածքով պայմանավորված լուծույթի մածուցիկության փոփոխությունը և սահմանվում (9.2.) բանաձևով:

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta - \eta_0}{c \eta_0} \quad (9.2.)$$

Եթե ԴՆԹ-ի մոլային զանգվածը  $3 \cdot 10^5 \div 2 \cdot 10^6$  դալտոն տիրույթում է, ապա  $[\eta]$  բնութագրական մածուցիկությունը, որը որոշում է ԴՆԹ-ի մոլեկուլի կառուցվածքով պայմանավորված լուծիչի մածուցիկության հարաբերական փոփոխությունը, բնութագրում է ԴՆԹ-ի մեկ մոլեկուլը և կախված ԴՆԹ-ի մոլային զանգվածից՝ որոշվում է (9.3.) բանաձևով.

$$[\eta] = 1,05 \cdot 10^{-7} M^{1,32}; \quad (9.3.)$$

Իսկ եթե մոլային զանգվածը  $2 \cdot 10^6 \div 1,3 \cdot 10^8$  տիրույթում է, ապա

$$[\eta] = 6,9 \cdot 10^{-4} M^{0,7}; \quad (9.4.)$$

Նշենք, որ եթե ԴՆԹ մոլեկուլը նատիվ վիճակում գաուսյան կծիկ լիներ, ապա նրա  $[\eta]$ -ի կախումը  $M$ -ից կորոշվեր (9.5.) բանաձևով.

$$[\eta] = KM^{0,5+0,7}; \quad (9.5.)$$

Իսկ եթե կոշտ փայտիկ լիներ, ապա

$$[\eta] = KM^{1,8} : \quad (9.6.)$$

Համեմատելով (9.3.), (9.4.) բանաձևերը (9.5.), (9.6.) բանաձևերի հետ՝ կարելի է եզրակացնել, որ ֆիզիոլոգիական պայմաններում ԴՆԹ մոլեկուլը գտնվում է օկծիկի և օփայտիկի միջանկյալ վիճակում: Եթե մոլային  $M$  զանգվածը մեծ է  $2 \cdot 10^6$  դալտոնից, ապա մոլեկուլի վարքը մոտ է կծիկի, իսկ ավելի փոքր զանգվածների դեպքում ԴՆԹ մոլեկուլն իրեն պահում է ինպես ձող:

ԴՆԹ մոլեկուլի դենատուրացիան կարելի է ուսումնասիրել տարբեր ֆիզիկական մեթոդներով՝ սպեկտրոսկոպիկ, կալորիմետրիկ, հիդրոդինամիկական և այլն: Ուսումնասիրության համեմատաբար պարզ մեթոդ է ԴՆԹ մոլեկուլների լուծույթի լույսի կլանման չափումը սպեկտրի ուլտրամանուշակագույն տիրույթում՝ կախված ջերմաստիճանից: ԴՆԹ-ն կլանում է 310 նմ-ից փոքր ալիքի երկարություններով էլեկտրամագնիսական ալիքներ, կլանման մաքսիմումներից մեկը ընկնում է  $\lambda \cong 260$  նմ ալիքի երկարության վրա: Հայտնի է, որ դենատուրացիայի հետևանքով աճում է լուծույթի կլանման չափը: Աճը լրիվ դենատուրացված վիճակում կազմում է սկզբնական կլանման 30-40%-ը: Այս երևույթը կոչվում է հիպերքրոմային էֆեկտ, որը պայմանավորված է դենատուրացիայի հետևանքով հիմքերի միջև՝ նրանց հարթությանն ուղղահայաց ուղղությամբ գործող վանդերվալսյան փոխազդեցության ուժերի վերացմամբ:

Համաձայն Լամբերտ-Բերի օրենքի՝ նմուշի վրա ընկնող  $I_0$  և դուրս եկող  $I$  լույսի ինտենսիվությունների միջև կապը որոշվում է

$$I = I_0 e^{-\varepsilon cd} \quad (9.7.)$$

բանաձևով, որտեղ  $c$ -ն լուծույթի կոնցենտրացիան է (մոլ/լ),  $d$ -ն՝ հետազոտվող լուծույթի շերտի հաստությունը (սմ),  $\varepsilon$ -ն՝ կլանման մոլային գործակիցը, որը սովորաբար չափվում է մոլ<sup>-1</sup>սմ<sup>-1</sup> միավորներով:  $\ln \frac{I_0}{I} = A$

մեծությունը կոչվում է օպտիկական խտություն, որը, համաձայն (9.7.) բանաձևի, որոշվում է  $A = \varepsilon cd$  բանաձևով:

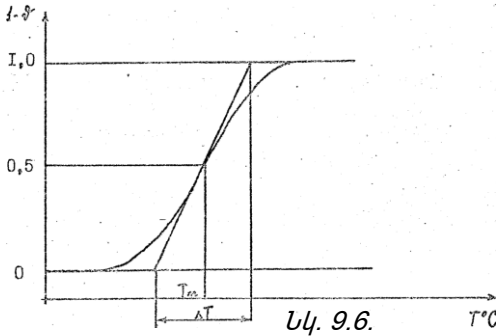
ԴՆԹ-ի դեպքում, ընդունելով, որ կլանման աճը ուղիղ համեմատական է քանդված ջրածնային կապերի թվին, կարելի է կառուցել դենատուրացիայի (հալման) կորը՝ քանդված կապերի մասի կախումը ջերմաստիճանից: Եթե  $A(T)$ -ն ԴՆԹ-ի լուծույթի օպտիկական խտությունն է կամայական  $T$  ջերմաստիճանում, իսկ  $A_1$ -ը և  $A_2$ -ը՝ նրա արժեքները ԴՆԹ մոլեկուլի լրիվ պարուրային և լրիվ դենատուրացված վիճակներում, ապա

$$\frac{A(T) - A_1}{A_2 - A_1}$$

ցույց կտա մոնոմերային միավորների մասը, որոնք դենատուրացված վիճակում են՝  $1 - \nu$

$$1 - \nu = \frac{A(T) - A_1}{A_2 - A_1} \quad (9.8.)$$

$\nu$ -ն կոչվում է պարուրականության աստիճան, այսինքն՝ մոնոմերային միավորների մասը, որը պարույր վիճակում է: Նկար 9.6.-ում պատկերված է ԴՆԹ մոլեկուլի դենատուրացիայի կորի գծապատկերը:



Նկար 9.6.-ից երևում է, որ դենատուրացիան տեղի չի ունենում մի որոշակի ջերմաստիճանում, ինչպես դա լինում է, օրինակ, սառույցի հալման դեպքում, այսինքն՝ դենատուրացիայի պրոցեսը էապես տարբերվում է ցածրամոլեկուլային բյուրեղային մարմինների հալման

պրոցեսից:

**ԴՆԹ-ն և քաղցկեղը:** Հայտնի է, որ ԴՆԹ մոլեկուլը կենդանի համակարգի ժառանգական ինֆորմացիայի կրողն է, պահպանողը և փոխանցողը: Վերջին տարիներին կատարված հետազոտությունները վկայում են, որ ժառանգական ինֆորմացիան կողավորված չէ միայն ԴՆԹ մոլեկուլի նուկլեոտիդների հաջորդականության միջոցով: Բացի ինֆորմացիայի նյութական կրողից, ԴՆԹ-ի շուրջը գոյություն ունի հուլզրաֆիկ դաշտ, որը նույնպես ինֆորմացիայի կրող է: Ներկայումս զարգացվում է գենետիկայի նոր ուղղություն՝ ալիքային գենետիկա:

Այժմ դիտարկենք ԴՆԹ մոլեկուլի դերը քաղցկեղի առաջացման պրոցեսում: Քաղցկեղային բջիջը տվյալ օրգանիզմի համար օտար բջիջ չէ, չնայած իրեն օպահում է օրպես օտար: Հասուն օրգանիզմում բջիջների բաժանման պրոցեսը կատարվում է խիստ վերահսկելի, չնայած տարբեր է, որոշ հյուսվածքներում, օրինակ, ուղեղում՝ ընդհանրապես արգելված է: Որոշ պահից սկսած՝ բջիջը դադարում է ենթարկվել օկանոններին և սկսում է անվերահսկելի բաժանվել, այսինքն՝ ձևափոխվում է քաղցկեղային բջիջի: Նշենք, որ նրա այդ հատկությունը փոխանցվում է նաև նրա սերունդներին: Ստեղծվում է մի իրավիճակ, որտեղ ունենք օաննորմալ

բջիջներ, բայց իմունային համակարգը, որը ակտիվ պայքարում է արտաքին վիրուսների և բակտերիաների դեմ, դրանք չի ընկալում որպես օտար ֆջիջներ:

Որտեղից են վերցվում այդ օաննոթմալ ֆջիջները: Քանի որ նրանց վատ վարքը փոխանցվում է սերունդներին, ուստի բնական է ենթադրել, որ որոշակի փոփոխություններ է կրում ԴՆԹ մոլեկուլը, որից և փոխվում է բջիջը:

Ընդհանուր դեպքում, նման մոտեցումն այնքան էլ ճիշտ չէ, քանի որ ապացուցված է, որ բազմաբջիջ օրգանիզմների բջիջները օժտված են նրանց վարքը որոշող ինֆորմացիան կտրուկ փոխելու հասկությամբ՝ առանց ԴՆԹ-ի կառուցվածքի փոփոխության: Շատ դեպքերում բջիջների տարբերակումը կապված է գեների ակտիվության փոփոխության հետ, որի դեպքում ԴՆԹ-ի առաջնային կառուցվածքը մնում է անփոփոխ:

Եթե ընդունենք, որ քաղցկեղն առաջանում է բջիջների տարբերակման խախտման հետևանքով, ապա հանդիպում ենք մի շարք դժվարությունների: Մասնավորապես փորձերը ցույց են տալիս, որ քաղցկեղը կարող է առաջանալ նաև արտաքին ազդեցությունների հետևանքով, օրինակ՝ կենդանիների վարակելով վիրուսով (օնկովիրուս): Մակայն հետազատում պարզվեց, որ քաղցկեղի առաջացման վիրուսագենետիկական տեսությամբ ոչ միշտ է հնարավոր բացատրել նրա առաջացումը: Օրինակ՝ շատ դեպքերում քաղցկեղն առաջանում է տարբեր բնույթի ֆիզիկական և քիմիական ազդակների ազդեցությամբ: Հայտնի են բազմաթիվ միացություններ (կանցերոգեններ), որոնք ընդունակ են առաջացնելու քաղցկեղ: Հետազայում կատարված բազմաթիվ փորձերը ցույց տվեցին, որ բջջի ուռուցքային տրանսֆորմացիայի սկզբնական պատճառը թաքնված է գենետիկական նյութում՝ ԴՆԹ-ում: Վերջապես, 1979 թ. փորձով ապացուցվեց քաղցկեղի գենետիկական, ԴՆԹ-ով պայմանավորված բնույթը: Կանցերոգենները, ազդելով ԴՆԹ-ի վրա, ինչ-որ բան փոխում են նրա կառուցվածքում (մուտացիա), որի հետևանքով նորմալ բջիջը տրանսֆորմացվում է ուռուցքայինի: Եթե նկարագրված տեսակետը ճիշտ է, ապա քաղցկեղով հիվանդ մարդուց անջատված ԴՆԹ-ն առողջ մարդուն ներարկելով՝ կարելի է նրա օրգանիզմում ևս քաղցկեղ առաջացնել: Փորձերը հիմնավորեցին այդ գաղափարի ճշմարտացիությունը:

Քանի որ մարդու ԴՆԹ-ն տրանսֆորմացվում է, ուրեմն այնտեղ կա օնկոգեն տեղամաս, որը պատասխանատու է ուռուցքագոյացման համար: Կարճ ժամանակում հայտնաբերվեց և հետազոտվեց ~ 30 օնկոգենների նուկլեոտիդների հաջորդականությունը: Գիտնականները պնդում

են, որ այդ գեներն են պատասխանատու մարդու և կենդանիների օրգանիզմներում հանդիպող բոլոր տիպի քաղցկեղների առաջացմանը: Հետագայում պարզվեց, որ յուրաքանչյուր օնկոգենի համար գոյություն ունի իր բջջային օնմանակը, նորմալ գենը, որը կոչվում է պրոտոօնկոգեն:

Պրոտոօնկոգենը՝ որպես այդպիսին, անվտանգ է: Մոլեկուլային գենետիկայի տեսանկյունից օնկոգենը, ինչպես և պրոտոօնկոգենը սովորական կառուցվածքային գեներ են, այսինքն՝ դրանցից յուրաքանչյուրը ինֆորմացիա է կրում որոշակի սպիտակուցի կառուցվածքի վերաբերյալ:

Բազմաբջիջ օրգանիզմում յուրաքանչյուր բջիջ խստորեն ենթարկվում է իրեն հասած ինֆորմացիոն ազդանշաններին: Դրանցից կարևորներից է բազմացման (բաժանման) ազդանշանը:

Իսկ ինչո՞վ է տարբերվում օվատ օնկոգենը անվտանգ, նույնիսկ պետքական պրոտոօնկոգենից: Ներկայումս հայտնի են մի շարք մեխանիզմներ, որոնք ձևավոխում են պրոտոօնկոգենը օնկոգենի: Դա կարող է լինել կետային մուտացիա, քրոմոսոմների տարածական կառուցվածքի փոփոխություններ կամ քրոմոսոմային ձևավոխություն, որի հետևանքով պրոտոօնկոգենը տեղափոխվում է մի այլ քրոմոսոմի վրա: Իսկ ինչպես է աշխատում օնկոգենը: Օնկոգենը ստիպում է, որ բջջի ԴՆԹ-ն սկսի անընդհատ կիսվել: Միաժամանակ առաջացած քույր բջիջները նույնպես կրում են օնկոգեն, այսինքն՝ դարձյալ պարունակում են անընդհատ կիսման վերաբերյալ ինֆորմացիա: Այսպես առաջանում է քաղցկեղը: Ելնելով նրա առաջացման մեխանիզմից՝ առաջարկվում է բուժման 2 եղանակ.

ա) վերացնել քաղցկեղի բոլոր բջիջները,

բ) ստիպել, որ քաղցկեղով բջիջը դադարի սինթեզել օնկոգեն:

### Սպիտակուցի կառուցվածքը

Սպիտակուցները բաղկացած են հիմնականում 20 տիպի ամինաթթվային մնացորդներից, որոնք պարունակում են տարբեր բնույթի կողմնային ռադիկալներ: Այդ պատճառով սպիտակուցների կազմության մեջ մտնող ամինաթթվային մնացորդներն ունեն տարբեր լուծելիություն: Ջրում անլուծելի ամինաթթվային մնացորդները ձգտում են փոխազդել իրար հետ՝ առաջացնելով ներմոլեկուլային կայուն կապեր: Դրա հետևանքով սպիտակուցները կարող են առաջացնել գլոբուլյա կամ գծային բյուրեղանման կառուցվածքներ: Լուծիչի, pH-ի կամ ջերմաստիճանի փոփոխության հետևանքով այդ կապերը կարող են քանդվել, որի հետևանքով սպիտակուցը անցնում է դենատուրացված (հալված, կծիկանման) վիճակի:

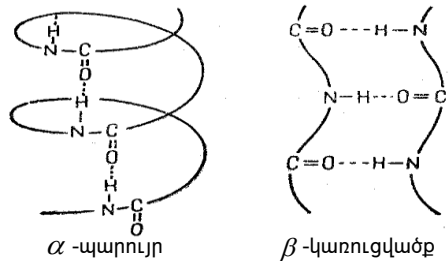
Պոլիպեպտիդային շղթայում հիմնականում հիդրոֆոբ ու հիդրոֆիլ փոխազդեցությունների և ջրածնային կապերի շնորհիվ շղթան կարող է առաջացնել պարուրային կառուցվածք, որը կոչվում է Պոլինգ-Վորիի  $\alpha$ -պարույր (նկար 9.7.):

$\alpha$ -պարույրի յուրաքանչյուր գալարում պարունակվում է 3,6 ամինաթթվային մնացորդ, և գալարում առաջանում են 3 ներմոլեկուլային ջրածնային կապեր, որոնք և հիմնականում կայունացնում են շղթայի ձգված կառուցվածքը: Հետևաբար պարույրի կառուցվածքի լրիվ կրկնումը կատարվում է 5 գալարը մեկ կամ 18 ամինաթթվային մնացորդից հետո:

Սպիտակուցի ամինաթթվային կազմով և միջավայրով պայմանավորված՝ նրանք կարող են առաջացնել նաև հարթ  $\beta$ -կառուցվածք, որտեղ տարբեր շղթաների ամինաթթվային մնացորդները իրար հետ կապված են ջրածնային կապերով (նկար 9.7.):

Գլոբուլյար սպիտակուցներում ամինաթթվային մնացորդների մի մասն առաջացնում է  $\alpha$ -պարույր կամ  $\beta$ -կառուցվածք, իսկ մյուսը գտնվում է կծիկանման վիճակում:

Սպիտակուցների երկրորդային և երրորդային կառուցվածքը նպատակահարմար է



Նկ. 9.7.

ուսումնասիրել պեպտիդային կապի օպտիկական հատկությունների ուսումնասիրության միջոցով, որի կլանման մաքսիմումը համապատասխանում է  $\lambda \cong 190$  նմ ալիքի երկարությանը:

Եթե ամինաթթվային մնացորդներն առաջացնում են  $\alpha$ -պարույր, ապա նրանց լուծույթի օպտիկական խտությունը կծիկանման վիճակի նկատմամբ 42%-ով փոքրանում է:

Այդ դեպքում կլանման մաքսիմում չի տեղաշարժվում: Պոլիպեպտիդների  $\alpha$ -պարույրը կարելի է դիտարկել որպես միաչափ բյուրեղային կառուցվածք, որի հալման պրոցեսը նույնպես նկարագրվում է 2 պարամետրի միջոցով:

### Թեստային օրինակներ

#### 1. ԴՆԹ-ի կրկնակի պարուրային կառուցվածքը կայունացնում են՝

- 1) կոմպլեմենտար զույգ ազոտային հիմքերի միջև առկա ջրածնային կապերը
- 2) հիդրոֆոբ և հիդրոֆիլ փոխազդեցության ուժերը

3) կովալենտ կապերը

4) իոնական կապերը

ա) բոլորը, բ) միայն 3,4, գ) միայն 1,2, դ) միայն 1

**2. ԴՆԹ-ի ռենստուրացիայի հետևանքով՝**

ա) աճում է լույսի կլանումը սպեկտրի ուլտրամանուշակագույն տիրույթում

բ) նվազում է լույսի կլանումը սպեկտրի ուլտրամանուշակագույն տիրույթում

գ) տարածական կառուցվածքը չի փոխվում

դ) կատարվում է երկրորդ կարգի փուլային անցում

**3. ԴՆԹ մոլեկուլը in vivo պայմաններում գտնվում է.**

ա) B-ձևում բ) Z -ձևում գ) A -ձևում դ) C-ձևում

**4. ԴՆԹ-ի ռենստուրացիայի հետևանքով՝**

ա) փոխվում է նուկլեոտիդների հաջորդականությունը

բ) քանդվում են կովալենտ քիմիական կապերը

գ) քանդվում են ներմոլեկուլային ջրածնային կապերը

դ) մեծանում է լուծույթի մածուցիկությունը

**5. Սպիտակուցների երկրորդային կառուցվածքը ներկայացնում է.**

1)  $\alpha$  -պարույր 2)  $\beta$  -կառուցվածք 3) կրկնակի պարույր 4)  $\beta$  -պարույր

ա) բոլորը, բ) միայն 1,2, գ) միայն 1,4, դ) միայն 3

**6. Մոդելային դիտարկման դեպքում ԴՆԹ մոլեկուլը կարելի է համարել որպես՝**

ա) պարբերական, միաչափ բյուրեղ բ) պարբերական, եռաչափ բյուրեղ

գ) ոչ պարբերական, միաչափ բյուրեղ դ) ոչ պարբերական, երկչափ բյուրեղ

**7. Օրգանի ուռուցքային տրանսֆորացիայի դեպքում՝**

1) էնթրոպիան աճում է

2) խախտվում է վիճակի ստացիոնարությունը

3) փոքրանում է համակարգի կարգավորվածության աստիճանը

4) մեծանում է համակարգի անկարգավորվածության աստիճանը

ա) միայն 1,2 բ) միայն 2,4 գ) միայն 1,2,4 դ) բոլորը

**8. Օպտիկական խտության (A) չափման միավորն է՝**

ա) մոլ/լ բ) Կգմ/վ գ) մոլ Լ դ) չունի (լ-լիտր)

**9. Օպտիկական խտության (A)-ն է՝**

1) ուղիղ համեմատական է նյութի կլանման մոլային գործակցին ( $\varepsilon$ )

2) հակադարձ համեմատական է լուծված նյութի կոնցենտրացիային ( $c$ )

3) ուղիղ համեմատական է ընկնող լույսի ալիքի երկարությանը ( $\lambda$ )

4) որոշվում է  $A = c \cdot \lambda$  բանաձևով

ա) միայն 1 բ) միայն 1,2 գ) միայն 3,4 դ) բոլորը սխալ են

**10. ԴՆԹ-ի կոնցենտրացիան որոշվել է  $\lambda = 260$  նմ ( $1 \text{ նմ} = 10^{-9} \text{ մ}$ ) ալիքի երկարության տակ նրա կլանման չափով: Լուծույթի օպտիկական խտությունը  $A = 0.12$  է, լուծույթի շերտի հաստությունը՝  $d = 1$  սմ, իսկ կլանման մոլային գործակիցը՝  $\varepsilon = 6000$  լ/մոլ սմ: Այդ դեպքում ԴՆԹ կոնցենտրացիան ( $c$ ) քանի՞ մոլ/լ է:**

ա)  $2 \cdot 10^{-4}$ , բ)  $2 \cdot 10^{-5}$ , գ)  $2 \cdot 10^{-3}$ , դ) 0,2

11. Ի՞նչ ալիքի երկարություններով էլեկտրամագնիսական ալիքներով է կատարվել հետազոտությունը, եթե ստացվել են հետևյալ արժեքները. օպտիկական խտությունը՝  $A = 0,75$ , կլանման մուլային գործակիցը՝  $\varepsilon = 750$  Լ մոլ<sup>-1</sup>սմ<sup>-1</sup>,  $d = 1$  սմ:

ա) 260նմ, բ) 150նմ, գ) 210նմ, դ) բոլոր պատասխանները հնարավոր են

12. Լուծույթից դուրս եկած լույսի իտենսիվությունը կազմում է ընկած լույսի ինտենսիվության 20%-ը: Ինչի՞ է հավասար օպտիկական խտությունը.

ա)  $\ln 5$ , բ)  $\ln 2$ , գ)  $\ln 0.8$ , դ)  $\ln 0,2$

13. ԴևԹ մոլեկուլը պարունակում է  $2 \cdot 10^6$  պարուրային վիճակում գտնվող նուկլեոտիդներ և  $8 \cdot 10^5$  դենատուրացված վիճակում գտնվող նուկլեոտիդներ: ԴևԹ-ի պարուրականության աստիճանը հավասար է՝

ա)  $\frac{5}{7}$ , բ)  $\frac{2}{5}$ , գ)  $\frac{1}{4}$ , դ)  $\frac{7}{5}$

**Պատասխաններ**

1.գ	2.բ	3.ա	4.գ	5.բ	6.գ	7.դ	8.դ	9.ա
10.բ	11.դ	12.ա	13.ա					

**ԳԼՈՒԽ 4. ՎԵՐՄՈՂԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ԿԵՆՍԱՏՖԻԶԻԿԱ**

**10. ԿԵՆՍԱԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆ ՈՒ ՏԻԶԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ: ԲԶՋԱԹԱՂԱՆԹԱՅԻՆ ՍՈՂԵԼՆԵՐ**

(Գ.Փոթիկյան, Յու.Բաբայան)

Բջջի կենսագործունության կարևորագույն նախապայմանը կենսաթաղանթների նորմալ գործնեությունն է: Կենսաթաղանթները հիմնականում կազմված են երկու տեսակի միացություններից՝ լիպիդներից և սպիտակուցներից:

Թաղանթներում դրանց խիտ դասավորման ու թաղանթների շատ մեծ մակերեսի հաշվին լիպիդների և սպիտակուցների գումարային զանգվածը կազմում է բջջի չոր նյութի զանգվածի կեսը: Տարբեր տեսակի կենսաթաղանթներում լիպիդների և սպիտակուցների քանակային պարունակությունը տարբեր է: Օրինակ՝ տիֆ հարուցող բակտերիաների բջջաթաղանթում լիպիդները կազմում են մոտավորապես 35%, արյան կարմիր բջիջների՝ էրիթրոցիդների բջջաթաղանթում՝ 40%, աչքի ցանցա-



թաղանթի ձողիկների բջջաթաղանթում՝ 51%, նյարդաթելերի բջջաթաղանթներում՝ 50-60%:

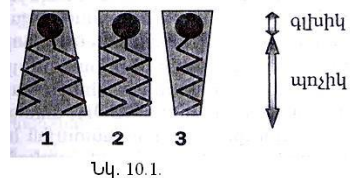
Որոշ կենսաթաղանթներում սպիտակուցների և լիպիդների հետ միասին հանդիպում են նաև ածխաջրեր: Կենսաթաղանթների բաղկացուցիչ մաս է կազմում ջուրը, որը գտնվում է երեք կարգավիճակներում: Առաջինն ածխաջրերի հետ կապված ջուրն է, երկրորդը՝ լիցքավորված մոլեկուլների և իոնների հետ կապված ու հիդրատային շերտ կազմող ջուրն է և երրորդը՝ ազատ ջուրը: Ջրի այդպիսի կարգավիճակները բնութագրվում են նրա մոլեկուլների տարբեր շարժունակությամբ:

Լիպիդները սպիրտի և ճարպաթթուների էթերներ են: Նրանք կազմում են ցածրամոլեկուլային նյութերի բազմաբնույթ մի խումբ, որոնք լուծվում են օրգանական լուծիչներում ու սովորաբար չեն լուծվում ջրում. հիդրոֆոբ են: Կենսաթաղանթներում հանդիպում են 40-ից ավելի տեսակի լիպիդներ, որոնց քանակային պարունակությունները բջիջներում խիստ տարբեր են և փոփոխվում են՝ կախված բջջային ցիկլի փուլից, բջջի ֆիզիոլոգիական վիճակներից, արտաքին գործոններից և այլն:

### **Լիպիդների կառուցվածքը**

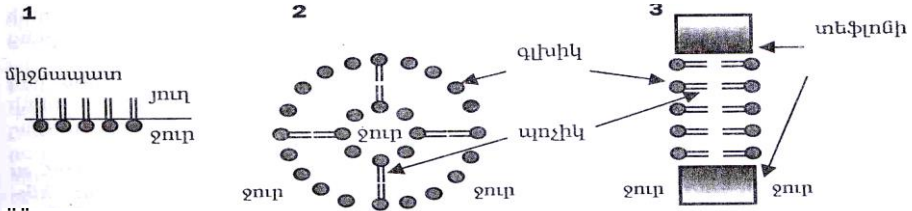
Լիպիդի մոլեկուլը կազմված է գլխիկից և պոչիկից (նկար 10.1.): Գլխիկը զբաղեցնում է մոլեկուլի երկարության գրեթե 1/4-ը, իսկ պոչիկը՝ 3/4-ը: Ընդ որում, պոչիկի երկարությունը հասնում է 2,1 նմ: Լիպիդների մեծ մասի գլխիկը, կազմված լինելով ֆոսֆորական թթվի մնացորդից և լրացուցիչ, տարբեր բնույթի ռադիկալներից (խոլին, սերին, էթանոլամին և այլն), հիդրոֆիլ է, կրում է դրական ու բացասական լիցք, սակայն գլխիկի գումարային լիցքը կա՛մ բացասական է, կա՛մ էլ՝ չեզոք: Գլխիկի գումարային լիցքի զրո լինելու դեպքում այն դիպոլ է: Գլխիկի բացասական լիցքը կարող է լինել 1e կամ 2e, որտեղ e-ն էլեկտրոնի լիցքն է: Հիդրոֆոբ պոչիկը էլեկտրաչեզոք է և կազմված է երկու ածխաջրածնական  $-(CH_2)_n-$  շղթաներից, որտեղ  $n=16 \div 18$  է: Այնտեղ գործնականում բացակայում են ջրի մոլեկուլները: Լիպիդային մոլեկուլները կարող են ունենալ կոնի, գլանի և շրջված կոնի ձև՝ կախված գլխիկի մակերևույթի մակերեսի ու ճարպաթթվային պոչիկի լայնական կտրվածքի մակերեսի հարաբերությունից (նկար 10.1.):

### **Կենսաթաղանթային մոդելներ**



Նկ. 10.1.

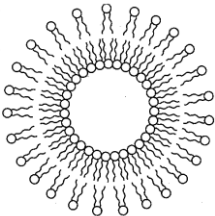
Կենսաբանական թաղանթների կառուցվածքի և ֆունկցիաների, լիպիդային երկշերտի կառուցվածքային և արգելակային հատկությունների, վնասվածքների մեխանիզմների, ինչպես նաև դեղամիջոցների ազդեցությունների ուսումնասիրությունների համար մեծ կիրառություն ունեն մոդելային համակարգերը, այսպես կոչված, արհեստական թաղանթները: Ի տարբերություն կենսաբանական թաղանթների՝ վերջիններս զրկված են մետաբոլիկ ակտիվությունից և օժտված չեն բարձր ընտրողականությամբ: Մյուս կողմից նրանք մոդելավորում են կենսաթաղանթների



ՄՊ.10.2.: Արհեստական լիպիդային կառույցներ. 1- միաշերտ, 2- լիպոսոմ, 3- հաբբ երկշերտ:

կարևորագույն հատկությունները և հնարավոր են դարձնում նյութի տեղափոխության և զրգոականության ուսումնասիրությունները:

Առավել տարածված են հետևյալ 3 տիպի մոդելները՝ միաշերտ և երկշերտ լիպիդային թաղանթներ ու լիպոսոմներ (նկար 10.2.):



Նկ.10.3.

Լիպիդներին բնորոշ է ինքնակազմակերպումը, որը պայմանավորված է նրա ամֆիֆիլ հատկություններով, այսինքն՝ գլխիկը հիդրոֆիլ է, իսկ պոչիկը՝ հիդրոֆոբ: Ուստի ջուրյուղ կամ ջուր-օդ միջավայրերի բաժանման մակերևույթին լիպիդները կազմում են մեկ շերտ՝ միաշերտ. գլխիկները ուղղվում են դեպի ջուր, իսկ պոչիկները՝ դեպի յուղ կամ

օդ:

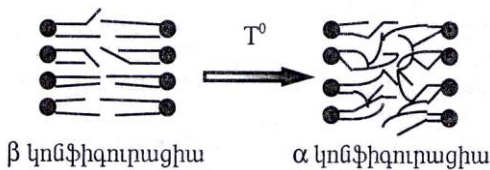
Ջրում լիպիդների մոլեկուլները ձգտում են միավորվել ծավալային ու մակերևութային կառույցներում, որոնք էլեկտրաստատիկ փոխազդեցությունների, ջրածնային կապերի ու վանդերվալյան ուժերի ներգործության արդյունք են: Լիպիդների բարձր կոնցենտրացիայի դեպքում առաջանում են լիպոսոմներ (ֆոսֆոլիպիդային վեզիկուլներ, նկար 10.3.), որոնք ունեն 5-50 մկմ տրամագիծ: Այն էներգիապես շահավետ վիճակ է, քանի որ նվազում է ջրի հետ հիդրոֆոբ մակերևույթների շփման մակերեսը: Ընդ որում, ոչ բևեռային հիդրոֆոբ պոչիկները թաղանթի ներսում են և առանձնացված են ջրի բևեռային մոլեկուլներից:

Լիպոսոմները անմիջական կիրառություն են գտել բժշկության մեջ, օրինակ, տարբեր դեղանյութերի համար օգտագործվում են որպես ֆոսֆոլիպիդային պատյան: Լիպոսոմները տոքսիկ չեն և կարող են ամբողջությամբ յուրացվել օրգանիզմի կողմից, բացի դրանից, նրանք պահպանում են իրենց միջի դեղանյութը ֆերմենտների ազդեցությունից: Օրինակ՝ դիաբետով հիվանդները, ինսուլինը լիպոսոմային պատյանով ընդունելով, կարող են խուսափել հաճախակի ներարկումներից: Ներկայումս աշխատանքներ են տարվում կանցերոզների, աթերոսկլերոզի, ինչպես նաև սրտաբանության մեջ լիպոսոմային թերապիայի միջոցով բուժում մշակելու ուղղությամբ:

Լիպոսոմները օգտագործվում են նաև սֆինգոլիպիդոզի բուժման նպատակով: Սֆինգոլիպիդների հիդրոլիզը իրականանում է հիդրոլազների մասնակցությամբ և դրանց անբավարարության դեպքում սֆինգոլիպիդների մասնակիորեն հիդրոլիզացված մոլեկուլները կուտակվում են լիզոսոմներում՝ նպաստելով վերջիններիս չափսերի մեծացմանը: Նման խախտումը գլխուղեղի բջիջներում անդրադառնում է դրանց ֆունկցիոնալ ակտիվության վրա և մանուկ հասակում հանգեցնում է ուղեղի թերզարգացմանը: Այդ հիդրոլազների ներմուծումը լիպոսոմների միջոցով արդյունավետ միջոց է հիվանդության հաղթահարման գործում:

Ջրային լուծույթը բաժանող հիդրոֆոբ (օրինակ՝ տեֆլոն) միջնապատի շատ փոքր (մինչև 1 մմ) տրամագծով անցքի վրա լիպիդի կաթիլ տեղադրելով՝ կարելի է ստանալ հարթ լիպիդային երկշերտ (նկար 10.2-3.): Հեղուկ ածխաջրածիններում, օրինակ՝ դեկանում, օկտանում, հեպտանում կամ քլորոֆորմ-մեթանոլային խառնուրդում լուծված լիպիդի կաթիլն առաջացնում է թաղանթ՝ մակերևութային լարվածության ու ջրային փուլերի ձգողության վանդերվալյան ուժերի հաշվին սեղմվելով լայնական ուղղությամբ մինչև երկշերտի կազմավորում: Այդպիսի գործընթացը տևում է 5-20 րոպե:

Հարթ լիպիդային երկշերտ թաղանթների օգնությամբ կարելի է ուսումնասիրել թաղանթի թափանցելիությունը, որոշել թաղանթային պոտենցիալը և մի շարք այլ հատկություններ, որոնք կախված են լիպիդների կազ-



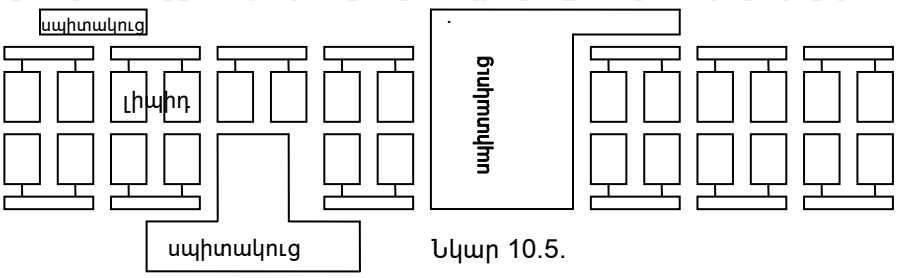
Նկ. 10.4. Ֆոսֆոլիպիդային երկշերտ կառույցների տարբեր կոնֆիգուրացիաները:

մից: Այդպիսի թաղանթները քիչ թափանցելի են իոնների ու բևեռացված մոլեկուլների մեծ մասի համար, սակայն թափանցելի են ջրի համար:

Լիպիդային կառույցներում, պոչերի դիրքից և վիճակից կախված, տարբերում են պինդ բյուրեղային ու հեղուկ թաղանթներ (նկար 10.4): Բյուրեղայինից հեղուկ փուլի անցումը դիտվում է ջերմաստիճանի բարձրացման ժամանակ հալման գործընթացի պես: Ցածր ջերմաստիճաններում պոչիկները ձգված են և ունեն խիտ դասավորություն ( $\beta$  կոնֆիգուրացիա): Բարձր ջերմաստիճաններում դրանք դասավորվում են ոչ խիտ, փխրուն ձևով, ունեն մեծ շարժունակություն ու գրավում են մեծ ծավալ ( $\alpha$  կոնֆիգուրացիա): Այս կոնֆիգուրացիայով է որոշվում թաղանթների հոսելիությունն ու թափանցելիությունը:

**Կենսաթաղանթների կառուցվածքը**

Կենսաթաղանթների կառուցվածքի ժամանակակից մոդելը տրվել է Մինգերի և Նիկոլսոնի կողմից 1972 թվականին (նկար 10.5): Համաձայն այդ մոդելի՝ բջջաթաղանթը առաջացնում է հեղուկ-բյուրեղային կառուցվածք, որը երկշերտ ֆոսֆոլիպիդային օժով է, որում լողում են սպիտակուցային օսառցաբլուրները: Թաղանթների սպիտակուցները կարող են գտնվել կա՛մ լիպիդային երկշերտի մակերևույթին՝ պահվելով էլեկտրաստատիկ ուժերով (պերիֆերիկ սպիտակուցներ), կա՛մ լիպիդային երկշերտի մեջ խորասուզված՝ պահվելով հիդրոֆոբ փոխազդեցությունների (սեփական կամ ինտեգրալ սպիտակուցներ) շնորհիվ:



Լիպիդային երկշերտը դիէլեկտրիկ է և օժտված է ինքնահավաքման ունակությամբ, կիսաթափանցիկ հատկությամբ: Լիպիդային երկշերտի համար հավանական է հեղուկ, իսկ ավելի ստույգ՝ հեղուկ-բյուրեղային կարգավիճակ:

Որոշ դեպքերում, օրինակ, ֆոսֆոլիպազ ֆերմենտի ազդեցությամբ լիպիդի գլխիկի տրամագիծը գերազանցում է հիդրոֆոբ պոչիկի տրամագծին և մոլեկուլը դառնում է կոնաձև: Այսպիսի դեֆեկտավոր լիպիդները կազմում են ոչ թե երկշերտ, այլ սֆերիկ միցելներ: Հայտնվելով թաղանթի

կառուցվածքում՝ այդպիսի լիպիդները առաջացնում են ծակոտի (3.5-8A<sup>0</sup>), որի ներքին մասը հիդրոֆիլ է: Այդպիսի ծակոտիով անցնում են ջուրը և իոնները: Արդյունքում թաղանթը կորցնում է իր արգելակող հատկությունները: Այսպիսով, լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացումը և ֆոսֆոլիպազների ազդեցությունը հանգեցնում են մի շարք հիվանդությունների:

Կենսաթաղանթների կենսագործունեության ռեժիմը կախված է լիպիդային երկշերտի մածուցիկության, ֆոսֆոլիպիդային մոլեկուլների շարժունակության և դրանց փուլային վիճակից: Այդ պարամետրերի նորմայից շեղումները հանգեցնում են տարբեր պաթոլոգիաների:

Ապացուցված է, որ կենսաթաղանթի լիպիդային փուլի մածուցիկության փոփոխությունը կտրուկ ազդեցություն է թողնում նրանցում լողացող սպիտակուցային ֆերմենտների կենսագործունեության վրա: Օրինակ՝ կանցերոգենեզը կապված է լիպիդային փուլի մածուցիկության նվազման հետ, իսկ օրգանիզմի ծերացումը հանգեցնում է մածուցիկության աճի:

Համաձայն Մինգերի և Նիկոլսոնի տեսության՝ լիպիդային երկշերտում լիպիդներն ու սպիտակուցներն օժտված են մեծ շարժունակությամբ: Ընդ որում, այն հիմնականում իրագործվում է լատերալ (կողմնային) դիֆուզիայի շնորհիվ, երբ լիպիդներն ու սպիտակուցները ջերմային քառասային տեղաշարժեր են կատարում թաղանթի հարթության մեջ, որոնց ընթացքում հարևան լիպիդային մոլեկուլները թռիչքաձև տեղափոխություններ են կատարում միմյանց հետ  $V = 6 \cdot 10^6$  վ<sup>-1</sup> հաճախությամբ: Ավելի դանդաղ կատարվում է ֆոսֆոլիպիդների դիֆուզիան կենսաթաղանթի լայնքով (դժվարացված դիֆուզիա), երբ տեղերով փոխվում են հակադիր շերտերում գտնվող մոլեկուլները (ֆլիպ-ֆլոպ): Այդպիսի թռիչքաձև անցման միջին ժամանակը ( $\approx 1$  ժամ)  $10^{10}$  անգամ մեծ է թաղանթային հարթության մեջ կատարվող մոլեկուլային տեղափոխությունների միջին ժամանակից:

Դժվարացված դիֆուզիան ապահովում է թաղանթի մոլեկուլային կազմի կայունությունն ու կարգավորվածությունը, լիպիդային և սպիտակուցային մոլեկուլների ասիմետրիկ դասավորվածությունը, անիզոտրոպությունը, սպիտակուցային ֆերմենտների որոշակի կողմնորոշումը թաղանթի երկայնքով: Տարբեր ֆիզիկական մեթոդներով ստացված փորձնական արդյունքները ցույց են տալիս, որ բջջաթաղանթի երկայնքով փոփոխվում է լիպիդային և սպիտակուցային կազմը:

Բջջաթաղանթներն օժտված են 3 հիմնական ֆունկցիաներով, որոնք պայմանավորված են դրանց կառուցվածքով.

1. Պատնեշային ֆունկցիա, որն ապահովում է շրջակա միջավայրի հետ կարգավորված, ընտրողական, ակտիվ և պասիվ նյութափոխանակությունը:

2. Մատրիցային ֆունկցիա, որն ապահովում է բջջաթաղանթային սպիտակուցների որոշակի փոխդասավորությունը և կողմնորոշումը՝ ապահովելով նրանց օպտիմալ փոխազդեցությունը:

3. Մեխանիկական ֆունկցիա, որն ապահովում է բջիջների և ներբջջային համակարգերի ինքնուրույնությունն ու մեխանիկական ամրությունը:

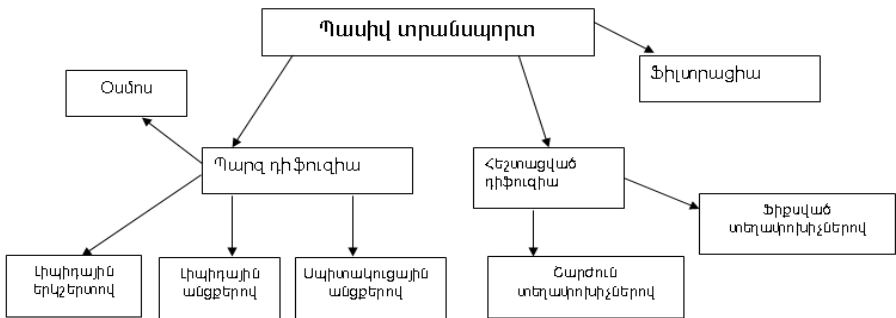
Կենսաթաղանթներն ունեն նաև այլ ֆունկցիաներ՝ էներգետիկական, ռեցեպտորային և այլն:

Բջջաթաղանթներում ընթանում են կարևոր կենսական պրոցեսներ, որոնց խաթարումը հանգեցնում է բազմաթիվ հիվանդությունների, հետևաբար բազմաթիվ են դեպքերը, երբ բուժումն իրականանում է՝ բջջաթաղանթի կենսագործունեության վրա ազդելով:

**11. ԱՅՈՒԹԵՐԻ ՏԵՂԱՓՈԽՄԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԸ ԲԶԶԱԹԱՂԱՆԹՈՎ (Յու.Բաբայան)**

Որպես բաց թերմոդինամիկական համակարգ՝ բջջաթաղանթի թափանցելիության շնորհիվ բջիջն անընդհատ նյութափոխանակություն է կատարում շրջապատող միջավայրի հետ, այսինքն բջջաթաղանթով տեղի է ունենում զանգվածի, իմպուլսի, էներգիայի, լիցքի տեղափոխություն: Կենդանի բջիջների նորմալ կենսագործունեության համար անհրաժեշտ են մի շարք մոլեկուլների և իոնների անհավասարաչափ բաշխում բջջաթաղանթի երկու կողմերում: Նյութերի համար ընտրողական (սելեկտիվ) թափանցելիության ապահովումը միջբջջային հեղուկից դեպի ցիտոպլազմա և բջջից դեպի միջբջջային հեղուկ ուղղություններով կատարվում է 2 հիմնական մեխանիզմներով՝ պասիվ և ակտիվ տեղափոխություններով, որոնք իրարից տարբերվում են տեղափոխության համար ծախսված էներգիայի աղբյուրներով:

**Բջջաթաղանթով նյութի պասիվ տեղափոխության եղանակները**



Նկար 11.1.

### Նյութի պասիվ տեղափոխություն

Նյութի թաղանթներով՝ պասիվ տեղափոխության հիմնական եղանակները սխեմատիկորեն պատկերված են նկար 11.1.-ում:

#### Պարզ դիֆուզիա

Դիֆուզիա է կոչվում մոլեկուլների ջերմային քառսային շարժման հետևանքով նյութի ինքնակամ տեղափոխությունը նրա ավելի մեծ կոնցենտրացիայով տիրույթից դեպի ավելի փոքր կոնցենտրացիաների տիրույթ:

Լիպիդային երկշերտով նյութի դիֆուզիան կամ պարզ դիֆուզիան ի հայտ է գալիս թաղանթում կոնցենտրացիայի գրադիենտի հետևանքով: Համաձայն Ֆիկի օրենքի՝ նյութի հոսքը կարելի է գրել հետևյալ բանաձևով.

$$I_N = -D \left( \frac{dC}{dx} \right)_{p,T} \approx -D \frac{C_{m2} - C_{m1}}{l}, \quad I_N = D \frac{C_{m1} - C_{m2}}{l}, \quad (11.1.)$$

որտեղ  $C_{m1}$ -ը և  $C_{m2}$ -ը նյութի կոնցենտրացիաններն են թաղանթի ներքին մակերևույթի երկու կողմերում,  $l$ -ը թաղանթի հաստությունն է (նկար 11.2.):

$C_{m1}$ -ը,  $C_{m2}$ -ն անհնար է չափել, ուստի դրանք կարելի է փոխարինել թաղանթի արտաքին կողմից՝ լուծիչում, և ներքին մասում նյութի կոնցենտրացիաներով՝  $C_1$  և  $C_2$ : Եթե համարենք, որ  $C_{m1}$  - ը ուղիղ համեմատական է  $C_1$  - ին, իսկ  $C_{m2}$  - ը՝  $C_2$  - ին, ապա կարող ենք գրել.

$$C_{m1} = KC_1, \quad (11.2.)$$

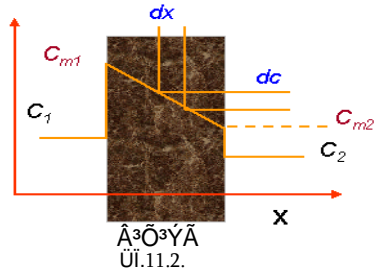
$$C_{m2} = KC_2, \quad (11.3.)$$

որտեղ  $K$  -ն բաշխման գործակիցն է, որը ցույց է տալիս թաղանթից դուրս և ներս գտնվող նյութի կոնցենտրացիաների հարաբերությունը: 11.2 և 11.3-ը տեղադրելով 11.1-ի մեջ՝ կստացվի.

$$I_N = \frac{DK}{l}(C_1 - C_2), \quad (11.4.)$$

որը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$I_N = P(C_1 - C_2), \quad (11.5.)$$



որտեղ 
$$P = \frac{DK}{l}, \quad (11.6)$$

և կոչվում է թափանցելիության գործակից:

Քանի որ  $I_N$ -ի չափողականությունն մոլ/մ<sup>2</sup>-վ է,  $C$  – ինը՝ մոլ/մ<sup>3</sup>, ուստի  $P$ -ինը կլինի՝ մ/վ: Թաղանթի թափանցելիության գործակիցը կամ թափանցելիությունը կախված է թաղանթից տեղափոխվող նյութերի հատկություններից:

**Թաղանթով պարզ դիֆուզիայի հնարավոր մեխանիզմները**

Բջջի կենսագործունեության համար անհրաժեշտ իոնների և մոլեկուլների տեղափոխությունը ընթանում է հետևյալ եղանակներով (նկար 11.3.).

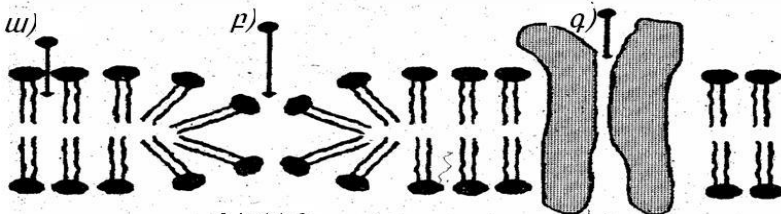
1. *Լիպիդային երկշերտով.* բջջաթաղանթի լիպիդային երկշերտը թափանցելի է գազերի փոքր մոլեկուլների (թթվածին, ածխաթթու գազ) և ընդհանրապես այն նյութերի համար, որոնք լավ լուծվում են ֆոսֆոլիպիդային երկշերտում (ճարպաթթուներ, եթերայուղեր): Այս եղանակով հնարավոր է միայն ոչ բևեռային մոլեկուլների անցումը (ա):

2. *Լիպիդային անցքերով.* այս եղանակով կարող են թափանցել փոքր, բևեռային մոլեկուլներով նյութերը (օրինակ՝ ջուրը) (բ):

3. *Սպիտակուցային անցքերով.* այս եղանակով անցնում են լիպիդներում չլուծվող նյութերի մոլեկուլներ (գ): Սպիտակուցային անցքերի տրամագիծը  $6 \div 10 \text{ \AA}$  է: Այդ անցքերով պասիվ տեղափոխության համար թաղանթի թափանցելիությունը տրվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$P = \frac{\pi r^2 n D}{l}, \quad (11.7)$$

որտեղ  $n$ -ը թաղանթի միավոր մակերեսի վրա անցքերի թիվն է,  $l$ -ը՝ անցքի երկարությունը (թաղանթի հաստությունը),  $r$ -ը՝ անցքի շառավիղը, իսկ  $D$ -ն՝ թափանցող մասնիկների դիֆուզիայի գործակիցը ջրում:



Նկ.11.3.

4. *Օսմոս:* Օսմոսը լուծիչի մոլեկուլների անցման երևույթն է կիսաթափանց (թափանցելի լուծիչի համար և անթափանց լուծված նյութի համար) թաղանթով ավելի փոքր կոնցենտրացիայով լուծույթից ավելի



մեծ կոնցենտրացիայով լուծույթ: Օսմոսը կարևոր դեր է կատարում բազմաթիվ կենսաբանական երևույթներում: Եթե մի ծայրից կիսաթափանց թաղանթով փակված ապակե խողովակը լցնենք շաքարի լուծույթով և իջեցնենք ջրով անոթի մեջ, ապա ջուրը անոթից կթափանցի խողովակի մեջ և լուծույթի մակարդակը խողովակում կբարձրանա անոթում եղած ջրի մակարդակից: Առաջանում է օսմոտիկ ճնշում, որը հավասար է ջրի և լուծույթի հիդրոստատիկ ճնշումների տարբերությանը: Համաձայն Վանթ-Չոֆի՝ օսմոտիկ ճնշումը հավասար է լուծված նյութի պարզիալ ճնշմանը.

$$P = iCRT, \quad (11.8.)$$

որտեղ  $i$ -ն կոչվում է իզոտոնիկ գործակից, որը էլեկտրոլիտների համար մեծ է մեկից, ոչ էլեկտրոլիտների համար՝ հավասար է 1-ի: Իզոտոնիկ գործակիցը ցույց է տալիս էլեկտրոլիտի դիսոցման աստիճանը:

### **Հեշտացված դիֆուզիա**

Կենսաթաղանթներում գոյություն ունի դիֆուզիայի ևս մեկ տեսակ՝ հեշտացված դիֆուզիա: Այն ընթանում է տեղափոխիչ մոլեկուլների մասնակցությամբ, ընդ որում, այդ տեղափոխիչները խիստ մասնագիտացված են: Օրինակ՝ գլյուկոզայի տեղափոխությունը ապահովող տեղափոխիչը ոչ մի ազդեցություն չի գործում ամինաթթուների տեղափոխության վրա: Վալինումիցինի մոլեկուլը միայն կալիումի իոնների տեղափոխիչն է: Որոշ դեպքերում հեշտացված դիֆուզիան ընթանում է ֆիքսված տեղափոխիչների օգնությամբ: Տեղափոխիչները որոշակի ձևով շարված են բջջաթաղանթի հատույթի երկայնքով և տեղափոխվող նյութի մոլեկուլները փոխանցվում են մի տեղափոխիչի մոլեկուլից մյուսին՝ էստաֆետային եղանակով: Նշենք հեշտացված դիֆուզիայի և պարզ դիֆուզիայի հիմնական տարբերությունները.

1. Տեղափոխիչի օգնությամբ դիֆուզիան շատ ավելի արագ է ընթանում:

2. Հեշտացված դիֆուզիան օժտված է հագեցման հատկությամբ. բջջաթաղանթի մի կողմում տեղափոխվող նյութի կոնցենտրացիայի աճի դեպքում տեղափոխման հոսքը աճում է մինչև մի որոշակի սահման, երբ տեղափոխիչ բոլոր մոլեկուլները զբաղված են:

3. Եթե տեղափոխիչը տեղափոխում է տարբեր նյութեր, ապա մրցակցություն է առաջանում այդ նյութերի միջև: Եթե նյութերից մեկը ավելի լավ է տեղափոխվում, ապա դա հանգեցնում է մյուս նյութի տեղափոխման զգալի նվազման:

4. Կան նյութեր, որոնք արգելակում են հեշտացված դիֆուզիան: Դրանք կայուն միացություններ են կազմում տեղափոխիչ մոլեկուլների հետ և դրանց անջատում տեղափոխման պրոցեսից:

**Ֆիլտրացիա (գտում):** Ֆիլտրացիա է կոչվում լուծույթի շարժումը թանաքային ծակոտիներով, հիդրոստատիկ ճնշման գրադիենտի ազդեցությամբ: Լուծույթի անցման ծավալային արագությունը կարելի է որոշել Պուազեյի բանաձևի միջոցով՝

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta l} (p_1 - p_2), \quad (11.9.)$$

որտեղ  $R$ -ը ծակոտու շառավիղն է,  $l$ -ը նրա երկարությունը,  $\eta$ -ն լուծույթի մածուցիկությունը,  $p_1$ -ը և  $p_2$ -ը ճնշումներն են ծակոտու ծայրերում: Ֆիլտրացիայի երևույթը կարևոր դեր է կատարում արյունատար անոթների պատերով ջրի մոլեկուլների անցման պրոցեսներում:

Առաջնային մեզի առաջացումը պլազմայի գտման արդյունքում երիկամային նեֆրոններում կատարվում է արյան ճնշման ազդեցությամբ.

**Էլեկտրադիֆուզիա. Ներնստ-Պլանկի հավասարում**

Ինչպես հայտնի է, կենսաթաղանթների շուրջը՝ արտաբջջային հեղուկում և պրոտոպլազմայում, առկա է բջջի կենսագործունեության համար խիստ անհրաժեշտ իոնների որոշակի քանակ ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{++}$  և այլն): Ընդհանուր դեպքում կենսաթաղանթները օժտված են նաև էլեկտրական հատկություններով, և դրանք կարելի է դիտարկել որպես կենդանի կոնդեսատորների համախումբ: Թաղանթի շուրջն էլեկտրական դաշտի լարվածությունը կազմում է  $E \approx 10^6$  Վ/մ: Թաղանթի միավոր մակերեսի էլեկտրաունակությունը  $0,5 \cdot 10^{-2}$  Ֆ է:

Դիտարկենք իոնի վարքը համասեռ էլեկտրական դաշտում:

Շարժվող իոնի վրա ազդում են  $F_{\text{էլ.}} = qE$  և դիմադրության՝  $F_{\text{դ.}} = rV$  ուժերը, որտեղ  $r$ -ը կոչվում է միջավայրի դիմադրության գործակից: Այն պահից, երբ նշված ուժերը էլեկտրական դաշտում համակշռվում են, իոնը սկսում է շարժվել հավասարաչափ: Հետևաբար՝

$$rV = qE,$$

որտեղից

$$V = \frac{q}{r} E:$$

Նշանակելով  $\frac{q}{r} = b$ , կստացվի

$$V = bE, \quad (11.10.)$$

որտեղ  $b$ -ն կոչվում է իոնի շարժունակություն: (11.10.) բանաձևից հետևում է, որ  $b$  շարժունակությունը միավոր լարվածությամբ էլեկտրական դաշտում թվապես հավասար է իոնի արագությանը:

Իոնների հոսքը կորոշվի՝

$$I_{\text{է.}} = CV = CbE: \quad (11.11.)$$

Էլեկտրականության բաժնից հայտնի է, որ Էլեկտրական դաշտի  $E$  արվածությունը որոշվում է դաշտի պոտենցիալի գրադիենտի միջոցով.

$$E = -\frac{d\varphi}{dx},$$

հետևաբար (11.11.) արտահայտությունը կգրվի հետևյալ կերպ.

$$I_{\text{է.}} = -Cb \frac{d\varphi}{dx} \quad (11.12.)$$

Էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ իոնների պասիվ տեղափոխությունը թաղանթով անվանում են էլեկտրադիֆուզիա: (11.12.) հավասարումը էլեկտրադիֆուզիայի հիմնական հավասարումն է:

Իոնների քանակը, որը դիֆուզվում է միավոր ժամանակում տեղափոխմանը ուղղահայաց միավոր մակերեսով ուղիղ համեմատական է իոնների կոնցենտրացիային, դրանց շարժունակությանը և պոտենցիալի գրադիենտին: (-) նշանը ցույց է տալիս էլեկտրադիֆուզիայի պրոցեսի ուղղությունը. էլեկտրադիֆուզիան ընթանում է պոտենցիալի գրադիենտի նվազման ուղղությամբ:

Իոնների  $b$  շարժունակության և դրանց  $D$  դիֆուզիայի գործակցի միջև կապը տրվում է Էյնշտեյնի բանաձևով՝

$$b = \frac{Fz}{RT} D, \quad F = 96500 \frac{\text{ԿԼ}}{\text{մոլ}},$$

որտեղ  $z$  -ը իոնի վալենտականությունն է,  $F$  -ը՝ Ֆարադեյի թիվն է,  $R$  -ը՝ գազային ունիվերսալ հաստատունը,  $T$  -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը:

Եթե միջավայրում առկա է և՛ կոնցենտրացիայի գրադիենտ, և՛ էլեկտրական դաշտի պոտենցիալի գրադիենտ, ապա հոսքը կորոշվի.

$$I = I_N + I_{\text{է.}} = -D \frac{dC}{dx} - Cb \frac{d\varphi}{dx} = -D \frac{dC}{dx} - CD \frac{Fz}{RT} \frac{d\varphi}{dx}:$$

Այս հավասարումը կոչվում է Ներնստ-Պլանկի էլեկտրադիֆուզիայի հավասարում կամ համատեղ դիֆուզիայի հավասարում:

Ձևափոխենք այդ հավասարումը.

$$I = -\frac{CD}{RT} \left( \frac{RT}{C} \frac{dC}{dx} + Fz \frac{d\varphi}{dx} \right) = -\frac{CD}{RT} \frac{d}{dx} (RT \ln C + Fz\varphi)$$

$$I = -\frac{CD}{RT} \frac{d\mu}{dx} : \quad (11.13.)$$

$\mu$ -ն համակարգերի վիճակը բնութագրող կարևորագույն պարամետրերից է և կոչվում է էլեկտրաքիմիական պոտենցիալ՝  $\mu = RT \ln C + Fz\varphi + \mu_0$ , որտեղ  $\mu_0$ -ն համակարգի քիմիական պոտենցիալն է:

Ստացված (11.13.) հավասարումը կոչվում է Թեոբելլի հավասարում:

Թեոբելլի հավասարումը ցույց է տալիս, որ իոնների պասիվ տեղափոխության շարժիչ ուժը համակարգի էլեկտրաքիմիական պոտենցիալի գրադիենտն է:

Էլեկտրաքիմիական պոտենցիալը թվապես հավասար է նյութի մեկ մոլին բաժին ընկնող Գիբսի էներգիային: Մաթեմատիկորեն էլեկտրաքիմիական պոտենցիալը հավասար է՝

$$\mu = \left( \frac{\partial G}{\partial C} \right)_{P,T} :$$

## 12. ԱԿՏԻՎ ՏԵՂԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆ

(Գ. Փոթիկյան, Ն. Գևորգյան)

Ակտիվ տեղափոխությունը նյութի անցումն է էլեկտրաքիմիական պոտենցիալի ցածր արժեքների տեղամասից դեպի նրա ավելի բարձր արժեքների տեղամաս, որը պահանջում է էներգիայի ծախս (ԱԵՖ-ի հիդրոլիզ): Ակտիվ տեղափոխությունն ապահովում է իոնների կոնցենտրացիաների որոշակի բաշխվածությունը բջջաթաղանթի երկու կողմերում, որն անհրաժեշտ է բջիջների նորմալ կենսագործունեության համար: Այն օրգանիզմը պահում է թերմոդինամիկական անհավասարակշիռ վիճակում, քանի որ թերմոդինամիկական հավասարակշռությունը կործանում է օրգանիզմը: Ակտիվ տեղափոխության երևույթը բջջաթաղանթով փորձնականորեն առաջին անգամ ապացուցել է Ուսսինգը 1949 թ-ին նատրիումի իոնների անցման օրինակով:

Ուսսինգի փորձը հետևյալն է.

Խցիկում լցված լուծույթը գորտի մաշկով բաժանվում է երկու մասի, դիտվում է գորտի մաշկի միջով նատրիումի իոնների հոսք՝ արտաքին մակերևույթից դեպի ներքին և ներքին մակերևույթից դեպի արտաքին:

Այդ հոսքերի հարաբերության համար ճիշտ է փորձնականորեն ստացված Ուսսինգ-Թեոբելլի հավասարումը.

$$\frac{I_{\text{ներք.}}}{I_{\text{արտ.}}} = \frac{C_{\text{արտ.}}}{C_{\text{ներք.}}} \cdot e^{\frac{\Delta\varphi zF}{RT}} : \quad (12.1.)$$

Գորտի մաշկի վրա արտաքին և ներքին պատերի միջև առաջանում է պոտենցիալների տարբերություն ( $\Delta\varphi = \varphi_{\text{ներք.}} - \varphi_{\text{արտ.}}$ ), որը կոմպենսացվում է արտաքին լարման միջոցով:

Մաշկաթաղանթի երկու կողմում փորձարարների կողմից պահպանվում է  $\text{Na}^+$  իոնների միևնույն կոնցենտրացիան: Եթե իոնների անցումը թաղանթով պայմանավորված լիներ միայն պասիվ տեղափոխությամբ, ապա աջից ձախ և ձախից աջ հոսքը պետք է լիներ միևնույնը, այսինքն՝ գումարային հոսքը թաղանթով պետք է հավասար լիներ 0-ի: Մակայն էլեկտրոդներով թաղանթին միացած ամպերմետրը ցույց էր տալիս որոշակի հոսանք, հետևաբար տեղի է ունենում ակտիվ տեղափոխություն, որը անհրաժեշտ է կենսական պրոցեսները ապահովելու համար: Այդ փորձնական փաստը անհերքելիորեն ցույց է տալիս, որ  $\text{Na}^+$  իոնների անցումը գորտի մաշկաթաղանթով չի ենթարկվում պասիվ տեղափոխության օրենքներին: Հետևաբար տեղի ունի ակտիվ անցում:

**Իոնային պոմպեր, դրանց տեսակները: Համալույծ պրոցեսներն իոնային պոմպերում**

Իոնների կամ մոլեկուլների ակտիվ տեղափոխությունը չի կարող ընթանալ ինքնաբերաբար. այն կախված է որոշակի էներգիայի ծախսի հետ: Ներկայումս հայտնի է, որ այդ պրոցեսների համար ծախսվում է ԱԵՖ-ի (ադենոզին եռաֆոսֆորային թթու) հիդրոլիզի հետևանքով անջատված էներգիան: Բջջաթաղանթներում գտնվող սպիտակուցային մակրոմոլեկուլների մի մասը կատարում է ինքնատիպ պոմպի դեր: Այդ մակրոմոլեկուլն ունի երկու ակտիվ կենտրոն, որոնցից մեկը գրավում է երեք  $\text{Na}^+$  իոններ, իսկ մյուսը՝ երկու  $\text{K}^+$  իոններ, ապա ԱԵՖ-ի մեկ մոլեկուլի տրոհման էներգիայի շնորհիվ պտտվում է  $180^\circ$ -ով, և նատրիումի իոնները հայտնվում են բջջաթաղանթից դուրս, իսկ  $\text{K}^+$  իոնները հայտնվում են բջիջի ներսում: Դրանից հետո սպիտակուցային մոլեկուլը վերադառնում է սկզբնական դիրքի և ամեն ինչ նորից կրկնվում է: Այդ սպիտակուցային մոլեկուլը հայտնագործվել է 1957 թ. և կոչվում է նատրիում-կալիումային պոմպ:

Քանի որ  $\text{Na}^+$ -  $\text{K}^+$  պոմպը աշխատանքի յուրաքանչյուր ցիկլում *դուրս է մղում 3  $\text{Na}^+$  իոն և ներքաշում 2  $\text{K}^+$* , ապա այն ոչ միայն փոխում է այդ իոնների կոնցենտրացիան, այլև թաղանթային պոտենցիալը (գերբևեռացնում է բջջաթաղանթը): Այդ պատճառով  $\text{Na}^+$ -  $\text{K}^+$  պոմպը կոչվում է էլեկտրազե: Եթե դադարեցվի բջջին թթվածնի մատակարարումը, ապա որոշ ժամանակ հետո էներգիայի սպառման հետևանքով կդադարի նաև

նշված պոմպի աշխատանքը և աստիճանաբար կնվազի թաղանթային պոտենցիալը:

Ներկայումս հայտնի են ևս երկու տեսակի իոնային պոմպեր.  $Ca^{2+}$  կալցիումային և  $H^+$  պրոտոնային պոմպեր: Քանի որ  $Ca^{2+}$  իոնի բարձր կոնցենտրացիաները ( $n > 10^{-7}$  մոլ/լ) կործանարար են բջջի համար, ուստի հատուկ կալցիումային պոմպի օգնությամբ բջջից դուրս են մղվում ավելցուկային իոնները: Ընդ որում, այդ պոմպը էլեկտրաչեզոք է: Այն փոխարինում է կալցիումի իոնը երկու պրոտոններով: Կալցիումի երկու իոնի տեղափոխման վրա ծախսվում է ԱԵՖ-ի մեկ մոլեկուլի հիդրոլիզի ժամանակ անջատված էներգիան:

Պրոտոնային պոմպերը բջիջներից դուրս են քաշում  $H^+$  իոնները, որոնց հետևում են քլորի բացասական լիցքավորված իոնները, և դրանց շնորհիվ ստամոքսում ձևավորվում է աղաթթու:

Պրոտոնային պոմպեր հայտնաբերված են բակտերիաների, սնկային, բուսական և որոշ կենդանական բջիջների պլազմային թաղանթներում, ինչպես նաև միտոքոնդրիումների ու քլորոպլաստների ներքին, Գոլջիի ապարատի, էնդոպլազմային ցանցի, լիզոսոմների, որոշ վակուոլների թաղանթներում:

Այսպիսով, ակտիվ տեղափոխությունը կենսաթաղանթներով իրագործվում է իոնային պոմպեր կոչվող հատուկ ինտեգրալային սպիտակուցների միջոցով, որոնք անվանվում են նաև տրանսպորտային ԱԵՖ-ազաներ: Իոնների տեղափոխությունը տրանսպորտային ԱԵՖ-ազաներով կատարվում է տեղափոխման երևույթների և քիմիական էներգիայի հաշվին: Իոնային պոմպերը օրգանիզմում կատարում են ամենատարբեր ֆունկցիաներ՝ բջիջների սնուցում, օրգանիզմի ներքին միջավայրի աղային կազմի պահպանում, օսմոտիկ պրոցեսների կարգավորում և այլն:

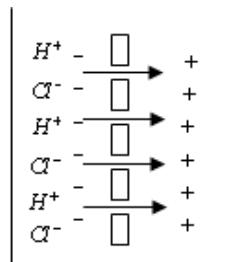
### 13. ԿԵՆՍԱԹԱԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼՆԵՐ

(Գ. Փոթիկյան)

Կենսաթաղանթների կարևորագույն հատկություններից է կենսապոտենցիալների գեներացիան և տարածումը:

Օրգանների և հյուսվածքների (կենսապոտենցիալներով առաջացած) էլեկտրական դաշտերի հետազոտության վրա են հիմնված բժշկության մեջ կիրառվող տարբեր դիագնոստիկ մեթոդներ (էլեկտրասրտագրություն, էլեկտրաուղեղագրություն և այլն):

#### Իիֆուզիոն պոտենցիալներ



Իոնների տարբեր շարժունակության շնորհիվ երկու հեղուկ միջավայրերի սահմանի վրա ծագած պոտենցիալները կոչվում են դիֆուզիոն պոտենցիալներ: Ենթադրենք աղաթթվով լցված անոթը ծակոտկեն միջնապատով բաժանված է երկու մասի: Ընդ որում, լուծույթի կոնցենտրացիան ձախ մասում ավելի բարձր է, քան աջ մասում (նկար 13.1.): Այդ դեպքում քլորի և ջրածնի իոնները կդիֆուզվեն անոթի ձախ մասից դեպի աջ՝ կոնցենտրացիայի գրադիենտի ուղղությամբ: Քանի *ՆորՅԻ*: իոնների շարժունակությունը՝  $b_+$ , մոտ 5 անգամ մեծ է  $Cl^-$  իոնների՝  $b_-$  շարժունակությունից, ուստի վերջիններիս դիֆուզիան ավելի դանդաղ կընթանա: Որոշ ժամանակ անց աջ մասը կլիցքավորվի դրական լիցքով, իսկ ձախ մասը՝ բացասական լիցքով: Առաջացած էլեկտրական դաշտը կարգելակի  $H^+$  իոններին, կարագացնի դանդաղ  $Cl^-$  իոններին: Այդ պրոցեսը կշարունակվի այնքան, մինչև որ իոնների դիֆուզիոն հոսքերը կհավասարվեն:  $I_+ = I_-$  կստացվի դինամիկ հավասարակշռություն.

$$-D_- \frac{dC}{dx} + Cb_- \frac{d\varphi}{dx} = -D_+ \frac{dC}{dx} - Cb_+ \frac{d\varphi}{dx}$$

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{D_- - D_+}{b_- + b_+} \cdot \frac{1}{C} \frac{dC}{dx} = \frac{RT}{Fz} \frac{(b_- - b_+)}{(b_- + b_+)} \cdot \frac{1}{C} \frac{dC}{dx} :$$

Ինտեգրելով դիֆուզիոն պոտենցիալների տարբերության համար կստանանք.

$$\Delta\varphi_{դիֆ.} = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{RT}{Fz} \frac{(b_- - b_+)}{(b_- + b_+)} \cdot \ln \frac{C_2}{C_1} : \quad (13.1.)$$

### **Թաղանթային պոտենցիալներ**

Դիֆուզիոն պոտենցիալների տարբերության մասնավոր դեպքը թաղանթային պոտենցիալն է: Թաղանթային պոտենցիալ կոչվում է թաղանթի ներքին և արտաքին մակերևույթների պոտենցիալների տարբերությունը.

$$V_p = \varphi_{ներք.} - \varphi_{արտ.} : \quad (13.2.)$$

Թաղանթային պոտենցիալների ուսումնասիրությանը նպաստեցին հետևյալ գործոնները.

1. Ներթաղանթային պոտենցիալների չափման միկրոէլեկտրոդային տեխնիկայի հայտնագործումը:

2. Կենսապոտենցիալների ուժեղացուցիչների ստեղծումը:

3. Ընտրվեց հետազոտության համար հաջող օբյեկտ՝ կալմարի հսկա աքսոնը, որի տրամագիծը հասնում է 0,5 միլիմետրի (մոտ հազար անգամ մեծ է ողնաշարավոր կենդանիների աքսոնի տրամագծից):

Բջջի թաղանթային պոտենցիալները կարելի է չափել ապակյա միկրոէլեկտրոդների միջոցով, որոնցից մեկն անմիջապես տեղակայում են բջջի ցիտոպլազմայի մեջ, իսկ մյուսը՝ արտաբջջային հեղուկում: Էլեկտրոդների բևեռացումից խուսափելու համար դրանք ծածկում են  $AgCl$  աղով: Այդ դեպքում գրանցող սարքի միջոցով, որի մեջ մտնում է նաև հաստատուն հոսանքի ուժեղացուցիչը, չափվում է թաղանթային պոտենցիալը:

**Հանգստի պոտենցիալ**

Հանգստի պոտենցիալը չգրգռված բջջաթաղանթի ներքին և արտաքին մակերևութների միջև էլեկտրական պոտենցիալների ստացիոնար տարբերությունն է:

Փամանակակից պատկերացումների համաձայն՝ հանգստի պոտենցիալի առաջացման պատճառը ցիտոպլազմայում և արտաբջջային հեղուկում կալիումի և նատրիումի իոնների անհավասարաչափ բաշխվածությունն է և այդ իոնների ոչ միատեսակ թափանցելիությունը թաղանթով: Եթե որևէ իոնի կոնցենտրացիան բջջի ներսում  $C_{\text{ներք.}}$  տարբերվում է նրա արտաքին կոնցենտրացիայից  $C_{\text{արտ.}}$ , և բջջաթաղանթը թափանցելի է այդ իոնի համար, ապա առաջանում է նրանց միակողմանի հոսք: Ծագում է պոտենցիալների տարբերություն բջջի ներսի և դրսի միջև՝  $\varphi = \varphi_{\text{ներք.}} - \varphi_{\text{արտ.}}$ , որը խոչընդոտում է թաղանթով իոնների հետագա տեղաշարժին: Թաղանթային պոտենցիալի աճը շարունակվում է այնքան, մինչև թաղանթի 2 կողմերի միջև կհաստատվի հավասարակշիռ վիճակ, այսինքն՝ կհավասարվեն նրանց էլեկտրաքիմիական պոտենցիալները՝  $\mu_{\text{ներք.}} = \mu_{\text{արտ.}}$ : Այսպիսով,

$$\begin{aligned} \mu_0 + RT \ln C_{\text{ներք.}} + Fz\varphi_{\text{ներք.}} &= \mu_0 + RT \ln C_{\text{արտ.}} + Fz\varphi_{\text{արտ.}} \\ Fz(\varphi_{\text{ներք.}} - \varphi_{\text{արտ.}}) &= RT(\ln C_{\text{արտ.}} - \ln C_{\text{ներք.}}) \\ \varphi_{\text{ներք.}} - \varphi_{\text{արտ.}} &= -\frac{RT}{Fz} \ln \frac{C_{\text{ներք.}}}{C_{\text{արտ.}}}, \end{aligned} \tag{13.3.}$$

որը Ներնստի բանաձևն է:

Հանգստի պոտենցիալը հիմնականում պայմանավորված է  $K^+$  իոնների անցումով (հանգստի վիճակում բջջաթաղանթը թափանցելի է միայն այդ իոնների համար, որոնց կոնցենտրացիան բջջաթաղանթի ներսում 30-50 անգամ մեծ է արտաբջջային հեղուկում նրանց կոնցենտրացիայից):



$$V_{\text{հաճգ.}} = -\frac{RT}{F} \ln \left[ \frac{[K^+]_{\text{ներք.}}}{[K^+]_{\text{արտ.}}} \right] : \quad (13.4.)$$

Պարզվում է, որ 60-90 մՎ պոտենցիալի առաջացման համար անհրաժեշտ է իոնների հավելյալ կոնցենտրացիայի միայն չնչին փոփոխություն: Վերջին բանաձևով որոշվող հանգստի պոտենցիալը բավականին լավ համապատասխանության մեջ է փորձնական եղանակով որոշվող  $V_{\text{հաճգ.}}$  արժեքների հետ: Սակայն ավելի նուրբ չափումների արդյունքում հայտնաբերեցին զգալի տարբերություններ փորձնական և Ներնստի բանաձևով ստացվող արդյունքների միջև: Պատճառն այն էր, որ հանգստի վիճակում թաղանթը ոչ մեծ չափով թափանցելի է նաև այլ իոնների համար: Ելնելով դրանից՝ Գոլդմանն առաջարկեց հանգստի պոտենցիալի առաջացման, այսպես կոչված, ստացիոնար մոդելը, համաձայն որի՝ ստացիոնար պայմաններում թաղանթային պոտենցիալի արժեքը որոշվում է բջջաթաղանթով՝ բոլոր տիպի իոնների գումարային հոսքի բացակայության պայմանից՝  $I_{K^+} + I_{Na^+} - I_{Cl^-} = 0$ :  $I_{Cl^-}$ -ի  $\square$ - $\square$  նշանը պայմանավորված է քլորի իոնի բացասական լիցքով: Այս դեպքում թաղանթային պոտենցիալի համար ստացվում է Գոլդման-Խոջկին-Կատցի բանաձևը, որն ավելի լավ համապատասխանում է փորձնական արդյունքներին.

$$V_{\text{հաճգ.}} = -\frac{RT}{F} \ln \left\{ \frac{P_k [K^+]_{\text{ներք.}} + P_{Na} [Na^+]_{\text{ներք.}} + P_{Cl} [Cl^-]_{\text{արտ.}}}{P_k [K^+]_{\text{արտ.}} + P_{Na} [Na^+]_{\text{արտ.}} + P_{Cl} [Cl^-]_{\text{ներք.}}} \right\} : \quad (13.5.)$$

Այստեղ  $[K^+]$ ,  $[Na^+]$ ,  $[Cl^-]$  համապատասխան իոնների կոնցենտրացիաներն են, իսկ  $P_k$ -ն,  $P_{Na}$ -ը,  $P_{Cl}$ -ը՝ նրանց թափանցելիությունները: Քանի որ ֆիզիոլոգիական հանգստի վիճակում բջջաթաղանթի թափանցելիությունը  $K^+$  իոնների համար էապես մեծ է  $Na^+$  և  $Cl^-$  իոնների թափանցելիությունից ( $P_k : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45$ ), ապա Ներնստի բանաձևը կարելի է դիտել որպես Գոլդմանի բանաձևի մասնավոր դեպք:

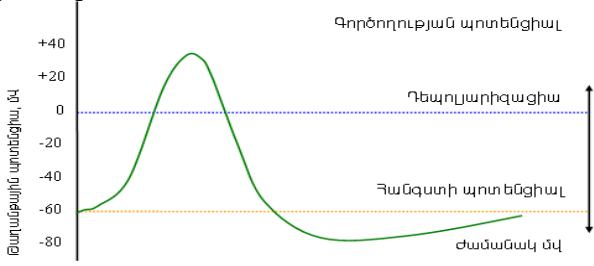
### Գործողության պոտենցիալ

Կենդանի օրգանիզմում ազդակը (ռեցեպտորներից դեպի գլխուղեղի նեյրոններ և այդ նեյրոններից դեպի մկանային հյուսվածքներ) հաղորդվում է էլեկտրական նյարդային իմպուլսների միջոցով, որոնք կոչվում են գործողության պոտենցիալ: Կենդանի օրգանիզմը ամբողջապես էլեկտրաֆիզիկացված համակարգ է: Դեռևս 200 տարի առաջ Գալվանին իր էլեկտրաֆիզիոլոգիական փորձերի հիման վրա ցույց տվեց, որ մկանային կծկումներն առաջանում են էլեկտրական իմպուլսների ազդեցությամբ, և կենդանի համակարգը էլեկտրական իմպուլսների աղբյուր է:

Մակայն նյարդային իմպուլսների էլեկտրական բնույթը վերջնականապես ապացուցվեց միայն 20-րդ դարի կեսերին անգլիացի գիտնականներ Խոջկինի և Հակալիի աշխատանքների շնորհիվ, որի համար 1963թ. նրանց շնորհվեց Նոբելյան մրցանակ:

*Էլեկտրական իմպուլսը, որն առաջանում է բջջաթաղանթի իոնային թափանցելիության փոփոխման արդյունքում և պայմանավորված է նյարդաթելերով և մկաններով տարածվող գրգռման ալիքի տարածումով, կոչվում է գործողության պոտենցիալ:*

Խոջկինը և Հակալին գործողության պոտենցիալի առաջացման մեխանիզմի ուսումնասիրությունները կատարել են կալմարի վիթխարի աքսոնների վրա: Փորձերում օգտվում էին երկու միկրոէլեկտրոդներից, որոնք խրվում էին աքսոնի մեջ: Միկրոէլեկտրոդներից մեկի վրա տրվում էր V լայնություն ուղղանկյունաձև իմպուլս, որը փոխում էր թաղանթային պոտենցիալը: Փոփոխված թաղանթային պոտենցիալը չափվում էր երկրորդ միկրոէլեկտրոդի հետ միացված լարումը գրանցող սարքի միջոցով: Եթե գրգռող իմպուլսը բացասական է, ապա թաղանթային պոտենցիալը կարճատև գերբևեռացումից հետո վերադառնում է իր նախկին արժեքին: Նույն կարճատև ազդեցություններն են դիտվում նաև դրական (ապաբևեռացնող) գրգռող իմպուլսների դեպքում, եթե դրանց լայնությունը փոքր է որոշակի շեմային արժեքից: Իսկ երբ դրական իմպուլսի լայնությունը մեծ է շեմային արժեքից, տեղի է ունենում թաղանթային պոտենցիալի կտրուկ աճ: Այն աճում է մինչև մի որոշակի դրական արժեք, որից հետո նվազելով, վերադառնում է իր նախկին բացասական արժեքին: Այս կարճատև էլեկտրական իսպուլսն էլ կոչվում է գործողության պոտենցիալ (նկար 13.2): Նյարդային և մկանային բջիջներում այդ պրոցեսի տևողությունը կազմում է 1 մվրկ, իսկ սրտամկանում տևում է 300 մվրկ:



Նկ. 13.2.

**Գործողության պոտենցիալի բնորոշ հատկանիշներն են.**

1. Ապաբևեռացնող պոտենցիալի շեմային արժեքի առկայությունը:

2. Գոյություն ունի բջջաթաղանթի ռեֆրակտերության ժամանակահատված. սկսած գործողության պոտենցիալի զարգացման պահից մինչև մնացորդային երևոյթների ավարտը բջջաթաղանթի տվյալ տեղամասը գրգռման ենթակա չէ:

3. Գործում է  $\square$  ամեն ինչ կամ ոչինչ  $\square$  կանոնը, այսինքն՝ երբ գրգռող պոտենցիալը մեծ է  $V_{2\text{եմ.}}$ -ից, զարգանում է գործողության պոտենցիալ, իսկ եթե  $V < V_{2\text{եմ.}}$ , գործողության պոտենցիալ չի առաջանում:

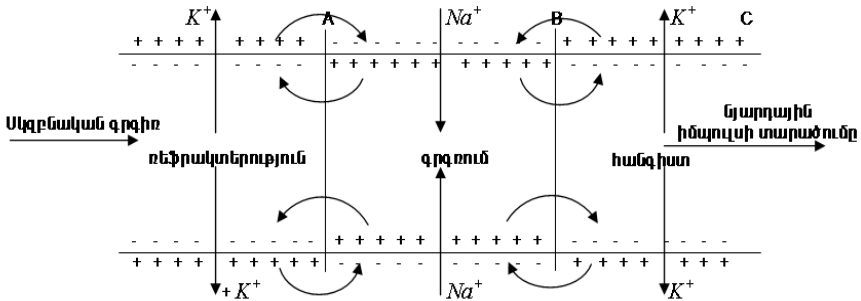
4. Գրգռման պահին թաղանթի դիմադրությունը կտրուկ նվազում է:

Փորձերը ցույց են տվել, որ գործողության պոտենցիալի առաջացումը բջջաթաղանթի գրգռման ժամանակ  $\text{Na}^+$ -ի իոնների նկատմամբ նրա թափանցելիության կտրուկ աճի հետևանք է:

**Գործողության պոտենցիալի տարածումը նյարդաթելի երկայնքով:**

Փորձնական հետազոտությունների հիման վրա առաջարկվել է նյարդաթելի երկայնքով գործողության պոտենցիալի տարածման հետևյալ սխեման (նկար 13.3.): Եթե գրգռված թաղանթի որևէ **AB** տեղամասում ձևավորվել է գործողության պոտենցիալ, ապա դա նշանակում է, որ թաղանթի այդ տեղամասը ապաբևեռացվել է: Այնուհետև հարևան **BC** տեղամասից դրական լիցքերը արտահոսում են դեպի **AB** տեղամաս:

Ինչպես արքունի ներսում, այնպես էլ նրա արտաքին մակերևույթի վրա առաջանում են լոկալ հոսանքներ: Լոկալ հոսանքների հետևանքով թաղանթի **BC** չգրգռված տեղամասի ներքին մակերևույթի պոտենցիալը



մեծանում է, իսկ արտաքին մակերևույթինը՝ փոքրանում:

Նկ. 13.3.

Այսպիսով, հանգստի պոտենցիալը, որը բացասական էր, բացարձակ արժեքով փոքրանում է: Թաղանթային պոտենցիալի փոփոխման հետևանքով բացվում են նատրիումական անցուղիները և պոտենցիալի հետագա մեծացումը կատարվում է  $\text{Na}^+$  իոնների ներհոսքի շնորհիվ:

Այն պահին, երբ AB-ում սկսվում է գործողության պոտենցիալի երկրորդ (վերաբնեռացման) փուլը, BC-ում առաջանում է գործողության պոտենցի-

ալի առաջին փուլը: Այնուհետև նույն մեխանիզմով գործողության պոտենցիալ է ձևավորվում հարևան հատվածում, և այս երևույթը շարունակվում է տեղամասից տեղամաս: Կարող է հարց առաջանալ. ինչու՞ բնական պայմաններում գրգիռը նյարդաթելի երկայնքով չի տարածվում գրգռված տեղամասի երկու ուղղությամբ էլ. չէ՞ որ լոկալ հոսանքները երկու ուղղությամբ էլ առաջանում են: Բանն այն է, որ գրգիռը կարող է տարածվել միայն դեպի թաղանթի հանգստի վիճակում գտնվող տիրույթը, այսինքն՝ միայն մի ուղղությամբ: Հակառակ ուղղությամբ նյարդային իմպուլսը չի կարող տարածվել, քանի որ այն տիրույթները, որոնցով գրգիռը անցել է, մի որոշ ժամանակ անգրգռելի են (ռեֆրակտերություն):

### Թեստային օրինակներ

1. Թաղանթի հաստությունը 10 նմ է (1 նմ=10<sup>-9</sup>մ): Կալիումի իոնների կոնցենտրացիան բջջի ներսում 305 մ մոլ/լ է, իսկ դրսում՝ 5 մ մոլ/լ: Քանի՞ մոլ/մ<sup>4</sup> է հավասար կալիումի իոնների գրադիենտի բացարձակ արժեքը թաղանթում.

- ա) 3 · 10<sup>3</sup>      բ) 3 · 10<sup>5</sup>      գ) 3 · 10<sup>10</sup>      դ) 3 · 10<sup>15</sup>

2. Իոնի շարժունակության (b) չափման միավոր չէ՝

- ա) մԿ/վՆ      բ) մԱ/ ն      գ) Ավ<sup>2</sup>/ կգ      դ) Ավ<sup>2</sup>մ/ կգ

3. Հանգստի պոտենցիալը՝

1) չգրգռված բջջաթաղանթի ներքին և արտաքին մակերևույթների միջև էլեկտրական պոտենցիալների ստացիոնար տարբերությունն է

2) գրգռված բջջաթաղանթի ներքին և արտաքին մակերևույթների միջև էլեկտրական պոտենցիալների ստացիոնար տարբերությունն է

3) չափվում է վոլտերով

4) կարելի է չափել միկրոէլեկտրոդի միջոցով

- ա) միայն 2,3,4      բ) միայն 1,3,4      գ) միայն 1,4      դ) բոլորը ճիշտ են

4. Չափվել հանգստի պոտենցիալի արժեքը 37<sup>0</sup>С ջերմաստիճանում, եթե

$$[K^+]_{\text{երբ.}} = 0,3 \text{ մ մոլ/լ, } [K^+]_{\text{արտ.}} = 0,01 \text{ մ մոլ/լ, } R = 8,3 \text{ Ջ/մոլԿ, } F = 96500 \frac{\text{Կլ}}{\text{մոլ}}$$

$\ln 30 = 3.4$ :

- ա) -91 մՎ      բ) -120 մՎ      գ) -65 մՎ      դ) -71 մՎ

5. Ինչպիսի՞ պոտենցիալ է կոչվում չգրգռված թաղանթի ներքին և արտաքին մակերևույթների միջև էլեկտրական պոտենցիալների ստացիոնար տարբերությունը.

- ա) գործողության      բ) բնեռացման      գ) թաղանթային      դ) հանգստի

**6. Լիպիդի մոլեկուլը կազմված է՝**

- 1) գլխիկից 2) պոչիկից
- 3) հիդրոֆիլ գլխիկից է, որն էլեկտրաչեզոք է կամ դրական լիցքավորված
- 4) հիդրոֆոբ պոչիկից, որն էլեկտրաչեզոք է
- ա) միայն 1,2 բ) միայն 1,2,4 գ) միայն 1,2,3 դ) բոլորը ճիշտ են

**7. Համաձայն կենսաթաղանթների հեղուկ-բյուրեղային մոդելի կառուցվածքի՝**

- 1) թաղանթի հիմքը լիպիդային երկշերտն է
- 2) թաղանթն օժտված է ինքնահավաքելու ունակությամբ
- 3) թաղանթն օժտված է կիսաթափանցիկ հատկությամբ
- 4) թաղանթը դիէլեկտրիկ է
- ա) միայն 1,2 բ) միայն 1,3 գ) միայն 1,2,3 դ) բոլորը ճիշտ են

**8. Բջջաթաղանթի կառուցվածքով պայմանավորված թաղանթի 3 հիմնական ֆունկցիաներն են՝**

- ա) պատնեշային, ռեցեպտորային, մեխանիկական
- բ) մատրիցային, մեխանիկական, էներգետիկական
- գ) մեխանիկական, պատնեշային, մատրիցային
- դ) պատնեշային, մատրիցային, էներգետիկական

**9. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում սպիտակուցային անցքերով պասիվ տեղափոխության թափանցելիության (P) գործակիցը.**

ա)  $P = \frac{\pi r^2 i D}{l}$     բ)  $P = \frac{\pi r^2 n l}{D}$     գ)  $P = \frac{\pi r^2 n D}{l}$     դ)  $P = i CRT$

**10. Ֆիլտրացիա (գտում)**

- ա) կոչվում է լուծիչի շարժումը թաղանթային ծակոտիներով հիդրոստատիկ ճնշման գրադիենտի ազդեցությամբ
- բ) կոչվում է լուծույթի շարժումը թաղանթային ծակոտիներով հիդրոստատիկ ճնշման գրադիենտի ազդեցությամբ
- գ) ակտիվ տրանսպորտի տարատեսակ է
- դ) ծավալային արագությունը որոշվում է Վանտ-Հոֆի բանաձևով

**11. Ո՞ր բանաձևով հնարավոր չէ որոշել էլեկտրադիֆուզիայի հոսքը.**

ա)  $I_{\text{էլ}} = CbE$     բ)  $I_{\text{էլ}} = -Cb \frac{d\phi}{dx}$     գ)  $I_{\text{էլ}} = \frac{CDFz}{RT} E$     դ)  $I_{\text{էլ}} = Cb \frac{d\phi}{dx}$

**12. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում իոնի շարժունակությունը (b).**

ա)  $v = bE^2$     բ)  $v = b\mu$     գ)  $v = bE$     դ)  $v = bC$

**13. Ո՞ր հավասարումով է որոշվում իոնի շարժունակության (b) և դիֆուզիայի գործակցի (D) միջև կապը ընդհանուր դեպքում.**

ա)  $b = D \frac{F}{RT}$     բ)  $b = D \frac{Fz}{RT}$     գ)  $b = D \frac{FP}{RT}$     դ)  $b = \frac{D}{RT}$

**14. Թաղանթի հաստությունը 20 մկմ (1մկմ=10<sup>-6</sup>մ ) է: Նատրիում իոնների կոնցենտրացիան բջջի ներսում 210 մմոլ/լ է, իսկ դրսում՝ 50 մմոլ/լ: Ինչի՞ է**

հավասար նատրիում իոնների զրադիենտի բացարձակ արժեքը թաղանթում (մոլ/մ<sup>4</sup>).

- ա)  $8 \cdot 10^{10}$       բ)  $8 \cdot 10^8$       գ)  $8 \cdot 10^6$       դ)  $8 \cdot 10^4$

15. Ակտիվ տեղափոխությունը, նյութի անցումն է էլեկտրաքիմիական պոտենցիալի՝

- ա) ցածր արժեքների տեղամասից դեպի ավելի բարձր արժեքների տեղամաս  
բ) բարձր արժեքների տեղամասից դեպի ավելի ցածր արժեքների տեղամաս  
գ) օսմոտիկ ճնշման ցածր արժեքից դեպի նրա ավելի բարձր արժեքների տեղամաս

դ) թվարկված պատասխանները սխալ են

16. Իոնների կամ մոլեկուլների պասիվ տեղափոխությունը՝

- 1) չի կարող ընթանալ ինքնաբերաբար  
2) կապված է որոշակի էներգիայի ծախսերի հետ  
3) կարող է ընթանալ ինքնաբերաբար  
4) կատարվում է էլեկտրաքիմիական պոտենցիալի բարձր արժեքի տիրույթից նրա ցածր արժեքով տիրույթը

- ա) միայն 2,3      բ) միայն 1,4      գ) միայն 2,4      դ) միայն 3,4

17. ԱՆՖ-ի մեկ մոլեկուլի տրոհման էներգիան բավարար է քանի՞ իոն բջից դուրս մղելու և քանի՞ իոն բջիջ ներքաշելու համար.

- ա)  $2K^+$  ;  $3Na^+$       բ)  $2Na^+$  ;  $3K^+$       գ)  $3Na^+$  ;  $2K^+$       դ)  $3K^+$  ;  $2Na^+$

18. Հանգստի պոտենցիալի առաջացման պատճառներն են ցիտոպլազմայում և արտաբջջային հեղուկում ռ<sup>+</sup> իոնների ինչպիսի՞ բաշխումը և բջջաթաղանթի ինչպիսի՞ թափանցելիությունը այդ իոնների նկատմամբ.

- ա)  $K^+$  և  $Na^+$ , անհավասարաչափ, ոչ միատեսակ,  
բ)  $K^+$  և  $Na^+$ , անհավասարաչափ, միատեսակ,  
գ)  $Ca^{2+}$  և  $H^+$ , հավասարաչափ, ոչ միատեսակ,  
դ)  $H^+$  և  $Ca^{2+}$ , անհավասարաչափ, ոչ միատեսակ,

### Պատասխաններ

- 1.գ    2.դ    3.բ    4.ա    5.դ    6.բ    7.դ    8.գ    9.գ  
10.բ   11.դ   12.գ   13.բ   14.գ   15.ա   16.դ   17.գ   18.ա

ԳԼՈՒԻՒ 5.    ՕՐԳԱՆՆԵՐԻ և ՀՅՈՒՄՎԱԾՔՆԵՐԻ ԿԵՆՍԱՖԻԶԻԿԱ

### 14. ՕՐԳԱՆՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐՈԿԵՄԻԱ

Կենդանի համակարգերի առանձին օրգանները, հյուսվածքները և բջիջները ստեղծում են իրենց սեփական էլեկտրական դաշտերը, այսինքն՝ օժտված են էլեկտրական ակտիվությամբ: Եթե մարդու մարմնի մակերևույթի տարբեր կետերում տեղադրենք էլեկտրոդներ, ապա այդ կետերի միջև կգրանցվի պոտենցիալների տարբերություն, որը, ժամանակից կախված, անընդհատ փոփոխվում է:

***Տվյալ օրգանի կամ հյուսվածքի կենսագործունեության ընթացքում ծագած պոտենցիալների տարբերության ժամանակային կախվածությունը կոչվում է էլեկտրազիր:***

Էլեկտրազիր անվանումը համապատասխանում է այն հյուսվածքին կամ օրգանին, որի գործունեության արդյունքում գրանցվել է տվյալ պոտենցիալների տարբերությունը:

Սրտի էլեկտրազիրն ընդունված է անվանել էլեկտրասրտազիր (ԷՍԳ), ուղեղի էլեկտրազիրը՝ էլեկտրաուղեղազիր (ԷՈւԳ), մկանի էլեկտրազիրը՝ էլեկտրամկանազիր և այլն:

Էլեկտրազրերը արտացոլում են բջիջների, հյուսվածքների և օրգանների ֆունկցիոնալ վիճակը: Դրանց գրանցումը և վերլուծությունը հնարավորություն է ընձեռում գնահատելու օրգանների ֆունկցիոնալ վիճակը և արդյունավետ օգտագործելու կլինիկական ախտորոշման խնդիրներում:

Ժամանակակից կենսաֆիզիկայի կարևորագույն խնդիրներից մեկն է բացատրել կենդանի համակարգերի առանձին օրգանների, հյուսվածքների և բջիջների էլեկտրական դաշտերի ծագման մեխանիզմը և տալ էլեկտրազրերին բնորոշ առանձնահատկությունների ֆիզիկական մեկնաբանությունը: Գործնական բժշկության մեջ շատ կարևոր է նաև, էլեկտրազրի առանձնահատկություններից ելնելով, կատարել տվյալ հիվանդության վերաբերյալ ախտորոշիչ եզրահանգումներ:

**Էլեկտրասրտազրության ֆիզիկական հիմունքները**

Գործնական բժշկության մեջ ամենալայն տարածումն ունի էլեկտրասրտազրությունը (էլեկտրակարդիոգրաֆիա)՝ սրտի էլեկտրական ակտիվության ուսումնասիրությունը:

Փորձարարական փաստերը վկայում են, որ սրտի տարբեր հատվածներով գրգռման տարածումը բավականաչափ բարդ պրոցես է: Գրգռման տարածման արագությունն անընդհատ փոխվում է և՛ մեծությամբ, և՛ ուղղությամբ: Օրինակ՝ նախասրտի պատերով գրգիռը տարածվում է 30 ÷ 80 սմ/վ արագությամբ, ատրիովենտրիկուլյար հանգույցում արա-

գությունը փոքրանում է մինչև  $2 \div 5$  սմ/վ, իսկ Հիսի խուրձում արագությունն առավելագույնն է՝  $100 \div 140$  սմ/վ:

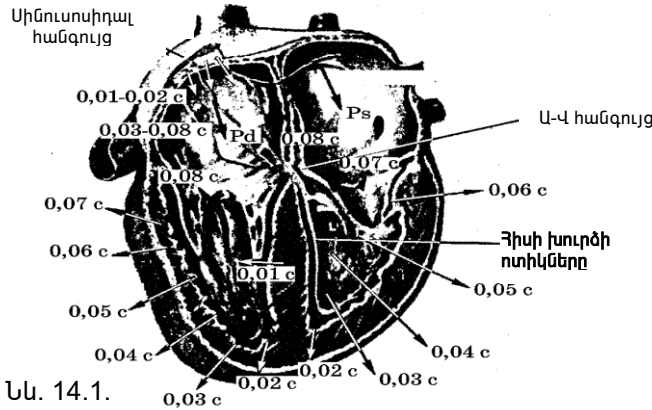
Արդյունքում գրգռման ալիքի երկարությունը կարելի է գնահատել

$$\lambda = TV \quad (14.1.)$$

բանաձևով, որտեղ  $T$  -ն ռեֆրակտերային պարբերությունն է, որի արժեքը սրտի տարբեր մասերում տարբեր է, իսկ  $V$ -ն գրգռի տարածման արագությունն է: (14.1.) բանաձևով կատարված հաշվումները ցույց են տվել, որ նախասրտում  $\lambda \cong 12$  սմ է, ատրիվենտրիկուլյար հանգույցում՝  $\lambda \cong 0.6$  սմ, իսկ Հիսի խուրձում՝  $\lambda \cong 30$  սմ:

Հետևաբար, ընդհանրացնելով սրտի տարբեր մասերում տարածվող գրգռման ալիքների երկարությունների արժեքները, կարելի է նկատել, որ դրանք գտնվում են էլեկտրամագնիսական ալիքների սանտիմետրային և միլիմետրային տիրույթներում: Նշենք, որ նույն տիրույթում են աշխատում նաև բջջային հեռախոսները:

Նկար 14.1-ում պատկերված է գրգռման ալիքի տարածման հերթականությունը սրտի տարբեր մասերով: Սլաքները պատկերում են գրգռման ալիքի տարածման ուղղությունը և սրտի տվյալ տեղամաս հասնելու ժամանակամիջոցը:



Նկ. 14.1.

Սրտի էլեկտրական վիճակի լրիվ նկարագրությունը նրա յուրաքանչյուր

բջջում հնարավոր չէ իրականացնել: Ուսումնասիրությունները հաստատում են, որ սրտի էլեկտրական ակտիվությունը՝ նրա ստեղծած էլեկտրական դաշտը, բավականին մեծ ճշտությամբ կարելի է մոդելավորել հոսանքի դիպոլի կամ, այլ կերպ ասած, դիպոլային էլեկտրական գեներ-



րատորի օգնությամբ: Ուստի ներմուծվում է համարժեք գեներատորի մոդելը, որտեղ սիրտը փոխարինվում է հոսանքի համարժեք գեներատորով, որի էլեկտրական դաշտը մոտ է սրտի էլեկտրական դաշտին:

Գեներատորը հոսանքի էլեկտրական դիպոլով՝ դրական և բացասական բևեռներով համակարգ է, դրանք իզոտրոպ և համասեռ անվերջ միջավայրում իրարից փոքր  $l$  հեռավորության վրա են: Հոսանքի դիպոլ կարելի է ստանալ, եթե հաղորդիչ միջավայրում որոշ հեռավորության վրա տեղադրենք հոսանքի աղբյուրի դրական և բացասական բևեռները (նկար 14.2.): Հոսանքի դիպոլային գեներատորի դրական և բացասական բևեռներին անընդհատ մատակարարվում են լիցքեր, որոնց շնորհիվ կոմպենսացվում է դրանց լիցքերի կորուստը, որը պայմանավորված է միջավայրում առաջացող էլեկտրական հոսանքով:

Հոսանքի դիպոլի կարևորագույն բնութագիր է  $\vec{d}$  դիպոլային մոմենտը:

$$\begin{array}{c} -I \quad l \quad +I \\ \bigcirc \longrightarrow \bigcirc \end{array} \quad \text{Նկ. 14.2.}$$

$$\vec{d} = I \cdot \vec{l} \quad (14.2.)$$

Հոսանքի դիպոլի էլեկտրական դաշտի պոտենցիալի հաշվարկման համար նախ դիտարկենք դիպոլի բևեռներից մեկի՝ միաբևեռի էլեկտրական դաշտը, և հաշվենք նրա կողմից ստեղծած էլեկտրական դաշտի պոտենցիալը որևէ  $r$  կետում (նկար 14.3.):

Օգտվենք Օհմի օրենքի դիֆերենցիալ տեսքից՝

$$j = \frac{I}{\rho} E \quad \text{կամ} \quad j = -\frac{1}{\rho} \frac{d\varphi}{dr}, \quad (14.3.)$$

որտեղ  $j$ -ն էլեկտրական հոսանքի խտությունն է և որոշվում է  $j = \frac{I}{S}$

բանաձևով՝

$I$  - հոսանքի ուժն է,

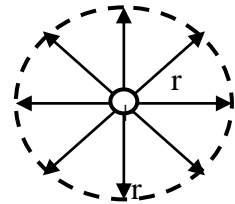
$S$  - այն մակերևույթի մակերեսը, որով անցնում է հոսանքը,

$\rho$  - այն միջավայրի տեսակարար դիմադրու-

թյունն է, որում աշխատում է հոսանքի դիպոլը,

$\varphi$  - էլեկտրական դաշտի պոտենցիալն է,

$r$  - միաբևեռից եղած հեռավորությունն է :



Նկ. 14.3.

Մյուս կողմից  $I$  հոսանքի ուժը բաժանելով  $r$  շառավղով սֆերայի մակերեսի վրա, կարելի է ստանալ  $j$  էլեկտրական հոսանքի

խտությունը՝  $j = \frac{I}{4\pi r^2}$ , որտեղից (14.3)-ը կգրվի՝

$$-\frac{1}{\rho} \frac{d\varphi}{dr} = \frac{I}{4\pi r^2}, \text{ որտեղից } d\varphi = -\frac{\rho I}{4\pi r^2} dr:$$

Ընդունելով, որ հաղորդիչ միջավայրը միաբևեռի համեմատ անսահման մեծ է, ինտեգրելով ստանում ենք.

$$\varphi = \frac{\rho I}{4\pi r} + C:$$

Օգտվելով եզրային պայմանից՝  $\varphi \rightarrow 0$ , երբ  $r \rightarrow \infty$ , կստանանք  $C = 0$ : Այսպիսով, դրական միաբևեռի էլեկտրական դաշտի պոտենցիալը կորոշվի՝

$$\varphi_+ = \frac{\rho I}{4\pi r}: \quad (14.4.)$$

Բացասական միաբևեռի էլեկտրական դաշտի պոտենցիալի արտահայտությունը միայն նշանով կտարբերվի (14.4.) բանաձևից որոշվող արտահայտությունից.

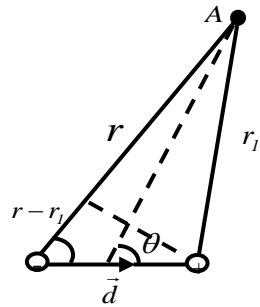
$$\varphi_- = -\frac{\rho I}{4\pi r}: \quad (14.5.)$$

Դիպոլի էլեկտրական դաշտի պոտենցիալը նրանից որոշ հեռավորության վրա կորոշվի (14.4.) և (14.5.) արտահայտությունների միջոցով: Օգտվելով դաշտերի վերադրման սկզբունքից՝ կստանանք կետային հոսանքի դիպոլի պոտենցիալի արտահայտությունը որևէ  $A$  կետում (նկար 14.4.):

$$\varphi_A = \varphi_+ + \varphi_-$$

$$\varphi_A = \frac{\rho I}{4\pi r_1} - \frac{\rho I}{4\pi r} = \frac{\rho I}{4\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r} \right)$$

$$\varphi_A = \frac{\rho I}{4\pi} \left( \frac{r - r_1}{r_1 r} \right)$$



երբ  $l \ll r$  (կետային դիպոլ), ապա

Նկ. 14.4.

$$r - r_1 = l \cdot \cos \theta \quad \text{և} \quad r \cdot r_1 \approx r^2,$$

հետևաբար՝

$$\varphi_A \approx \frac{\rho l \cos \theta}{4\pi r^2} \text{ և քանի որ } l = d \text{ - հոսանքի դիպոլ մոմենտն է՝}$$

$$\varphi_A \approx \frac{\rho d \cos \theta}{4\pi r^2} \quad (14.6.)$$

Կարելի է նկատել, որ վերը նշված մոտավորությունների դեպքում (14.6.) բանաձևում  $\theta$ -ն դիպոլի կազմած անկյունն է ընտրված կետի ուղղության (կետը դիպոլի միջնակետին միացնող ուղղի) հետ:

Նախասրտային հանգույցում ինքնաբերաբար գրգռվող ռիթմիկ իմպուլսները, 1 բույնում մոտավորապես 60 ÷ 80 զարկ հաճախությամբ, կարճ ժամանակամիջոցում տարածվում են սրտի հաղորդիչ միջավայրով՝ յուրահատուկ կառուցվածք ունեցող մկանային թելերով: Տվյալ պահին գրգռումներով ընդգրկված սրտամկանի փոքր տեղամասի թելերի մակերևույթի վրա, ի տարբերության չգրգռված տեղամասերի, դրական լիցքը փոխարինվում է բացասականով՝ առաջացնելով ապաբևեռացում: Գրգռված և անմիջական հարևանությամբ դրական լիցքերով օժտված չգրգռված տեղամասերի միջև ծագում է պոտենցիալների տարբերություն, որը պատճառ է դառնում էլեկտրական հոսանքի առաջացման: Այլ կերպ ասած, ձևավորվում է  $\vec{d}$  մոմենտով տարրական հոսանքի դիպոլային գեներատոր: Իմպուլսների տարածման ընթացքի յուրաքանչյուր պահին առաջանում են նոր և անհետանում են նախկին դիպոլները:

Ժամանակակից պատկերացումների համաձայն՝ գրգռված սիրտը կարելի է մոդելավորել շատ մեծ թվով հոսանքի կետային դիպոլի գեներատորների օգնությամբ: Էլեկտրական դաշտերի վերադրման սկզբունքի կիրառման արդյունքում հոսանքի կետային դիպոլների կողմից ստեղծած  $\varphi$  պոտենցիալի համար ստացվում է.

$$\varphi = \frac{\rho}{4\pi} \sum_{i=1}^n \frac{d_i \cos \theta_i}{r_i^2}, \quad (14.7.)$$

որտեղ  $n$  -ը տարրական դիպոլների քանակն է:

Քանի որ սրտի աշխատանքային ցիկլի յուրաքանչյուր պահի համար գրգռվում է նրա փոքր տեղամասը, ուստի կարելի է ընդունել, որ  $l \ll r$ , և բոլոր տարրական դիպոլների կենտրոնները մոտավորապես նույն հեռավորության վրա են պոտենցիալի մեծության որոշման ենթակա կետից՝  $r_1 \approx r_2 \approx \dots \approx r_n = r$  և (14.7.) բանաձևը կգրվի՝

$$\varphi = \frac{\rho}{4\pi r^2} \sum_{i=1}^n d_i \cos \theta_i: \quad (14.8.)$$

Տարրական դիպոլների մոմենտների վեկտորական գումարը նշանակենք  $\vec{D}$ -ով՝

$$\vec{D} = \sum_{i=1}^n \vec{d}_i,$$

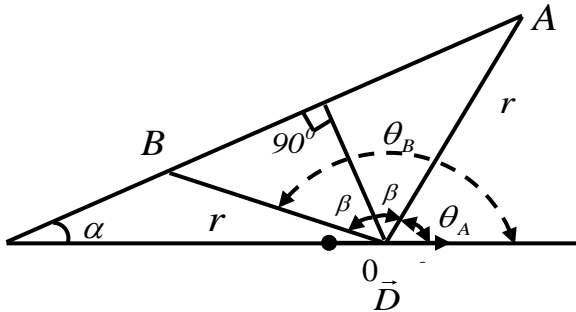
որը կոչվում է սրտի ինտեգրալային էլեկտրական վեկտոր (ՄԻԷՎ)

$\vec{D}$ -ն սրտի էլեկտրական ակտիվությունը բնութագրող համարժեք հոսանքի գեներատորի դիպոլ մոմենտն է: Քանի որ  $\sum_{i=1}^n d_i \cos \theta_i = D \cos \theta$ , հետևաբար (14.8.) բանաձևից սրտի համարժեք հոսանքի դիպոլի ստեղծած դաշտի պոտենցիալը  $r$  կետում կորոշվի՝

$$\varphi = \frac{\rho D \cos \theta}{4\pi r^2} = K_1 D \cos \theta \quad (14.9.)$$

բանաձևով, որտեղ  $K_1 = \frac{\rho}{4\pi r^2}$ :

Հաշվենք 0 կետում տեղադրված հոսանքի դիպոլի (օրինակ՝ սրտի ինտեգրալային էլեկտրական վեկտորի) ստեղծած էլեկտրական դաշտի պոտենցիալների տարբերությունը երկու հավասարահեռ կետերի միջև (նկար 14.5.):



Նկ. 14.5.

$$\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B$$

Համաձայն (14.9.) բանաձևի՝

$$\Delta\varphi = K_1 D \cos \theta_A - K_1 D \cos \theta_B = K_1 D (\cos \theta_A - \cos \theta_B),$$

քանի որ  $\theta_B = \alpha + 90 + \beta$ ,  $\theta_A = \alpha + 90 - \beta$ , ապա

$$\cos \theta_A - \cos \theta_B = \cos(\alpha + 90 - \beta) - \cos(\alpha + 90 + \beta):$$

Հետևաբար  $\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B = 2K_1 \sin \beta \cdot D \cdot \cos \alpha$  կամ մտցնելով նոր համեմատականության գործակից՝  $K = 2K_1 \sin \beta = \frac{\rho}{2\pi r^2} \sin \beta$ , կստանանք

$$\Delta\varphi = KD \cos \alpha \quad \text{կամ} \quad \Delta\varphi = K \cdot D_{AB}, \quad (14.10)$$

որտեղ՝  $D_{AB}$ -ն  $\vec{D}$  վեկտորի պրոյեկցիան է  $AB$  ուղու վրա:

Այսպիսով, երկու հավասարահեռ կետերի միջև կետային հոսանքի դիպուկի էլեկտրական դաշտի պոտենցիալների տարբերությունը ուղիղ համեմատական է դիպուկային մոմենտի պրոյեկցիային այդ երկու կետերը միացնող ուղղու վրա: Հետևաբար, հետագոտելով մարդու մարմնի մակերևութի կետերի պոտենցիալների տարբերության փոփոխությունը, կարելի է գաղափար կազմել սրտի դիպուկ մոմենտի պրոյեկցիայի, հետևաբար և կենսապոտենցիալների տարբերության վերաբերյալ:

Այս գաղափարը հոլանդացի գիտնական **Էյնթհովենի** մոդելի հիմքում է, որի հիմնական ենթադրություններն են.

- Սրտի էլեկտրական դաշտը  $\vec{D}$  դիպուկային մոմենտով կետային հոսանքի դիպուկի էլեկտրական դաշտ է: Այն սրտի տարբեր տեղամասերի հոսանքի դիպուկների վեկտորական գումարն է:

- ՄԻԷՎ-ը համասեռ, իզոտրոպ հաղորդիչ միջավայրում է ( $\rho = const$ ):

- ՄԻԷՎ-ը փոխվում է և՛ մեծությամբ, և՛ ուղղությամբ:

- ՄԻԷՎ-ի սկիզբը անշարժ է և գտնվում է ատրիովենտրիկուլյար հանգույցում, իսկ ծայրը գծում է բարդ տարածական կոր, որի պրոյեկցիան ճակատային հարթության վրա սրտի գործունեության մեկ ցիկլի ընթացքում առաջացնում է 3 հանգույց, որոնք ընդունված են նշանակել  $P$ ,  $QRS$ ,  $T$ :

Պարզ է, որ այդ դեպքում մարդու մարմնի մակերևույթի տարբեր կետերում ժամանակի տվյալ պահին կառաջանան մեծությամբ և նշանով տարբեր պոտենցիալներ: Հաջորդ պահին մարմնի մակերևույթի վրա պոտենցիալների այդ բաշխումը կփոխվի:

ՄԻԷՎ-ի մեծության և ուղղության փոփոխությունները պայմանավորված են սրտամկանի մեկ կծկման ժամանակ սրտով գրգռման ալիքների տարածման հաջորդականությամբ: Ալիքը սկսում է տարածվել սինուսային հանգույցից նախասրտերով (**P** օղակ), ատրիովենտրիկուլյար հանգույցով, Գիսի փնջի ռոտիկներով դեպի սրտի գագաթ և այնուհետև ընդգրկում է բոլոր կծկողական կառույցները (**QRS** կոմպլեքս): **T** հանգույցը համապատասխանում է կարդիամիոցիտների վերաբնեռացման փուլին:

ՄԻԷՎ-ի մասին գաղափար կազմելու համար Էյնթհովենը առաջարկեց մարդու մարմնի մակերևույթի՝ սրտից (հետևաբար և ՄԻԷՎ-ից) 3 հավասարահեռ կետերից (որոնք կկազմեն հավասարակողմ եռանկյուն) 2-ի միջև չափել կենսապոտենցիալների տարբերությունը: Եռանկյան գագաթ-

ները միացնող ուղիղների վրա ՄԻԷՎ-ի պրոյեկցիաների ժամանակային կախվածությունները Էլեկտրասարտագիրն են:

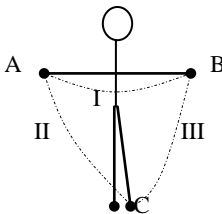
Գործնական բժշկության մեջ Էլեկտրասարտագիրը ստացվում է՝ չափելով պոտենցիալների տարբերությունը հետևյալ երեք համարյա հավասարահեռ կետերի միջև՝

ձախ ձեռք - աջ ձեռք      I ճյուղավորում (AB)

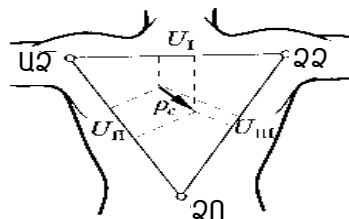
ձախ ոտք - աջ ձեռք      II ճյուղավորում (AC)

ձախ ոտք - ձախ ձեռք   III ճյուղավորում (BC)

Նկար (14.6,14.7)-ում պատկերված է այդ 3 հավասարահեռ կետերի ընտրությունը:



Նկ. 14.6.



Նկ. 14.7.

Փորձնականորեն ստացվել է, որ հասուն մարդու ՄԻԷՎ-ի ամենամեծ արժեքը  $2 \cdot 10^{-5} \text{Ա} \cdot \text{մ}$  կարգի մեծություն է: Սրտի մեկ պարբերության ընթացքում  $T = 0,8 \text{վ}$  ՄԻԷՎ-ը, փոփոխելով և՛ մեծությամբ և՛ ուղղությամբ, պրոյեկցիայի ծայրը հարթության մեջ գծում է մի կոր, որը բաղկացած է P, QRS և T օղակներից (նկար 14.8.):

Նշենք, որ Էյնթհովենի մոդելը խիստ չէ, ունի մի շարք բացթողումներ: Նշենք դրանցից մի քանիսը.

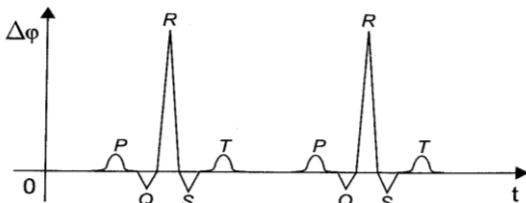
1) Օրգանիզմը համասեռ հաղորդիչ միջավայր չէ. արյունը, մկանները և այլն ունեն տարբեր տեսակարար դիմադրություններ: Բացի դրանից, սվլյալ հյուսվածքի հաղորդականությունը կարող է փոխվել ժամանակի ընթացքում՝ կախված այնտեղ ընթացող ֆիզիոլոգիական պրոցեսներից:

2)  $\vec{D}$  վեկտորի սկզբնակետը կարող է տեղաշարժվել, և բավարար չէ ուսումնասիրել նրա պրոյեկցիան մի հարթության մեջ:

3) Շատ մոտավոր է սրտի աշխատանքի նկարագրությունը միայն մեկ  $\vec{D}$  վեկտորի փոփոխության միջոցով:

4) Օրգանիզմը դիտարկվում էր անվերջ համասեռ, իզոտրոպ միջավայր, որը իրականում սխալ է:

Իրական էլեկտրասրտագիրը բարդ կոր է, որը միայն սխեմատիկ կարելի է պատկերել հետևյալ կերպ (նկար 14.8):



Նկ. 14.8.

Գծային ԷՍԳ-ը բաղկացած է **P** ատամիկից, **QRS** ատամիկների կոմպլեքսից և **T** ատամիկից: Այդ ատամիկները բաժանված են զրոյական պոտենցիալի տեղամասերով:

**P** ատամիկը առաջանում է նախասրտերի կծկումից մոտավորապես 0,02վ առաջ և ստեղծում է դրանց կծկում:

**QRS** –ն արտացոլում է փորոքների ապաբևեռացումը:

**Q** –ն փորոքների միջնապատերի ապաբևեռացումն է:

**R** –ը փորոքների հիմնական զանգվածի ապաբևեռացումն է:

**S** –ը փորոքների հիմքի՝ բազալ հատվածների ապաբևեռացումն է:

**T** –ը ատամիկը արտացոլում է փորոքների վերաբևեռացումը:

**Գլխուղեղի էլեկտրական ակտիվության ուսումնասիրությունը.**

**էլեկտրատղեղագրություն**

Գլխի մակերևույթին գլխուղեղի ստեղծած պոտենցիալների տարբերության ժամանակային կախվածությունների գրանցումը և վերլուծությունը օգտագործվում է նյարդային համակարգի տարբեր տեսակի հիվանդություններ ախտորոշելու համար (քնի խանգարում, էպիլեպսիա, հոգեկան ցնցումներ, վնասվածքներ և այլն):

Էլեկտրատղեղագրությունն օգտագործվում է նաև գլխուղեղի ուռուցքի տիրույթը որոշելու, դեղորայքի ներմուծումից առաջ և հետո գլխուղեղի ֆունկցիոնալ վիճակը գնահատելու համար:

Գրանցվող պոտենցիալների տարբերությունը 100 անգամ փոքր է էլեկտրասրտագրի համեմատ: ԷՍԳ-ի դեպքում այն կազմում է **0,1-5մՎ**, իսկ ԷՌԻԳ-ի դեպքում՝ **0,001-0,05մՎ**: Այս թույլ ազդանշանների ուժեղացման համար օգտագործվում են ուժեղացուցիչներ. ԷՍԳ-ում՝ **10<sup>3</sup>-10<sup>4</sup>**, իսկ ԷՌԻԳ-ում՝ **10<sup>5</sup>-10<sup>6</sup>** ուժեղացման գործակիցներով:

*Էլեկտրատղեղագիրը գլխի մակերևույթի տարբեր տեղամասերի միջև պոտենցիալների տարբերության ժամանակային կախվածությունների գրաֆիկ է: Գլխի մակերևույթի վրա ընտրված կետերի քանակը (որոնց պոտենցիալների տարբերության ժամանակային կախումը գրանցվում է)*

**կարող է փոփոխվել 2-ից մինչև մի քանի տասնյակ՝ կախված հետազոտության նպատակներից:**

Ելնելով փորձարարական տվյալներից՝ կարելի է պնդել է, որ ԷՌԻԳ-ի ծագումը (գենետիկ) պայմանավորված է հիմնականում մեծ կիսազնդերի կեղևի էլեկտրական ակտիվությամբ, իսկ բջիջների մակարդակով՝ կեղևի բրգաձև նեյրոնների ակտիվությամբ:

ԷՌԻԳ-ն արտացոլում է վերը նշված հսկայական թվով նեյրոնների ինտեգրալ ակտիվությունը և նեյրոնային ցանցերում գրգռման ալիքների տարածումը: ԷՌԻԳ-ի հարմոնիկ սպեկտրը կարելի է ներկայացնել Ֆուրյե վերլուծության մեթոդով՝ բաղկացած 0-ից մինչև 100 հց հաճախությամբ պարզ ներդաշնակ տատանումների (հարմոնիկների) գումարի տեսքով:

Հարմոնիկ վերլուծության արդյունքում ստացված սպեկտրալ բաղադրիչները տվել են հետևյալ արդյունքները.

Մեծահասակ առույզ մարդու դեպքում գերիշխում է

$\alpha$ ռիթմը	8-13 հց հաճախությամբ,
$\beta$ ռիթմը	14-35 հց հաճախությամբ,
$\gamma$ ռիթմը	35-70 հց հաճախությամբ,

Նկատվել են նաև

$\delta$ ռիթմը	0,3-3 հց հաճախությամբ,
$\theta$ ռիթմը	4-7 հց հաճախությամբ:

ԷՌԻԳ-ի տեսքով, ինչպես և որոշակի ռիթմերի հայտնվելու կամ անհետանալու պայմաններում գնահատվում է գլխուղեղի նյարդային կառուցվածքների ֆունկցիոնալ վիճակը, զանազան փոփոխությունների դինամիկան:

Այսպես օրինակ՝ առույգությունից քնի անցնելիս  $\alpha$  և  $\beta$  ռիթմերը փոխարինվում են էականապես դանդաղ  $\delta$  և  $\theta$  ռիթմերով:

ԷՌԻԳ-ի սպեկտրալ բաղադրությունը խիստ նկատելի փոխվում է զանազան հիվանդությունների առկայությամբ: Հիմնական ռիթմերը բացակայում են կամ արտահայտվում են բավականաչափ թույլ էպիլեպսիայի, ծանր տեսականների գլխուղեղի ուռուցքի և այլ ախտաբանական օջախների առկայությամբ:

ԷՌԻԳ-ի սպեկտրալ բաղադրությունը էականորեն փոփոխվում է տարբեր խորության նարկոզների ազդեցությամբ, ֆիզիկական ծանրաբեռնվածության դեպքում:

ԷՌԻԳ-ի վերլուծության իրականացումը բավականաչափ բարդ խնդիր է: Օգտագործվում է համակարգչային տեխնիկա՝ գլխի մակերևույթի քարտեզագրման վերլուծությամբ:



## Թեստային օրինակներ

1. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում դրական միաբևեռի (հոսանքի) էլեկտրական դաշտի պոտենցիալը.

ա)  $\varphi = \frac{\rho I}{4\pi r^2}$ ,      բ)  $\varphi = \frac{\rho I}{4\pi r}$ ,      գ)  $\varphi = \frac{\rho l}{4\pi r}$ ,      դ)  $\varphi = \frac{\rho l}{4\pi r^2}$

2. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում կետային հոսանքի դիպոլի պոտենցիալը իրենից  $r$  հեռավորության վրա գտնվող կետում.

ա)  $\varphi \approx \frac{\rho d \cos \theta}{4\pi r}$ ,      բ)  $\varphi \approx \frac{d \cos \theta}{4\pi r^2}$ ,      գ)  $\varphi \approx \frac{\rho d \cos \theta}{4\pi r^2}$ ,      դ)  $\varphi \approx \frac{\rho \cos \theta}{4\pi r}$

3. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում սրտի համարժեք հոսանքի դիպոլի ստեղծած դաշտի պոտենցիալը որևէ հեռու կետում.

ա)  $\varphi = K_1 D \cos \theta$ ,      բ)  $\varphi = K_1 D$ ,      գ)  $\varphi = \rho D \cos \theta$ ,

դ) բոլոր պատասխանները սխալ են

4. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում հոսանքի դիպոլից հավասարահեռ կետերում պոտենցիալների տարբերությունը.

ա)  $\Delta\varphi = KD \cos \alpha$ ,      բ)  $\Delta\varphi = \frac{KD}{\cos \alpha}$ ,      գ)  $\Delta\varphi = KD$ ,      դ)  $\Delta\varphi = 0$

5. Ո՞ր երեք համարյա հավասարահեռ կետերի միջև է չափվում պոտենցիալների տարբերությունը՝ էլեկտրաստազիբը ստանալու համար

- 1) ձախ ձեռք-աջ ձեռք    2) ձախ ոտք-աջ ձեռք  
3) աջ ոտք-ձախ ձեռք    4) ձախ ոտք-ձախ ձեռք

ա) միայն 1,2,3      բ) միայն 2,3,4      գ) միայն 1,3,4      դ) միայն 1,2,4

6. Հոսանքի դիպոլից հավասարահեռ կետերում պոտենցիալների տարբերությունը՝

1) որոշվում է  $\Delta\varphi = KD_{AB}$  բանաձևով

2) ուղիղ համեմատական է նրա դիպոլ մոմենտի պրոյեկցիային ընտրված  $X$  առանցքի վրա

3) ուղիղ համեմատական է նրա դիպոլ մոմենտի պրոյեկցիային կետերը միացնող ուղու վրա

4) որոշվում է  $\Delta\varphi = \frac{\rho D \cos \theta}{4\pi r}$  բանաձևով

ա) միայն 1,2      բ) միայն 3,4      գ) միայն 1,3      դ) միայն 2,4

7. Համաձայն էյնթոլենի սրտի ինտեգրալային էլեկտրական  $D$  վեկտորը՝

1) սրտի տարբեր տեղամասերի հոսանքի դիպոլների հանրահաշվական գումարն է

2) սրտի տարբեր տեղամասերի հոսանքի դիպոլների վեկտորական գումարն է

3) համասեռ, հաղորդիչ միջավայրում է

4) ժամանակի ընթացքում փոփոխվում է մեծությամբ և ուղղությամբ

ա) միայն 1,3,4      բ) միայն 2,3,4      գ) միայն 2,4      դ) միայն 3,4

**8. Համաձայն էյնթոլենի սրտի ինտեգրալային էլեկտրական D վեկտորը՝**

- 1) ժամանակի ընթացքում փոխվում է միայն մեծությամբ
- 2) հաստատուն մեծություն է
- 3) սկզբնակետը ատրիովենտրիկուլյար հանգույցում է և ժամանակի ընթացքում չի փոխվում

- 4) ժամանակի ընթացքում փոփոխվում է ն՛ մեծությամբ, ն՛ ուղղությամբ
- ա) միայն 1,3      բ) միայն 3,4      գ) միայն 2,4      դ) միայն 1,4

**9. Ո՞րն է էլեկտրաստատագրության ժամանակ ուսումնասիրվող պոտենցիալների տարբերությունը.**

- ա)  $0,001 \div 0,05 \text{Սի}$       բ)  $10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-2} \text{Սի}$ ,      գ)  $0,1 - 5 \text{Սի}$ ,      դ)  $0,5 - 1 \text{ի}$

**10. Ո՞րն է էլեկտրատղեղագրության ժամանակ ուսումնասիրվող պոտենցիալների տարբերությունը.**

- ա)  $10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-2} \text{Սի}$ ,      բ)  $0,1 - 5 \text{Սի}$       գ)  $0,5 - 1 \text{ի}$ ,      դ) բոլորը սխալ են

**11. էլեկտրատղեղագիրը՝**

- ա) ուղեղի մակերևույթի տարբեր տեղամասերի միջև պոտենցիալների տարբերության ժամանակային կախվածությունների գրաֆիկն է
- բ) գլխի մակերևույթի տարբեր տեղամասերի միջև պոտենցիալների տարբերության ժամանակային կախվածությունների գրաֆիկն է
- գ) ուղեղի մակերևույթի տարբեր տեղամասերի պոտենցիալների ժամանակային կախվածությունների գրաֆիկն է
- դ) գլխի մակերևույթի տարբեր տեղամասերի պոտենցիալների ժամանակային կախվածությունների գրաֆիկն է

**12. Ի՞նչ տիրույթում են սրտի տարբեր մասերում տարածվող գրգռման ալիքների երկարությունները.**

- 1) սանտիմետրային,    2) մետրային,    3) դեցիմետրային,    4) միլիմետրային
- ա) բոլորը ճիշտ են    բ) միայն 1,2    գ) միայն 3,4    դ) միայն 1,4

**13. Ինչի՞նչ է հավասար հոսանքի կետային դիպոլի էլեկտրական դաշտի պոտենցիալը դիպոլային մոմենտի ուղղությամբ որևէ A կետում, որը դրական բևեռից գտնվում է r հեռավորության վրա է**

- ա) 0,      բ)  $\varphi = \frac{\rho d}{4\pi r^2}$ ,      գ) գոյություն չունի,      դ)  $\varphi = \frac{\rho d}{4\pi r}$

**14. Հետևյալ բանաձևերից որո՞նք են վերաբերվում Օհմի օրենքին.**

- 1)  $I = \frac{U}{R}$       2)  $\varepsilon = I(R + r)$       3)  $j = -\frac{1}{\rho} \frac{d\varphi}{dr}$       4)  $\frac{d\varphi}{dr} = -\rho j$

- ա) միայն 1,2      բ) միայն 1,3,4      գ) միայն 1,2,3      դ) բոլորը

**15. Շատ էյնթոլենի մոդելի՝ ինչպիսի՞ միջավայրում է գտնվում ՄԻԷՎ-ը .**

- 1) իզոտրոպ,    2) վերջավոր,    3) անվերջ,    4) համասեռ
- ա) միայն 1,2,4    բ) միայն 1,3,4    գ) միայն 1,2    դ) միայն 1,4

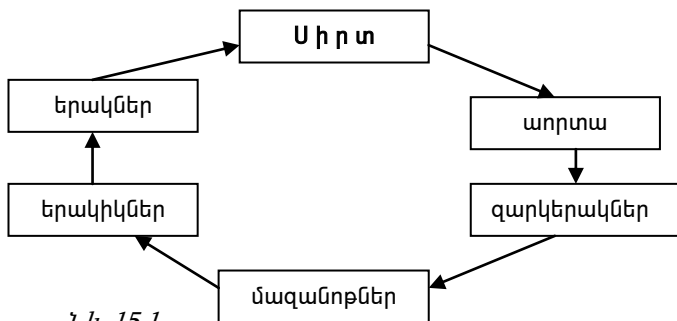
**Պատասխաններ**

- 1.բ 2.գ 3.ա 4.ա 5.դ 6.գ 7.բ 8.բ 9.գ  
 10.ա 11.բ 12.դ 13.բ 14.դ 15.բ:

### 15. ԱՐՅԱՆ ՇՐՋԱՆԱՌՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԵՆՍԱՏԻՉԻԿԱ

(Յու. Բարայան, Շ. Մնգրյան)

Արյունատար անոթային համակարգը փակ համակարգ է՝ կազմված տարբեր տրամագծերով ( $10^{-4}$ սմ-2սմ) միլիոնավոր անոթներից: Միրտ անոթային համակարգը սխեմատիկորեն ներկայացված է նկար 15.1-ում:



Նկ. 15.1.

Միրտ-անոթային համակարգի հիմնական ֆունկցիան անոթներով արյան անընդհատ շարժման ապահովումն է: Միրտ-անոթային համակարգը փակ համակարգ է, որի անընդհատ գործունեության համար անհրաժեշտ է պարբերական գործող պոմպ, որը կենսահամակարգերում սիրտն է: Սրտի կողմից պարբերաբար դեպի աորտա մղվող արյունը հոսում է արյունատար համակարգով դեպի փոքր անոթներ, այնուհետև՝ դեպի ավելի մեծ արյունատար անոթներ: Արյան շրջանառության պրոցեսում կատարվում են տարբեր ֆիզիկական երևույթներ, որոնց նկարագրության համար կիրառվում են տարբեր ֆիզիկական, անալոգային և մաթեմատիկական մոդելներ:

Արյան հոսքը ուսումնասիրվում է ոչ միայն նորմալ ֆիզիոլոգիական վիճակում, այլև սիրտ-անոթային համակարգի տարբեր պաթոլոգիաների դեպքում: Մասնավորապես արյան անոթների նեղացման (թրոմբի առաջացում), էլաստիկության նվազման, արյան մածուցիկության փոփոխության և այլ իրավիճակներում:

Արյան հոսքի հեմոդինամիկական ցուցանիշները որոշվում են ամբողջ սիրտ-անոթային համակարգի պարամետրերով՝

ա) սրտի գործունեության սեփական բնութագրերով (օրինակ՝ արյան հարվածային ծավալ),

բ) անոթների կառուցվածքային առանձնահատկություններով (դրանց շառավղով և էլաստիկությամբ),

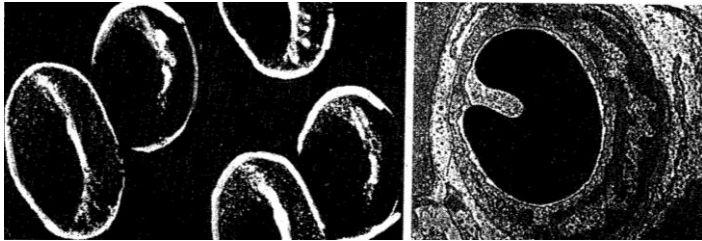
գ) արյան հատկություններով (մածուցիկությամբ) և այլն:

**Արյան հոսքը խոշոր (աորտա, զարկերակ), փոքր և միկրո (մազական) անոթներով**

Արյունը ոչ նյութոսնյան հեղուկ է, ինչը հիմնականում պայմանավորված է ներքին կառուցվածքով: Այն ձևավոր տարրերի սուսպենզիա է, որի 54%-ը կազմում է արյան պլազման: Արյան պլազման գործնականում նյութոսնյան հեղուկ է: Քանի որ ձևավոր տարրերի 93%-ը կազմում են էրիթրոցիտները, ուստի պարզեցված դիտարկման դեպքում արյունը կարելի է համարել ֆիզիոլոգիական լուծույթում էրիթրոցիտների սուսպենզիա:



Նկար 15.2.



**Էրիթրոցիտ**

ների բնութագրական հատկություններից է ագրեգատներ առաջացնելու հակումը: Արյան քսուքը մանրադիտակով զննելիս կարելի է տեսնել՝ ինչպես են էրիթրոցիտները միավորվում՝ առաջացնելով ագրեգատներ, որոնք ստացել են մետաղադրամային սյուներ անվանումը: Խոշոր և փոքր անոթներում ագրեգատների առաջացման պայմանները տարբեր են: Դա առաջին հերթին կապված է անոթների, ագրեգատների և էրիթրոցիտների չափերի փոխհարաբերության հետ. ( $d_{տն} \approx 8մկմ$ ,  $d_{ազր.} \approx 10d_{տն}$ ):

Արյան անոթի տարբեր տեղամասերում էրիթրոցիտների կառուցվածքները սխեմատիկորեն ներկայացված են նկար 15.2-ում:

**1. Խոշոր անոթներ (աորտա, զարկերակ).  $d_{աճ.} > d_{ազր.}$ ;  $d_{աճ.} \gg d_{տն}$ .**

Այն դեպքում, երբ արագության գրադիենտը մեծ չէ, էրիթրոցիտները հավաքվում են մետաղադրամային սյուների տեսքի ագրեգատներում, որի դեպքում արյան մածուցիկությունը  $\eta = 0,05 \text{ ää} \delta^{3/2}$  է:

**2. Փոքր անոթներ (փոքր զարկերակներ, երակիկներ).**  $d_{\text{ան.}} \approx d_{\text{ազո.}}$  ;

$$d_{\text{ան.}} = (5 - 20)d_{\text{եր.}}$$

Փոքր անոթներում արագության գրադիենտը մեծ է, և ագրեգատները տրոհվում են առանձին էրիթրոցիտների, փոքրանում է համակարգի մածուցիկությունը: Այդ համակարգի համար որքան փոքր է անոթի կտրվածքի տրամագիծը, այնքան փոքր է արյան մածուցիկությունը: Մոտ 5 $d_{\text{եր.}}$  տրամագծով անոթներում արյան մածուցիկությունը կազմում է խոշոր անոթներում արյան մածուցիկության մոտավորապես 2/3-ը:

**3. Միկրոանոթներ (մազանոթներ)**  $d_{\text{ան.}} < d_{\text{եր.}}$

Անոթներում էրիթրոցիտները հեշտությամբ դեֆորմացվում են՝ ընդունելով պտտման էլիպսոիդի տեսք, և առանց տրոհվելու անցնում են անգամ 3 մկմ տրամագծի մազանոթներով: Արդյունքում էրիթրոցիտների մազանոթների պատերի հետ հպման մակերևույթը մեծանում է համեմատած չդեֆորմացված էրիթրոցիտների՝ նպաստելով նյութափոխանակման պրոցեսներին:

Եթե ենթադրենք, որ 1-ին և 2-րդ դեպքերում էրիթրոցիտները չեն դեֆորմացվում, ապա համակարգի մածուցիկության փոփոխությունը նկարագրման համար կարելի է կիրառել  $\eta = \eta_0(1 + kc)$  բանաձևը:

Միկրոանոթներում պրոցեսները նկարագրելու համար վերոհիշյալ բանաձևը կիրառելի չէ, քանի որ այդ դեպքում մասնիկների ամրության և միջավայրի համասեռության պահանջները չեն պահպանվում:

Այսպիսով, արյան ներքին կառուցվածքը, ինչպես նաև մածուցիկությունը արյունատար անոթի երկայնքով նույնը չեն: Արյունը ոչ նյութոսնյան հեղուկ է, հետևաբար ներքին շփման ուժը արագության գրադիենտից կախված է ոչ գծայնորեն:

Խոշոր և փոքր անոթներում արյան տարբեր մածուցիկությունները պայմանավորված են ագրեգատներով ( $k_{\text{ազո.}}$ ) և էրիթրոցիտներից ( $k_{\text{եր.}}$ ) բաղկացած համակարգերի երկրաչափական ձևի գործոնի տարբերությամբ՝  $k_{\text{ազո.}} \neq k_{\text{եր.}}$  :

Մածուցիկությունը, որը բնորոշ է խոշոր անոթներով հոսող արյանը, նորմալ ֆիզիոլոգիական վիճակում կազմում է  $\eta_{\text{առ.}} = (4.2 - 6)\eta_{\text{զուր.}}$ , անեմիայի ժամանակ՝  $\eta_{\text{անեմ.}} = (2 - 3)\eta_{\text{զուր.}}$ , պոլիցիտեմիայի ժամանակ  $\eta_{\text{պոլ.}} = 12\eta_{\text{զուր.}}$ , արյան պլազմայի մածուցիկությունը կազմում է  $\eta_{\text{պլ.}} \cong 1,2\eta_{\text{զուր.}}$ : Նշենք, որ ջրի մածուցիկությունը  $\eta_{\text{ջուր.}} = 0,01\text{Պուազ է}$ :

Ինչպես ցանկացած հեղուկի, այնպես էլ արյան մածուցիկությունը մեծանում է ջերմաստիճանը իջեցնելու դեպքում: Օրինակ՝ ջերմաստիճանը 37°-ից մինչև 17° փոքրացնելիս արյան մածուցիկությունը 10%-ով աճում է:

**Հեմոդինամիկայի հիմնական օրենքները**

Հեմոդինամիկան կենսամեխանիկայի բաժիններից է, որն ուսումնասիրում է արյան շարժման օրենքները արյունատար անոթներով: Հեմոդինամիկայի խնդիրն է հաստատել փոխադարձ կապ՝ հիմնական հեմոդինամիկական պարամետրերի միջև, ինչպես նաև պարզաբանել դրանց կախվածությունը՝ արյան և արյունատար անոթների պարամետրերից: Հիմնական հեմոդինամիկական պարամետրերն են ճնշումը և արյան հոսքի արագությունը: Արյան ճնշումն անոթների միավոր մակերեսի վրա ազդող ճնշման ուժն է՝  $P = \frac{F}{S}$ :

Տարբերվում են արյան հոսքի ծավալային և գծային արագություններ: Ծավալային արագություն (Q) անվանում են այն մեծությունը, որը թվապես հավասար է տվյալ խողովակի լայնական հատույթով միավոր ժամանակամիջոցում հոսող հեղուկի ծավալին.

$$Q = \frac{V}{t} (V^3 / t) : \tag{15.1.}$$

Գծային արագությունը միավոր ժամանակում արյան մասնիկների կողմից անցած ճանապարհն է:

$$V = \frac{l}{t} (l / t) \tag{15.2.}$$

Քանի որ գծային արագությունը նույնը չէ խողովակի կտրվածքով, ուստի հետագայում խոսքը կվերաբերի միայն միջին գծային արագությանը:

Գծային և ծավալային արագությունները կապված են պարզ կապով՝  $Q = V \cdot S$ , որտեղ  $S$  -ը հեղուկի հոսքի լայնական հատույթի մակերեսն է:

Քանի որ հեղուկը անսեղմելի է (այսինքն՝ նրա խտությունը բոլոր տեղերում նույնն է), ուստի խողովակի ցանկացած կտրվածքով միավոր ժամանակամիջոցում կհոսեն միևնույն ծավալներով հեղուկներ.

$$Q = VS = const : \tag{15.3.}$$

(15.3)-ը բխում է անսեղմելի հեղուկի համար զանգվածի պահպանման օրենքից: Անոթներով արյան հոսքի ֆիզիկական օրենքների նկարագրման ժամանակ ենթադրվում է, որ շրջանառությանը մասնակցող արյան քանակը օրգանիզմում հաստատուն է:

Այստեղից հետևում է, որ արյան հոսքի ծավալային արագությունը անօթային համակարգի ցանկացած կտրվածքով նույնպես հաստատուն է՝

$$Q = const :$$

Իրական հեղուկներում, խողովակներով հավասարաչափ շարժման դեպքում պոտենցիալ էներգիան ծախսվում է ներքին շփումը հաղթահարելու համար, դրա պատճառով հեղուկի ճնշումը խողովակի երկայնքով ընկնում է: Հաստատուն կտրվածքով գլանաձև խողովակում իրական հեղուկի ստացիոնար լամինար հոսքի համար ճիշտ է Պուազեյլի բանաձևը.

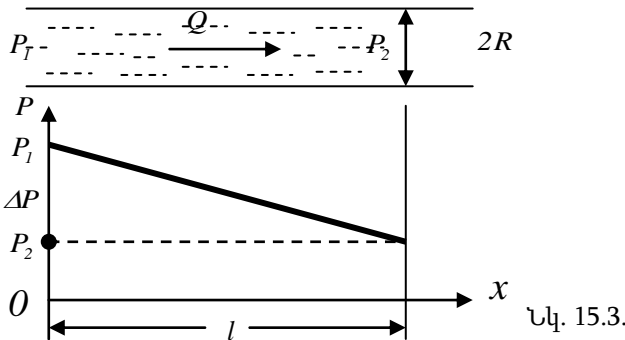
$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8\eta l} , \quad (15.4.)$$

որտեղ  $\Delta P = P_1 - P_2$  ճնշման անկումն է, այսինքն՝ ճնշումների տարբերությունը խողովակի մուտքում ( $P_1$ ) և նրանից դուրս ( $P_2$ )  $l$  հեռավորության վրա:

(15.4.) բանաձևից հաշվենք  $\Delta P$ -ն՝

$$\Delta P = \frac{8Q\eta}{\pi R^4} \cdot l : \quad (15.5.)$$

(15.5.) բանաձևից հետևում է, որ  $\Delta P$  ճնշումների տարբերությունը գծային օրենքով կախում ունի  $l$ -ից (նկար 15.3.).



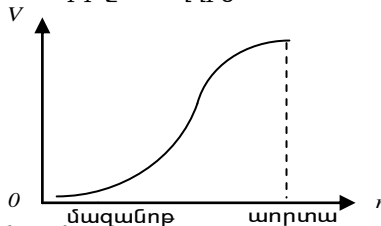
Դիտարկենք արյունատար անոթների համակարգի տարբեր մասերի հեմոդինամիկական բնութագրերը:

**Հիդրավիկ դիմադրություն:** (15.5.) բանաձևը կարելի է ներկայացնել  $\Delta P = QW$  տեսքով, որտեղ

$$W = \frac{8\eta l}{\pi R^4}, \quad (15.6.)$$

որը անոթների հիդրավլիկ դիմադրությունն է: Արյունատար տարբեր անոթների շառավիղները հարաբերում են, ինչպես  $R_{արտա} : R_{գարկ.} : R_{մագ.} = 3000 : 500 : 1$ : (15.6.) բանաձևից հետևում է, որ  $W \sim \frac{1}{R^4}$ , հետևաբար  $W_{մագ.} > W_{գարկ.} > W_{արտա}$ :

**Արյան հոսքի գծային արագությունը:** Դիտարկենք անսեղմելի հեղուկի համար զանգվածի պահպանման օրենքի հիման վրա գրված (15.3.) հավասարումը: Բոլոր մագանոթների գումարային լայնական հատույթների մակերեսը 500-600 անգամ գերազանցում է արտադի լայնական հատույթի մակերեսը: (15.3.) հավասարումից հետևում է, որ  $V_{մագ.} \approx \frac{1}{500} V_{արտա}$ : Մագանոթներով արյան շատ դանդաղ հոսքի շնորհիվ է, որ արյան և մագանոթների պատերի միջև կատարվում է նյութափոխանակություն: Նկար 15.4-ում պատկերված է արյան գծային արագության կախումը արյան անոթի շառավիղից:



Նկ. 15.4.

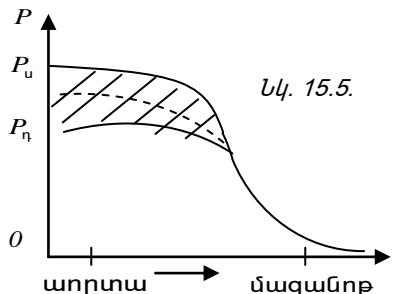
**Միջին ճնշման բաշխումը:** Արյունատար համակարգում սրտի կծկման ժամանակ արտադի պահպանվում է արյան որոշակի միջին ճնշում: Հաշվենք միջին ճնշումը սրտի կծկման մեկ պարբերության ընթացքում.

$$P_{\text{ուց.}} \approx P_r + \frac{P_g - P_r}{3} = \frac{3P_r + P_g - P_r}{3} = \frac{P_g + 2P_r}{3}:$$

Անոթների երկայնքով արյան ճնշման անկումը կարելի է նկարագրել Պուազելի բանաձևով: Միտքը արյունը մղում է  $P_{\text{ուց.}}$  ճնշումով: Քանի որ  $Q = \text{const}$  և  $W_{մագ.} > W_{գարկ.} > W_{արտա}$ , ուստի

$$\Delta P = QW \text{ բանաձևից հետևում է, որ } \Delta P_{մագ.} > \Delta P_{գարկ.} > \Delta P_{արտա}:$$

Հաշվումները վկայում են, որ մեծ անոթներում միջին ճնշումը նվազում է 15%-ով, իսկ մագանոթներում՝ 85%-ով, որը նշանակում է, որ արյան



Նկ. 15.5.



մղման վրա ծախսված էներգիան հիմնականում բաժին է ընկնում մագնոթներով արյան հոսքի վրա: Արյան ճնշման բաշխումը արյունատար անոթների համակարգում պատկերված է նկար 15.5-ում:

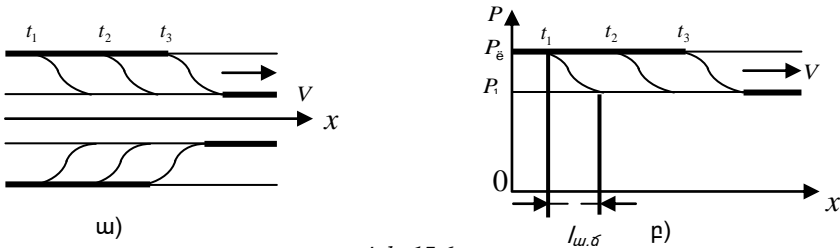
**Արյան հոսքը էլաստիկ (ճկուն) անոթներով: Անոթազարկային ալիք, նրա տարածման արագությունը**

Մրտամկանի կծկման (սիստոլա) ժամանակ արյունը սրտից մղվում է դեպի աորտա և զարկերակներ: Անոթների առաձգականության շնորհիվ դրանք լայնանում են՝ կուտակելով ավելի շատ արյուն: Նորմայում մարդու սիստոլիկ ճնշումը  $\sim 164 \text{ Պա}$  է: Մրտի թուլացման (դիաստոլա) ժամանակ ձգված արյունատար անոթները թուլանում են, դրանց պոտենցիալ էներգիան փոխակերպվում է արյան հոսքի կինետիկ էներգիայի՝ ապահովելով  $\sim 114 \text{ Պա}$  դիաստոլիկ ճնշում: Աորտայով և զարկերակներով տարածվում է ալիք՝ պայմանավորված ծավալի, ճնշման և հոսքի արագության տատանումներով, որը կոչվում է անոթազարկային ալիք:

**Անոթազարկային ալիք** է կոչվում էլաստիկ անոթների երկայնքով ճնշման և հեղուկի զանգվածի միաժամանակյա փոփոխության արդյունքում ծավալի փոփոխման տարածման պրոցեսը:

Նկար 15.6. ա-ում բերված են անոթի ծավալի փոփոխությունները ժամանակի մի քանի հաջորդական պահերի համար՝  $t_1 < t_2 < t_3$ :

Դիտարկենք անոթազարկային ալիքի բնութագրերը: Անոթազարկային ալիքի  $P_0(x)$  լայնույթ կանվանենք անոթի տվյալ կետում մաքսիմալ և մինիմալ ճնշումների տարբերությունը: Սկզբում աորտայում ալիքի  $P_{0,max}$  լայնույթը հավասար է սիստոլիկ և դիաստոլիկ ճնշումների տարբերությանը  $P_{0,max} = P_u - P_n$  (նկար 15.6.բ, որտեղ  $l_{ու.ճ}$ -ը *առաջնային ճակատի բնութագրական հեռավորությունն է*): Ընդգծված տեղամասը խոշոր անոթներում ճնշման փոփոխության միջակայքն է՝ կախված նրանցում տարածվող անոթազարկային ալիքից:



Նկ. 15.6.

Անոթագարկային ալիքի մարումը անոթի երկայնքով նրա տարածման ժամանակ կարելի է ներկայացնել հետևյալ կախվածությամբ.

$$P_0(x) = P_{0,max} \cdot e^{-\beta x},$$

որտեղ  $\beta$ -ն մարման գործակիցն է, որը շառավղի փոքրացման հետ մեծանում է:

Անոթագարկային ալիքի տարածման արագությունը կախված է անոթի և արյան հատկություններից՝

$$V_q = \sqrt{\frac{Eh}{2r\rho}}, \quad (15.7.)$$

որտեղ  $E$ -ն անոթի պատի նյութի Յունգ մոդուլն է,  $h$ -ը՝ պատի հաստությունը,  $r$ -ը անոթի ներսի լայնական հաստության կտրվածքի շառավիղն է,  $\rho$ -ն՝ արյան խտությունը: (15.7.) բանաձևը առաջին անգամ դուրս է բերվել անգլիացի հայտնի գիտնական Յունգի՝ արյան շրջանառության դասական տեսության հեղինակի կողմից: Նա ամբողջ կյանքում զբաղվել է երկու մասնագիտություններով՝ բժշկությամբ և ֆիզիկայով:

Անոթագարկային ալիքի արագությունը, որը որոշվել է փորձնականորեն, կազմում է  $V_q = (5-10) \text{մ/վ}$ , որը 20-30 անգամ մեծ է, քան արյան մասնիկների շարժման արագությունը՝  $V_{\text{ար.}} = (0,3-0,5) \text{մ/վ}$ : Փորոքներից արյան դուրս մղման (սիստոլայի) ժամանակի ընթացքում  $t_u = 0,3 \text{վ}$  զարկերակային ալիքը հասցնում է տարածվել  $L_q = V_q \cdot t_u \approx 1,5 \div 3 \text{մ}$  հեռավորություն, որը կրնդգրկի բոլոր խոշոր անոթները՝ աորտան և զարկերակները: Անոթագարկային ալիքի արագության փորձնական որոշումը ընկած է անոթների ախտորոշման հիմքում:

Տարիքի հետ  $E$  մեծությունն աճում է 2-3 անգամ, հետևաբար մեծանում է նաև անոթագարկային ալիքի տարածման արագությունը:

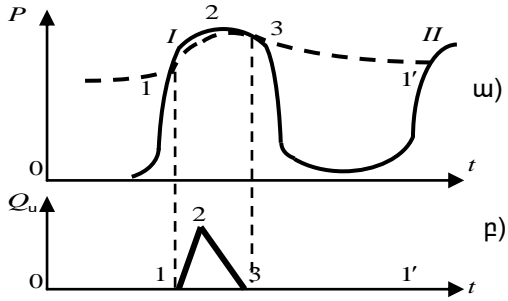
Անոթագարկային ալիքի հետ մեկտեղ արյունատար համակարգում կարող են տարածվել նաև ձայնային ալիքներ, որոնց արագությունը շատ մեծ է արյան մասնիկների շարժման արագության և զարկերակային ալիքի արագության համեմատությամբ: Այսպիսով, արյունատար համակարգում կարելի է առանձնացնել շարժման 3 հիմնական պրոցեսներ՝

1. արյան մասնիկների տեղափոխություն ( $V_{\text{ար.}} \approx 0,5 \text{մ/վ}$ ),
2. անոթագարկային ալիքի տարածում ( $V_q \approx 10 \text{մ/վ}$ ),
3. ձայնային ալիքի տարածում ( $V_{\delta} \approx 1500 \text{մ/վ}$ ),

**Ֆրանկի մոդելը**

1899թ. գերմանացի ֆիզիոլոգ Ֆրանկն առաջարկեց արյան շրջանառության մոդել, որի համաձայն՝ զարկերակները պահեստավորում են արյունը սիստոլայի ընթացքում և արտամղում են այն դեպի փոքր անոթներ դիաստոլայի ընթացքում:

Հաշվենք հեմոդինամիկական մեծությունների փոփոխությունը (օրինակ՝ ճնշման) ժամանակի ընթացքում խոշոր անոթի (աորտա) որևէ  $x$  կետում: Նկար 15.7.-ում սխեմատիկորեն ներկայացված են ձախ փորոքի խոռոչում և աորտայում ճնշման փոփոխությունների փորձարարական տվյալները, ինչպես նաև սրտից աորտա մղված արյան  $Q_u$  ծավալային արագությունը: Ինչպես երևում է նկարից,  $P$  ճնշումը փոխվում է ոչ գծային օրենքով:



Նկար 15.7. ա-ում ընդհատ գիծը ցույց է տալիս արյան  $P$  ճնշումն աորտայում, հոծ գիծը՝ սրտի ձախ փորոքում, նկ. 15.7 բ-ում՝ սրտից աորտա մղված  $Q_u$  արյան ծավալային արագությունը սիստոլայի ժամանակ: **I** կորը համապատասխանում է առաջին կծկմանը, **II**-ը՝ պրոցեսի կրկնությանը: 1 և 1' կետերը համապատասխանում են աորտալ փականի բացմանը, 3-րդ կետը՝ նրա փակմանը, 2-րդ կետը՝ ժամանակի այն պահը, երբ  $Q_u$ -ն հասնում է առավելագույն արժեքին:

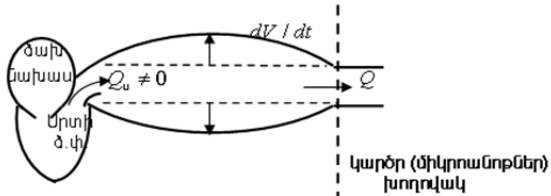
Դիտարկման հարմարավետության համար առանձնացնենք արյան հոսքի երկու փուլ (սրտի ձախ փորոքից խոշոր անոթներ, խոշոր անոթներից -փոքր անոթներ (նկար 15.8.)):

1-ին փուլը այն փուլն է, երբ բացվում է աորտալ փականը, և սրտից աորտա է ներհոսում արյուն, մինչև փականի փակումը: Արյան ներհոսքի ժամանակ խոշոր անոթների պատերը լայնանում են դրանց առաձգականության շնորհիվ, արյան մի մասը պահեստավորվում է խոշոր անոթներում, մյուս մասն անցնում է դեպի փոքր անոթներ:

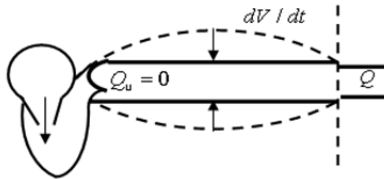
2-րդը այն փուլն է, երբ աորտալ փականը փակված է, և արյունը մեծ անոթներից մղվում է դեպի փոքր անոթներ: Այդ փուլում մեծ անոթների

Էլաստիկ անոթ (խոշոր անոթներ)

1-փուլը. Աորտալ փականը բաց է  $Q_u \neq 0$



2-փուլը. Աորտալ փականը փակ է  $Q_u = 0$



Նկ. 15.8

պատերը առաձգականության շնորհիվ հետ են գալիս նախնական դիրքի՝ արյունը մղելով դեպի միկրոանոթներ:

**Ֆրանկի մոդելում կատարված են հետևյալ ենթադրությունները.**

1. Բոլոր խոշոր անոթները միավորված են մեկ էլաստիկ անոթում (ռեզերվուարում), որի ծավալը համեմատական է ճնշմանը: Նրանք, հետեւյալս ն ռեզերվուարը օժտված են մեծ էլաստիկությամբ: Անոթի հիդրավիկ դիմադրությունը անտեսվում է:
2. Միկրոանոթային համակարգը կոշտ խողովակ է: Կոշտ խողովակի հիդրավիկ դիմադրությունը մեծ է, իսկ փոքր անոթների էլաստիկությունը անտեսվում է:
3. Անոթների յուրաքանչյուր խմբի համար էլաստիկությունը և դիմադրությունը հաստատուն են տարածության մեջ ժամանակի ընթացքում:
4. Չեն քննարկվում արյան շարժման հաստատման ընթացիկ պրոցեսները:

5. Գոյություն ունի աորտալ փականի փակման և բացման քներքին մեխանիզմ, որը պայմանավորված է սրտի ակտիվ գործունեությամբ:

Նկարագրենք I փուլի ընթացքում կատարվող պրոցեսները: Էլաստիկ ռեզերվուարի ծավալի փոփոխման  $\frac{dV}{dt}$  արագությունը հավասար է սրտից այնտեղ մղված արյան  $Q_u$  հոսքի և միկրոանոթային համակարգ արտահոսած  $Q$  արագությունների տարբերությանը.

$$\frac{dV}{dt} = Q_u - Q, \quad (15.8.)$$

որտեղ  $dV$  -ն խոշոր անոթների ծավալի փոփոխությունն է:

Ենթադրենք, թե ռեզերվուարի ծավալի փոփոխությունը գծայնորեն կախում ունի նրանում արյան ճնշման փոփոխությունից՝

$$dV = CdP \quad \frac{dV}{dt} = C \frac{dP}{dt}, \quad (15.9.)$$

որտեղ  $C$ -ն համեմատականության գործակից է (էլաստիկություն)  $C \sim \frac{I}{E}$  ( $E$ -ն Յունգի մոդուլն է):

Օգտագործելով կոշտ խողովակով արյան հոսքի համար Պուազեյլի օրենքը՝ կստանանք

$$Q = \frac{P - P_{\text{տլր}}}{W}, \quad (15.10.)$$

որտեղ  $P$ -ն ճնշումն է խոշոր անոթներում,  $P_{\text{տլր}}$ -ը՝ ճնշումը փոքր (կոշտ) անոթների ելքի վրա,  $W$ -ն փոքր անոթների հիդրավլիկ դիմադրությունն է:

Բոլոր հավասարումներում  $P$  ասելով՝ հասկանում ենք հավելորդային ճնշումը (իրական և մթնոլորտային ճնշումների միջև տարբերությունը): (15.8.), (15.9.), (15.10.) հավասարումների համակարգը կարելի է լուծել  $P(t)$ ,  $Q(t)$  կամ  $V(t)$  փոփոխական մեծությունների նկատմամբ: Լուծենք համակարգը  $P(t)$ -ի նկատմամբ: Կստանանք՝

$$\frac{dP}{dt} + \frac{P}{WC} = \frac{Q_u}{C} + \frac{P_{\text{տլր}}}{WC}: \quad (15.11.)$$

(15.11.)-ը անհամասեռ գծային դիֆերենցիալ հավասարում է, որի լուծումը կախված է  $Q_u(t)$  տեսքից: Դիֆերենցիալ հավասարումների տեսությունից ընդհանուր լուծումը կգրվի.

$$P(t) = e^{-\frac{t}{WC}} \left[ \frac{1}{C} \int \left( Q_u + \frac{P_{\text{տլր}}}{W} \right) \cdot e^{\frac{t}{WC}} dt + k \right], \quad (15.12.)$$

որտեղ  $k$ -ն որոշվում է սկզբնական պայմաններից,

Քննարկենք (15.8.), (15.9.) և (15.10.) հավասարումների լուծումը որոշ մոտավորությունների դեպքում: Քանի որ  $P_{\text{տլր}} \ll P$ , ուստի (15.10.) հավասարման մեջ ընդունենք  $P_{\text{տլր}} = 0$ , հետևաբար՝

$$Q = \frac{P}{W}$$

և (15.8.) հավասարումը կգրվի

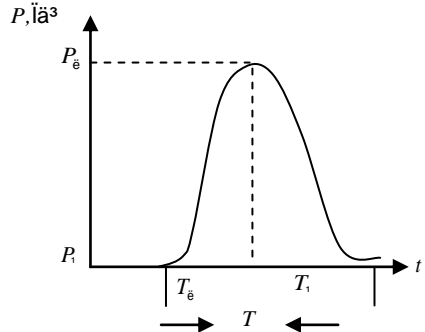
$$\frac{dV}{dt} = Q_u - \frac{P}{W} \quad \frac{CdP}{dt} + \frac{P}{W} = Q_u, \quad (15.13.)$$

Ինտեգրենք (15.13.) հավասարումը սրտի կծկման մեկ պարբերության ժամանակամիջոցի համար (0-ից T).

$$\int_0^T Q_u. dt = C \int_R^R dP + \frac{I}{W} \int_0^T P dt \quad (15.14.)$$

(մեկ պարբերության ընթացքում ճնշումը փոխվում է նույն չափով)՝

$$\int_0^T Q_u. dt = \frac{I}{W} \int_0^T P dt : \quad (15.15.)$$



Նկ. 15.9.

$\int_0^T Q_u. (t) dt$  ինտեգրալը թվապես հավասար է սրտի մեկ կծկման ընթացքում մղված արյան ծավալին, որը կարելի է հաշվել փորձով:

$\int_0^T P dt$  ինտեգրալը թվապես հավասար է  $P(t)$  գրաֆիկով սահմանափակված պատկերի մակերեսին սրտի մեկ պարբերության ընթացքում (նկար 15.9), որը նույնպես կարելի է որոշել: Հետևաբար, ունենալով (15.15.) բանաձևի ինտեգրալների արժեքը՝ կարելի է հաշվել արյան շրջանառության պերիֆերիկ մասի հիդրավլիկ դիմադրությունը (W):

**Երկրորդ փուլի նկարագրությունը:** 2-րդ փուլը սկսվում է աորտալ փականի փակման պահից: Ֆրանկի մոդելը հնարավորություն է տալիս որոշելու մեծ անոթում  $P(t)$  ճնշման անկման կախվածությունը աորտալ փականի փակվելուց հետո: Քանի որ արդեն արյուն չի մղվում սրտից աորտա, ուստի  $Q_{\epsilon} = 0$ : Այդ դեպքում (15.8.) հավասարումը կգրվի հետևյալ կերպ.

$$-Q dt = dV :$$

Մինուս նշանը ցույց է տալիս մեծ անոթի ծավալի փոքրացում ժամանակի ընթացքում: Հաշվի առնելով (15.9.)-ը կարող ենք գրել.

$$Q = -C \frac{dP}{dt} :$$

(15.10.)-ի մեջ նկատի ունենալով, որ  $P_{\gg \epsilon} = 0$  (մագնությունների էլքում ճնշումը շատ ավելի փոքր է, քան անոթներում)՝ կստանանք.

$$0 = C \frac{dP}{dt} + \frac{P}{W} : \quad (15.16.)$$

Բնտեղրենք (15.16.) հավասարումը, նկատի ունենալով, որ երբ  $t = 0$  (որը համապատասխանում է փականի փակմանը), ընդունում ենք, որ  $P = P_{\text{թ}}$ : Արդյունքում ստանում ենք խոշոր անոթներում ճնշման փոփոխության օրենքը առտալ փականի փակման պահից սկսած.

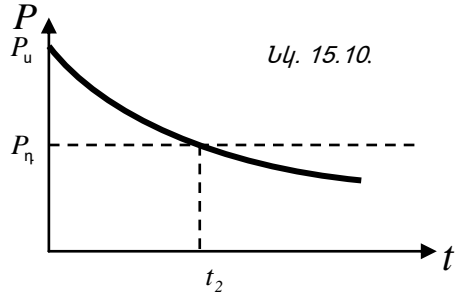
$$P(t) = P_{\text{թ}} \cdot e^{-t/WC} \quad (15.17.)$$

(15.17.)-ից հետևում է, որ  $P$ -ն ժամանակի ընթացքում նվազում է էքսպոնենցիալ օրենքով:

Գրաֆիկորեն օրենքը պատկերված է նկար 15.10-ում:

Որոշ ժամանակ անց ( $t_2$ ) ճնշումը կրնկնի մինչև դիաստոլիկ, որը կորոշվի հետևյալ բանաձևով՝

$$P_1 = P_{\text{թ}} \cdot e^{-t_2/WC} :$$



Դրանից հետո բացվում է փականը, այսինքն՝ ավարտվում է 2-րդ փուլը, և սկսվում է առաջինը:

**Մրտի աշխատանքը և հզորությունը**

Մրտի կողմից կատարված աշխատանքը ուղղված է ճնշման ուժերի հաղթահարմանը և արյան որոշ զանգվածին կինետիկ էներգիա հաղորդելուն:

Հաշվենք ձախ փորոքի մեկ կծկման ժամանակ կատարված աշխատանքը:  $V_0$ -ով նշանակենք սրտի մեկ կծկման ժամանակ ձախ փորոքից մղված արյան ծավալը: Ենթադրենք արյունը մղվում է  $P$  միջին ճնշման ազդեցությամբ, որի դեպքում առտայի  $S$  լայնական հատույթով այն տեղափոխվում է  $l$  չափով: Կատարված աշխատանքը հավասար կլինի՝

$$A_1 = Fl = PSl = PV_0 :$$

Արյան այդ քանակին կինետիկ էներգիա հաղորդելու համար կատարվում է այնպիսի աշխատանք, որը հավասար է՝

$$A_2 = \frac{mV^2}{2} = \frac{\rho V_0 V^2}{2} ,$$

որտեղ  $\rho$ -ն արյան խտությունն է,  $V$ -ն՝ արագությունը առտայում: Հետևաբար, մեկ կծկման ժամանակ ձախ փորոքի կատարած աշխատանքի համար կստանանք՝

$$A_0 = A_1 + A_2 = PV_0 + \frac{\rho V_0 V^2}{2} :$$

Աջ փորոքի կատարած աշխատանքը կազմում է ձախ փորոքի կատարած աշխատանքի 0,2 մասը, հետևաբար մեկ կծկման ժամանակ սրտի կատարած աշխատանքը կլինի՝

$$A = A_0 + A_s = A_0 + 0,2A_0 = 1,2 \left( PV_0 + \frac{\rho V_0 V^2}{2} \right) : \quad (15.18.)$$

(15.18.) բանաձևը ճիշտ է սրտի հանգիստ և ակտիվ գործունեության ժամանակ: Բանաձևի մեջ տեղադրենք  $P = 16 \text{ ԿՊա}$ ,  $V_0 \cong 60 \text{ ՍՋ} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ Մ}^3$ ,  $\rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ Կգ/մ}^3$ ,  $V = 0,5 \text{ Ս/վ}$ , ապա կատանանք հանգիստ վիճակում սրտի կծկման ժամանակ կատարած աշխատանքը՝  $A \approx 1 \text{ Ձ}$ : Եթե ընդունենք, որ միջին հաշվով սիրտը 1վ կատարում է մեկ կծկում, ապա մեկ օրվա ընթացքում կատարած աշխատանքը կլինի  $A_{\text{օր}} = 86400 \text{ Ձ}$ : Ակտիվ մկանային գործունեության դեպքում այս արժեքը կարող է աճել մի քանի անգամ: Քանի որ սիստոլայի ժամանակը  $t_{\text{ս}} = 0,3 \text{ վ}$  է, ուստի սրտի մեկ կծկման հզորությունը կազմում է 3,3Վտ:

### Թեստային օրինակներ

1. Ո՞ր մեծությունն է մնում հաստատուն, եթե արյունը դիտարկենք որպես անսեղմելի հեղուկ.

- ա) արյան զծային արագությունը
- բ) անոթի տրամագիծը
- գ) արյան ճնշումը
- դ) արյան ծավալային արագությունը

2. Նշված միավորներից ո՞րն է արյան զծային արագության չափման միավորը.

- ա) մ/վ,
- բ) մ<sup>2</sup>/վ,
- գ) մ<sup>3</sup>/վ,
- դ) կգ մ/վ

3. Ինչպե՞ս կփոխվի անոթի հիդրավլիկ դիմադրությունը, եթե անոթի շառավիղը փոքրանա 50%-ով խնդրի մինևույն պայմաններում.

- ա) կփոքրանա 16 անգամ
- բ) կփոքրանա 32 անգամ
- գ) կմեծանա 16 անգամ
- դ) կմեծանա 32 անգամ

4. Անոթազարկային ալիքի տարածման արագությունը կախված է՝

- 1) անոթի պատի հաստությունից
- 2) արյան խտությունից
- 3) անոթի պատի էլաստիկությունից
- 4) անոթի պատերի նյութի Յունգի մոդուլից ( $E$ )

- ա) միայն 1,2,3
- բ) միայն 1,3,4
- գ) միայն 2,3,4
- դ) բոլորը ճիշտ են

5. Ո՞ր բանաձևում է որոշվում անոթազարկերակային ալիքի մարումը անոթի երկայնքով նրա տարածման ժամանակ.

- ա)  $P_0(x) = P_{0,\max} e^{-\beta x}$
- բ)  $P_0(x) = P_{0,\max} e^{-\beta x^2}$



գ)  $P_0(x) = P_{0,\max} e^{\beta x}$

դ)  $P_0(x) = P_{0,\max} e^{-\frac{\beta}{x}}$

**6. Մարդու տարիքի հետ կապված՝**

- 1) արյան անոթների պատերի էլաստիկությունն աճում է
- 2) արյան անոթների պատերի էլաստիկությունն նվազում է
- 3) արյան անոթների պատերի նյութի Յունգի մոդուլը մեծանում է 2-3 անգամ
- 4) արյան անոթների պատերի նյութի Յունգի մոդուլը փոքրանում է 2-3 անգամ
- ա) միայն 1,3,            բ) միայն 2,4, գ) միայն 2,3,            դ) միայն 1,4

**7. Ինչպե՞ս կփոխվի արյան հիդրավլիկ դիմադրությունը ( $W$ ), եթե դեղորայքի ընդունման հետևանքով արյան մածուցիկությունը փոքրացել է 20%-ով, իսկ արյան անոթի ներսի կտրվածքի շառավիղը ( $R$ ) մեծացել է 20%-ով.**

- ա) կմեծանա  $0,8 \cdot (1,2)^4$  անգամ    բ) կմեծանա  $0,25 \cdot (1,2)^4$  անգամ
- գ) կփոքրանա  $4(1,2)^4$  անգամ    դ) կփոքրանա  $1,25 \cdot (1,2)^4$  անգամ

**8. Ինչպե՞ս կփոխվի անոթազարկային ալիքի տարածման արագությունը, եթե մյուս հավասար պայմանների դեպքում անոթի պատի խտությունը և հաստությունը մեծանան 2 անգամ.**

- ա) կմեծանա  $\sqrt{2}$  անգամ    բ) կփոքրանա  $\sqrt{2}$  անգամ
- գ) չի փոխվի    դ) կմեծանա 2 անգամ

**9. Անոթազարկային ալիքի տարածման արագությունը կախված է՝**

- ա) անոթի պատի հաստությունից և խտությունից
- բ) արյան խտությունից և ծավալային արագությունից
- գ) արյան խտությունից և անոթի պատի հաստությունից
- դ) անոթի պատի էլաստիկությունից և արյան ճնշումից

**10. Անոթազարկային ալիքի տարածման արագությունը միաժամանակ կախված չէ՝**

- ա) անոթի պատի խտությունից և հաստությունից
- բ) արյան հոսքի արագությունից և խտությունից
- գ) անոթի պատի հաստությունից և արյան խտությունից
- դ) անոթի պատի խտությունից և արյան ծավալային արագությունից

**11. Ճնշումների  $\Delta P$  տարբերությունը խոշոր արյունատար անոթի 2 կետերում՝**

- 1) ուղիղ համեմատական է անոթի  $l$  երկարությանը
- 2) որոշվում է  $\Delta P = QW$  բանաձևով ( $Q$  -ն ծավալային արագությունն է,  $W$  -ն՝

հիդրավլիկ դիմադրությունը)

- 3) ուղիղ համեմատական է արյան մածուցիկության գործակցին
- 4) կախված չէ արյունատար անոթի ներսի լայնական հատույթի մակերեսից
- ա) միայն 1,2,3    բ) բոլորը ճիշտ են    գ) միայն 2,3            դ) միայն 1,2,4

**12. Հետևյալ բանաձևերից ո՞րն է սխալ.**

ա)  $W = \frac{8\eta l}{\pi R^4}$  ,    բ)  $Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8\eta l}$  ,    գ)  $Q = \frac{V}{S}$  ,    դ)  $Q = \frac{\Delta P}{W}$

13. Քանի՞ անգամ կփոքրանա անոթի հիդրավիլի դիմադրությունը, եթե անոթի շառավիղը փոքրանա 50%-ով խնդրի միևնույն պայմաններում.

- ա) 16 անգամ, բ) 32 անգամ, գ) 8 անգամ, դ) բոլորը սխալ են

14. Անոթագարկային ալիքի տարածման արագությունը *կախված չէ՝*

- ա) անոթի պատի հաստությունից բ) արյան խտությունից  
 գ) անոթի պատի էլաստիկությունից դ) արյան մածուցիկության գործակցից

15. Ո՞ր որենքով է նկարագրվում աորտայում արյան ճնշման նվազումը, աորտալ փականի փակվելուց հետո, համաձայն Ֆրանկի մոդելի.

- ա) գծային բ) քանակային գ) ցուցային դ) լոգարիթմական

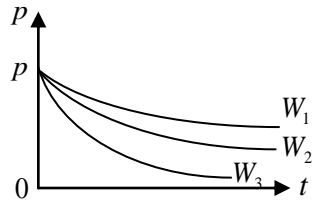
16. Արյան շրջանառության Ֆրանկի մոդելի երկրորդ փուլը նկարագրվում է ..... հավասարումներով

1)  $Qdt = -dV$ ,      2)  $Q = -C \frac{dP}{dt}$ ,      3)  $QW = P$ ,      4)  $\frac{dV}{dt} = C \frac{dP}{dt}$

- ա) միայն 1,3,4      բ) միայն 1,2,3      գ) միայն 2,3,4      դ) բոլորը

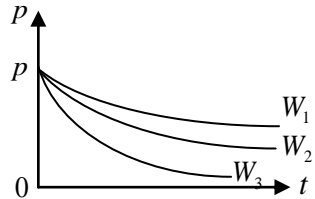
17. Նկարում պատկերված է խոշոր անոթներում ճնշման փոփոխության օրենքը միևնույն էլաստիկությամբ տարբեր անոթների համար աորտալ փականի փակվելու պահից (Ֆրանկի մոդելի համաձայն): Անոթների հիդրավիլի դիմադրությունների համար *n* ը պայմանն է ճիշտ.

- ա)  $W_3 > W_2 > W_1$   
 բ)  $W_3 < W_2 < W_1$   
 գ)  $W_3 = W_2 = W_1$   
 դ) հարցին անհնար է միարժեք պատասխանել



18. Նկարում պատկերված է խոշոր անոթներում ճնշման փոփոխության օրենքը աորտալ փականի փակվելու պահից (Ֆրանկի մոդելի համաձայն): Անոթների հիդրավիլի դիմադրությունների համար *n* ը պայմանն է ճիշտ.

- ա)  $W_3 > W_2 > W_1$       բ)  $W_3 < W_2 < W_1$   
 գ)  $W_3 = W_2 = W_1$   
 դ) հարցին անհնար է միարժեք պատասխանել



**Պատասխաններ**

- 1.դ    2.ա    3.գ    4.դ    5.բ    6.գ    7.դ    8.ա    9.գ  
 10.դ    11.գ    12.գ    13.դ    14.դ    15.գ    16.դ    17.բ    18.դ

**16. ՄԿԱՆԱՅԻՆ ԿԾԿՄԱՆ ԿԵՆՍԱՏԻՉԻԿԱ**

(Յու.Բարայան)

Մկանային հյուսվածքներ, նրանց կառուցվածքը և կենսագործունեության մոլեկուլային մեխանիզմները

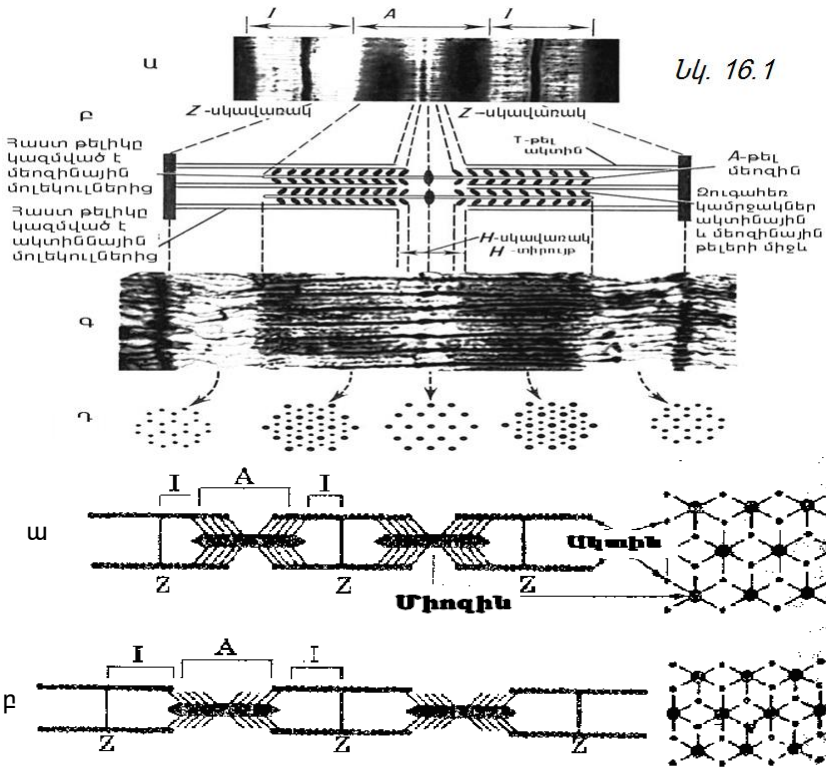
Մկանային ակտիվությունը (կծկողականությունը) կենդանի համակարգերին հատուկ, ընդհանուր հատկություններից մեկն է: Կենդանի օրգանիզմում տարբեր մկանների □աշխատանքային□ սկզբունքները միատեսակ են՝ անկախ մկանների կառուցվածքային առանձնահատկություններից և նրանց կենսաբանական դերից:

Մկանային բջիջները մյուս տիպի բջիջներից տարբերվում են այնպիսի յուրահատուկ հատկությամբ, ինչպիսին է կծկողականությունը. դրանք ընդունակ են կարճանալու և մեխանիկական լարում առաջացնելու: Միաժամանակ մկանները նաև ջերմության աղբյուր են:

Մկանային հյուսվածքը մկանային բջիջների (թելիկների), արտաբջջային նյութի (կոլագեն, էլաստին և այլն), նյարդաթելերի և արյունատար անոթների խիտ ցանցի ամբողջություն է: Էլաստինը առաձգական սպիտակուց է և գտնվում է աորտայի, զարկերակների պատերում, իսկ կոլագենը թելանման սպիտակուց է և կազմում է մկանային սպիտակուցների 20%-ը: Ըստ կառուցվածքի՝ մկանները լինում են հարթ (աղիքների, արյունատար անոթների մկանները) և միջաձիգ զուլավոր (կմախքի և սրտի մկանները): Անկախ կառուցվածքից՝ բոլոր տիպի մկանները օժտված են միանման մեխանիկական հատկություններով, ակտիվացման միևնույն մեխանիզմով և ունեն համարյա նույն քիմիական բաղադրությունը:

Մկանային թելերի միջաձիգ զուլավոր կառուցվածքը կարելի է դիտել մանրադիտակով: Առանձին մկանային թելերն ունեն 20-80մկմ տրամագիծ, պարփակված են ընդհանուր պլազմային թաղանթով, որի հաստությունը 10նմ է: Յուրաքանչյուր առանձին թելիկ մկանային հյուսվածքի ուժեղ ձգված բջիջ է: Առանձին բջիջների (թելերի) երկարությունները, կախված մկանի տեսակից, կարող են տատանվել՝ սկսած մի քանի 100 մկմ մինչև մի քանի սանտիմետր: Մկանային բջիջը բացի հայտնի ներբջջային կառուցվածքներից (կորիզ, միտոքոնդրիա, Գոլջի ապարատ և այլն), պարունակում է բջջի կծկողական ապարատ, որը բաղկացած է 1000-2000 զուգահեռ դասավորված 1-2մկմ տրամագծով միոֆիբրիլներից, և այլ ներբջջային օրգաններ, որոնք ապահովում են կծկողական ապարատի անխափան աշխատանքը:

Նկար 16.1.-ում պատկերված է միոֆիբրիլի պատկերը. ա) էլեկտրոնային մանրադիտակով՝ փոքր խոշորացմամբ բ) սխեմատիկ գ) էլեկտրոնային մանրադիտակով դ) սարկոմերի ուղղահայաց հատման պատկերը տարբեր դիրքերից:

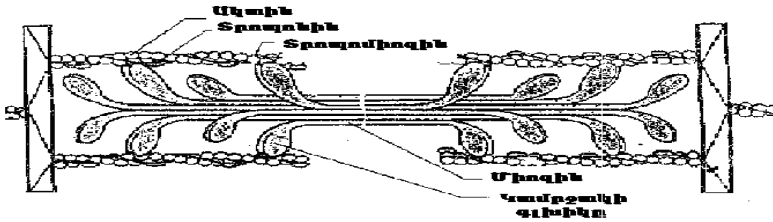


Նկ. 16.2.

Միոֆիբրիլներում առանձնացնում են  $A$  տիրույթ (մուգ շերտեր, որոնք անիզոտրոպ են) և  $I$  տիրույթ (լուսավոր շերտեր, որոնք իզոտրոպ են):  $I$  տիրույթի շրջանակներում առանձնանում է մուգ, նեղ շերտ, որը կոչվում է  $Z$  սկավառակ: Երկու ամենամոտ  $Z$  թաղանթների միջև ընկած մասը կոչվում է սարկոմեր, որը մկանային բջջի տարրական կծկողական միավորն է (նկար 16.1., 16.2.): Սարկոմերը հեքսագոնալ դասավորված հաստ և բարակ թելիկներից կազմված կարգավորված համակարգ է:

Հաստ թելիկը միոգին սպիտակուցն է և ունի  $\approx 12$  նմ հաստություն և  $\approx 1,5$  նմ երկարություն: Բարակ թելիկն ունի 8 նմ տրամագիծ, 1 նմ երկարություն և կազմված է ակտինոն սպիտակուցից, որը միջմոլեկուլային ուժերի շնորհիվ հենված է  $Z$  թաղանթի վրա: Ակտինոն սպիտակուցը բաղկացած է 5 նմ հաստությամբ երկու մեկը մյուսի շուրջ ոլորված թելերից: Այս կառուցվածքը նման է իրար փաթաթված 2 շաքր ուլունքի. յուրաքանչյուր գալարում 14 ուլունք: Ակտինոնի շղթայում իրարից  $\approx 40$  նմ հեռավորությունների վրա բաշխված են տրոպոնինի մոլեկուլները (գլոբուլյար սպի-

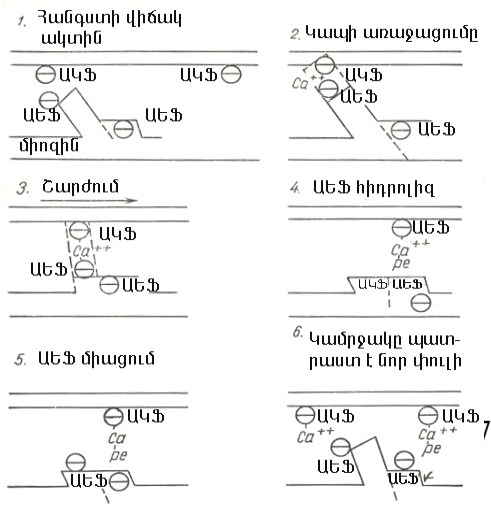
տակուցներ են), իսկ ակտինային շղթայի վրա փաթաթված է տրոպոմի-  
 ոզին սպիտակուցը: Մկանի կծկման պրոցեսում բարակ ակտին-տրո-  
 պոմիոզինային թելերը տեղաշարժվում են հաստ թելերի միջև: Կատար-  
 վում է թելիկների սահք՝ առանց դրանց երկարությունների փոփո-  
 խության: Այս պրոցեսը պայմանավորված է միոզինի հատուկ էլուստների  
 և ակտինի վրա տեղաբաշխված ակտիվ կենտրոնների փո-  
 խազդեցությամբ (նկար 16.3.): Այդ էլուստները դասավորված են հաստ  
 թելիկի (միոզին) վրա պարբերական, իրարից 14,5նմ հեռավորությամբ:



Նկ 16.3.

Մկանի կծկման մեխանիզմը լավագույնս բացատրում է Դևիսի հիպո-  
 թեզը: Համաձայն այդ վարկածի՝ միոզինային կամրջակը պարուրված  
 պոլիպեպտիդային շղթա է: Հանգստի վիճակում կամրջակը ձգված է, որը  
 պայմանավորված է երկու էլեկտրաբացասական լիցքերի վանողությամբ  
 (լիցքերից մեկը ֆիքսված է կամրջակի հիմքում և օժտված է ԱՇՖ-ազային  
 ակտիվությամբ, իսկ մյուսը գտնվում է կամրջակի ծայրում) (նկար 16.4.1.):  
 Մկանի գրգռման ժամանակ սարկոպլազմատիկային ռետիկուլումից  
 անջատվում են  $Ca^{2+}$  իոններ:  $Ca^{2+}$  իոնի միջոցով կամրջակի գլխիկի ԱՇՖ-ի  
 մոլեկուլի և ակտինային թելիկում գտնվող ԱԿՖ-ի (ադենոզին կրկնակի  
 ֆոսֆորային թթու) մոլեկուլի միջև առաջանում է կապ (նկար 16.4.2.):

Էլեկտրաստատիկ վանողու-  
 թյունը վերանում է և ձգված  
 վիճակում գտնվող կամրջակ-  
 կը, շնորհիվ ջրածնական կա-  
 պերի, ընդունում է  $\alpha$ -  
 պարույրի տեսք (նկար  
 16.4.3.):  $\alpha$ -պարույրի առա-  
 ջացման հետևանքով ակտի-  
 նային թելիկը տեղաշարժ-  
 վում է միոզինային թելիկի  
 նկատմամբ, և միավորված



Նկ. 16.4.

ԱԵՖ մոլեկուլը մոտենում է ԱԵՖ-ազային կենտրոնին: Մրա հետևանքով ԱԵՖ մոլեկուլը ճեղքվում է ԱԿՖ մոլեկուլի և ֆոսֆատի, որը և խզում է ակտինի և միոզինի միջև կապը (նկար 16.4.4.): Հաջորդ պահին միոզինի էլուստի վրա առաջացած ԱԿՖ-ին փոխարինում է ԱԵՖ-ի մոլեկուլը, որը վանվում է միոզինի ֆիքսված լիցքերի կողմից: Դրա հետևանքով  $\alpha$ -պարույրը ձգվում է, հետևաբար և կամրջակը երկարում է (նկար 16.4.5-6): Եթե սարկոպլազմայում այդ պահին գոյություն ունենան ազատ  $Ca^{2+}$  իոններ, ապա ամբողջ ցիկլը կկրկնվի սկզբից: Նկարագրված յուրաքանչյուր ցիկլ ուղեկցվում է ԱԵՖ-ի մեկ մոլեկուլի ճեղքմամբ: Ամփոփելով վերը ասվածը՝ կարելի է պնդել, որ ակտին-միոզինային միացությունը ԱԵՖ-ի ճեղքման հետևանքով գոյացած քիմիական էներգիայի փոխարկիչն է մեխանիկական էներգիայի:

Մկանային թելերի դիտարկված կառուցվածքը և մկանային կծկման ժամանակ կատարվող պրոցեսների հերթականությունը ընդունված է անվանել սահող թելերի մոդել:

Սարկոմերում թելերի սահքը բացահայտվել է անգլիացի գիտնական Հակալիի կողմից, որը և առաջարկել է սահող թելերի մոդելը: Մկանային թելերի նկարագրված կառուցվածքային մոդելը հաստատվել է փորձնականորեն, և մկանային կծկման բոլոր ժամանակակից տեսությունները հիմնված են դրա վրա:

**Սահող թելերի մոդելի հիմնական դրույթները.**

1. Ակտինի և միոզինի թելերի երկարությունները կծկման ընթացքում չեն փոխվում:

2. Կծկման ժամանակ սարկոմերի երկարության փոփոխությունը ակտինի և միոզինի թելերի երկայնական հարաբերական տեղաշարժի հետևանք է:

3. Միոզինային էլուստները կարող են միանալ ակտինի մոլեկուլի կոմպլեմենտար կենտրոններին:

4. Ելուստները միաժամանակ չեն միանում ակտինի թելիկին:

5. Կապված էլուստները ենթարկվում են կառուցվածքային փոխարկման, որի արդյունքում նրանք զարգացնում են լարում, այնուհետև դրանք միմյանցից անջատվում են:

6. Մկանի կծկումն ու թուլացումը ապահովվում է փակում-բացում ցիկլ կատարող էլուստների թվի աճի և հետագա նվազման հաշվին:

7. Ելուստների բացել-փակելու պրոցեսները կատարվում են իրարից անկախ:

8. Յուրաքանչյուր ցիկլ իրականանում է ԱԵՖ-ի մեկ մոլեկուլի հիդրոլիզի շնորհիվ:

**Մկանների կենսամեխանիկան, մկանների կծկման մոդելավորումը**

Մկանը կարելի է դիտարկել որպես արտաքին ուժի դաշտում գտնվող հոծ միջավայր՝ բաղկացած շատ թվով իրար հետ փոխազդող տարրերից: Նկատի ունենալով մկանների վերը նկարագրված կառուցվածքը՝ կարելի է պնդել, որ այն օժտված է միաժամանակ առաձգական և մածուցիկ հատկություններով, այսինքն՝ մածուցիկաառաձգական միջավայր է: Մածուցիկություն տերմինը մեզ արդեն ծանոթ է: Բացատրենք առաձգականության իմաստը: Արտաքին ուժերի ազդեցությամբ փոփոխվում են մարմնի ձևն ու չափերը: Եթե արտաքին ուժերի ազդեցությունը վերանալուց հետո մարմինն ինքնակամ ձգտում է վերականգնել իր ձևն ու չափերը, ապա այդ հատկությունը կոչվում է առաձգականություն:

Ֆիզիկայի դասընթացից հայտնի է, որ առաձգական մարմինները փոքր դեֆորմացիաների դեպքում ենթարկվում են Հուկի օրենքին՝

$$F = kx, \quad (16.1.)$$

որտեղ  $x = l - l_0$  կոչվում է բացարձակ երկարացում,  $l_0$ -ն մարմնի սկզբնական երկարությունն է,  $l$ -ը՝ վերջնական: Մոլեկուլային ֆիզիկայից հայտնի է, որ  $k$  կոշտությունը որոշվում է

$$k = E \frac{S}{l_0} \quad (16.2.)$$

բանաձևով, որտեղ  $E$ -ն Յունգի մոդուլն է,  $S$ -ը՝ լայնական հատույթի մակերեսը: Տեղադրելով (16.2.)-ը (16.1.)-ի մեջ՝ կստանանք.

$$F = E \frac{S}{l_0} x \quad \text{կամ} \quad \frac{F}{S} = E \frac{x}{l_0} :$$

$$\frac{F}{S} = \sigma \quad \text{և} \quad \text{կոչվում է մեխանիկական լարում, իսկ} \quad \frac{x}{l_0} = \varepsilon \quad \text{և} \quad \text{կոչվում է}$$

հարաբերական երկարացում: Հետևաբար առաձգական մարմինների համար Հուկի օրենքը կգրվի

$$\sigma = E\varepsilon : \quad (16.3.)$$

$E$  Յունգի մոդուլը փոքր դեֆորմացիաների դեպքում կախված է միայն նյութի տեսակից: Հետևաբար մկանի (որպես առաձգական միջավայր դիտարկման դեպքում) լարումը հարաբերական երկարացումից կախված է գծայնորեն.

$$\sigma_w = E\varepsilon : \quad (16.4.)$$

Մածուցիկ միջավայրի համար  $\sigma_{\delta}$  լարումը ուղիղ համեմատական է  $\frac{d\varepsilon}{dt}$  դեֆորմացիայի արագությանը՝

$$\sigma_{\delta} = \eta \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (16.5.)$$

որտեղ  $\eta$ -ն միջավայրի դինամիկ մածուցիկության գործակիցն է: Քանի որ մկանը մածուցիկաառաձգական միջավայր է, ուստի նրա մեխանիկական հատկությունները կարելի է մոդելավորել առաձգական և մածուցիկ տարրերի տարբեր համադրությունների միջոցով: Փորձնական և հաշվարկային տվյալների հիման վրա ցույց է տրված, որ մկանների մեխանիկական հատկությունները լավագույնս նկարագրվում են Հիլի եռաբաղադրիչ մոդելի միջոցով (նկար 16.5.): Մկանի՝ ժամանակից դեֆորմացիայի կախումը որոշելու համար պարզեցնենք նկար 16.5.-ում պատկերված մոդելը՝ ընդունելով, որ  $E_2$  տարրը բացակայում է ( $\sigma_2 = 0$ , Կելվին-Ֆոյգտի մոդել): Այդ դեպքում մածուցիկաառաձգական միջավայրի  $\sigma$  լարումը կորոշվի.

$$\sigma = \sigma_w + \sigma_{\delta}$$

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (16.6.)$$

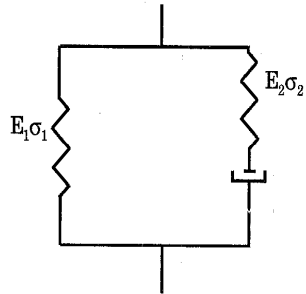
(16.6.) դիֆերենցիալ հավասարումից որոշենք  $\varepsilon(t)$  կախվածությունը՝ նկատի ունենալով, որ երբ  $t = 0$ , ապա  $\varepsilon = 0$ :

$$\eta \frac{d\varepsilon}{\sigma - E\varepsilon} = dt, \text{ որտեղից՝ } \ln(\sigma - E\varepsilon) = -\frac{Et}{\eta} + C,$$

$$\text{երբ } t = 0, \varepsilon = 0 \Rightarrow \ln \sigma = C, \quad \ln(\sigma - E\varepsilon) = -\frac{Et}{\eta} + \ln \sigma$$

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E} \left( 1 - e^{-\frac{Et}{\eta}} \right) : \quad (16.7.)$$

(16.7.) բանաձևով որոշվող  $\varepsilon(t)$  կախումը բավականաչափ լավ նկարագրում է փորձով դիտարկվող դեֆորմացիայի ժամանակային կախվա-



Նկ 16.5.



ծությունը: Ինչպես երևում է (16.7.) բանաձևից, դեֆորմացիան ժամանակից կախված աճում է ցուցչային օրենքով:

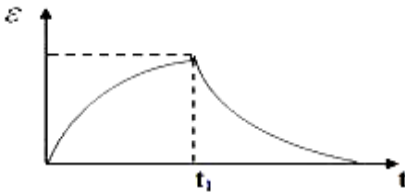
(16.7.) հավասարումից հետևում է, որ դեֆորմացիայի աճման արագությունը առավելագույն է, երբ  $t=0$ : (16.7.) արտահայտությունը ածանցելով՝ կստանանք դեֆորմացիայի փոփոխման արագությունը.

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\sigma}{\eta} e^{-\frac{E}{\eta}t}, \text{ որտեղից } \left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)_{\max} = \frac{\sigma}{\eta} :$$

(16.7.) բանաձևից հետևում է, որ  $\varepsilon(t)$  դեֆորմացիան նվազող արագությամբ աճում է և ասիմպտոտիկ ձգտում  $\varepsilon_{\text{ժի.}}$  ստացիոնար արժեքի.

$$\varepsilon_{\text{ժի.}} = \frac{\sigma}{E} : \quad (16.8.)$$

(16.6.) բանաձևից կարելի է որոշել դեֆորմացիայի  $\varepsilon(t)$  ժամանակային կախումը, երբ դեֆորմացիա առաջացնող ուժը վերանում է՝  $\sigma=0$ : Դեֆորմացիա առաջացնող ուժը վերանալուց հետո ( $t=t_1$  պահին) դեֆորմացիան սկսում է նվազել ցուցչային օրենքով (նկար 16.6.):



Նկ.16.6.

$$0 = E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (16.9.)$$

(16.9.) հավասարումը ինտեգրելով և նկատի ունենալով, որ  $t=t_1$  պահին  $\varepsilon = \varepsilon_0$

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = -\frac{E}{\eta} dt$$

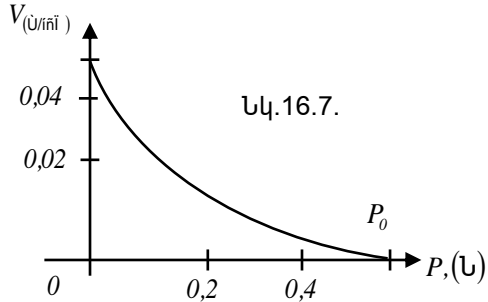
$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 e^{-\frac{E(t-t_1)}{\eta}} : \quad (16.10.)$$

**Հիլի հավասարում: Կծկման ակնթարթային հզորությունը**

Մկանի աշխատանքի ուսումնասիրության համար կարևոր է գնահատել նրա կրճատման արագության կախումը արտաքին (P) բեռնավորումից: Հիլի կողմից կատարված բազմաթիվ մանրակրկիտ ուսումնասիրությունների արդյունքում ստացվել է նկար 16.7.-ում պատկերված կախվածությունը, որը կարելի է նկարագրել հետևյալ փորձնական բանաձևի օգնությամբ.

$$V(P) = \frac{b(P_0 - P)}{P + a} : \quad (16.11.)$$

(16.11.) արտահայտությունը կոչվում է Հիլլի բանաձև և մկանի կծկման մեխանիկայի հիմնական հավասարումն է:  $P_0$ -ն առավելագույն լարումն է, որը զարգացնում է մկանը առանց երկարացման,  $a$ -ն և  $b$ -ն հաստատուններ են, համապատասխանաբար լարման և արագության չափողականություններով: (16.11.) հավասարումից հետևում է, որ կրճատման արագությունն առավելագույնն է, երբ  $P = 0$



Նկ.16.7.

$$V_{\text{առավ.}} = P_0 \frac{b}{a} :$$

Երբ  $P = P_0$ , ապա (16.11.)-ից հետևում է, որ  $V = 0$ , այսինքն՝ կծկում չի լինի:

Հաշվենք մկանի կատարած  $dA$  աշխատանքը  $dl$  չափով կծկման ժամանակ.

$$dA = Pdl :$$

Ընդունելով, որ  $dl$  -ը փոքր մեծություն է՝ կունենանք.

$$dl = Vdt ,$$

հետևաբար  $dA = PVdt$  :

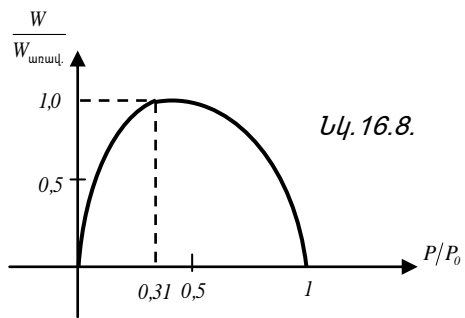
Մկանային կծկման ժամանակ զարգացրած ակնթարթային հզորությունը կլինի

$$W = \frac{dA}{dt} = PV : \tag{16.12.}$$

(16.12.) բանաձևի մեջ տեղադրելով  $V(P)$  արտահայտությունը՝ (16.11.) բանաձևից կստանանք հզորության կախումը զարգացրած  $P$  ուժից.

$$W(P) = PV = \frac{b(P_0 - P)}{P + a} P : \tag{16.13.}$$

(16.13.) բանաձևով որոշվող  $W(P)$  կախումն ունի զանգակաձևի տեսք և պատկերված է նկար 16.8.-ում: Հիլլի հավասարումից



Նկ. 16.8.

ստացվող այս կորը լավ համընկնում է փորձնական արդյունքներին: Հզորությունը  $W = 0$ , երբ  $P = P_0$  և  $P = 0$ : (16.13.) Բանաձևից հետևում է, որ որոշակի  $P_l$  արժեքի դեպքում հզորությունը հասնում է առավելագույն արժեքին.

$$W'(P) = 0 \Rightarrow P_l = \sqrt{aP_0 + a^2} - a:$$

Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ այն կազմում է  $P_l = 0.31P_0$ :

### Թեստային օրինակներ

1. Ո՞ր սպիտակուցներն են մասնակցում մկանային կծկմանը.

- 1) ակտին, 2) տրոպոնին, 3) տրոպոմիոզին, 4) միոզին  
ա) միայն 1,2,3 բ) միայն 1,3,4 գ) միայն 1,2,4 դ) բոլորը

2. Ո՞ր իոնների շնորհիվ է հիմնականում իրականացվում մկանային կծկման պրոցեսը.

- ա)  $Mg^{2+}$ , բ)  $Na^+$ , գ)  $K^+$ , դ)  $Ca^{2+}$

3. Ինչպիսի՞ հատկություններով են միաժամանակ օժտված մկանային հյուսվածքները.

- 1) մածուցիկությամբ 2) առաձգականությամբ  
3) հիշողությամբ 4) թափանցելիությամբ  
ա) միայն 1,2,3 բ) միայն 1,2,4 գ) միայն 1,2 դ) միայն 2,4

4. Մեխանիկական լարման ( $\sigma$ ) չափման միավոր չէ՞.

- ա)  $\text{Ն}/\text{մ}^2$ , բ)  $\text{կգ}/\text{վ}^2\text{մ}$ , գ) պուսազ  $\text{վ}^{-1}$ , դ) պուսազ  $\text{վ}$

5. Հետևյալ բանաձևերից որոնք են ճիշտ.

- 1)  $k = E \frac{S}{\ell_0}$ , 2)  $\varepsilon = E\sigma$ , 3)  $\sigma = \eta \frac{d\varepsilon}{dt}$ , 4)  $\sigma = \frac{F}{S}$ ,

- ա) միայն 2,3,4 բ) միայն 1,3,4 գ) բոլորը դ) միայն 1,2,4

6. Ի՞նչ միավորներով է չափվում հարաբերական երկարացումը ( $\varepsilon$ )

- ա) մ, բ) չունի, գ)  $\text{մ}/\text{վ}$ , դ)  $\text{Ն}/\text{մ}^2$

7. Կելվին-Ֆոյզտի մոդելի դեպքում որքա՞ն ժամանակ հետո դեֆորմացիան կհավասարվի դեֆորմացիայի ստացիոնար արժեքի 3/4-ին.

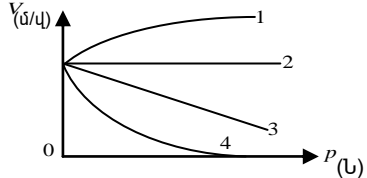
- ա)  $t = \frac{E \ln 4}{\eta}$ , բ)  $t = \frac{\eta \ln 3}{E}$ , գ)  $t = \frac{\eta \ln 3/4}{E}$ , դ)  $t = \frac{\eta \ln 4}{E}$

8. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում լարումը ( $\sigma$ ) մածուցիկաառաձգական միջավայրում.

- ա)  $\sigma = E\varepsilon + \eta\varepsilon$ , բ)  $\sigma = \eta\varepsilon + E \frac{d\varepsilon}{dt}$ ,

զ)  $\sigma = \varepsilon E + \eta \frac{d\varepsilon}{dt}$ ,      դ) բոլոր պատասխանները սխալ են

9. Ո՞ր գրաֆիկով է պատկերվում մկանի կրճատման արագության ( $V$ ) կախվածությունը մկանի միավոր մակերեսի վրա ազդող  $P$  ուժից.



- ա) 1,      բ) 2,      գ) 3,      դ) 4

10. Մկանի կրճատման առավելագույն արագությունը հավասար է՝

ա)  $V_{առավ.} = P_0 \frac{b}{a}$ ,    բ)  $V_{առավ.} = P_0 \frac{a}{b}$ ,    գ)  $V_{առավ.} = \frac{b}{P_0 a}$ ,    դ)  $V_{առավ.} = \frac{a}{P_0 b}$

11. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում մկանային միանգամյա կծկման հզորության կախումը մկանի միավոր մակերեսի վրա ազդող  $P$  ուժից.

1)  $W(P) = PV$ ,    2)  $W(P) = \frac{b(P_0 - P)}{P + a} V$ ,    3)  $W(P) = \frac{b(P_0 - P)}{P + a} P$ ,    4)  $W(P) = PV^{-1}$

- ա) միայն 1,2,    բ) միայն 3,4,    գ) միայն 1,3,    դ) բոլորը սխալ են

12. Յունգի մոդուլի չափման միավոր չէ՝

- ա)  $\text{Ն}/\text{մ}^2$ ,    բ)  $\text{Ջ}/\text{մ}^3$ ,    գ)  $\text{կգ}/\text{մ}^2$ ,    դ)  $\text{կգ}/\text{մ}^2$

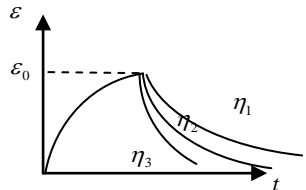
13. Մարկումերը՝

- 1) հաստ և բարակ թելերի կարգավորված համակարգ է
- 2) թելերի համակարգ է, որոնք լայնական հատույթում դասավորված են հեքսագոնալ
- 3) հաստ թելն ունի 12 նմ հաստություն
- 4) կազմված է միայն ակտին սպիտակուցից

- ա) միայն 1,2,4    բ) միայն 2,3,4    գ) միայն 1,2,3    դ)

բոլորը ճիշտ են

14. Նկարում պատկերված է դեֆորմացիա առաջացնող ուժի վերանայուց հետո միևնույն էլաստիկությամբ մկանների  $\varepsilon(t)$  հարաբերական դեֆորմացիայի ժամանակային կախումը տարբեր մաուցիկության գործակիցների համար: Ո՞րն է ճիշտ.



- ա)  $\eta_1 > \eta_2 > \eta_3$       բ)  $\eta_1 = \eta_2 = \eta_3$   
 գ)  $\eta_1 < \eta_2 < \eta_3$       դ)  $\eta_3 \gg \eta_1$ ;  $\eta_2 = 0$

15. Մկանային կծկման ակնթարթային հզորության առավելագույն արժեքը չի որոշվում

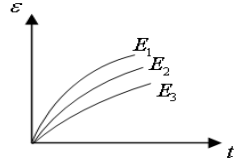
ա)  $0,31P_0$ ,    բ)  $\sqrt{aP_0 + a^3} - a$ ,    գ)  $\sqrt{aP_0 + a^2} - a$ ,    դ)  $W'(P) = 0$

16. Թվարկված  $n$  ը մեծություններից կախված չէ հարաբերական դեֆորմացիայի ստացիոնար արժեքը.

ա) մեխանիկական լարում ( $\sigma$ )                      բ) առաձգականության մոդուլ ( $E$ )

գ) միջավայրի մածուցիկության գործակից ( $\eta$ )    դ) էլաստիկություն ( $C$ )

17. Նկարում պատկերված է միևնույն մածուցիկությամբ սկանների  $\varepsilon(t)$  հարաբերական դեֆորմացիայի կախումը ժամանակից: Ո՞ր արտահայտությունն է ճիշտ նկարագրում նրանց առաձգականության (Յունգի) մոդուլների կապը.



ա)  $E_1 = E_2 = E_3$

բ)  $E_1 > E_2 > E_3$

գ)  $E_1 < E_2 < E_3$

դ) հարցին անհնար է միարժեք պատասխանել

**Պատասխաններ**

- |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 1.դ  | 2.դ  | 3.գ  | 4.դ  | 5.բ  | 6.բ  | 7.դ  | 8.գ  | 9.դ |
| 10.ա | 11.գ | 12.գ | 13.գ | 14.ա | 15.բ | 16.գ | 17.դ |     |

17. ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՈՒՄ

(Յու. Բարայան)

Համաձայն ճառագայթման դասական տեսության՝ նյութի կողմից էլեկտրամագնիսական ալիքների ճառագայթումը տեղի է ունենում նրա կազմի մեջ մտնող էլեկտրական լիցքերի, այսինքն՝ էլեկտրոնների և իոնների տատանումների հետևանքով: Ցանկացած տատանվող համակարգ ունի արագացում, իսկ արագացումով շարժվող լիցքը, համաձայն դասական էլեկտրադինամիկայի, միշտ ճառագայթում է էներգիա: Որպեսզի մարմինը անընդհատ էներգիա ճառագայթի, անհրաժեշտ է, որ այդ էներգիայի կորուստը համալրվի ներքին կամ արտաքին պրոցեսների միջոցով: Այդ պրոցեսները կարող են լինել բազմազան, հետևաբար տարբեր կարող է լինել նաև նյութի ճառագայթման բնույթը: Կարելի է տարբերակել ճառագայթման հետևյալ տեսակները՝ քեմիլյումինեսցենցիա, ֆոտոլյումինեսցենցիա, էլեկտրալյումինեսցենցիա, կատոդլյումինեսցենցիա և ջերմային ճառագայթում:

Էլեկտրամագնիսական ճառագայթման տարատեսակների ամբողջությունից (մարդու աչքի համար տեսանելի և անտեսանելի) կարելի է առանձնացնել մեկը, որը վերաբերում է բոլոր մարմիններին: Ճառագայթման այդ տեսակը կոչվում է ջերմային ճառագայթում: Կախված մարմնի ջերմաստիճանից, փոփոխվում է ճառագայթման ինտենսիվությունը և սպեկտրային կազմը:

**Ջերմային ճառագայթման բնութագրերը: Բացարձակ սև մարմին**

Մարմնի միավոր մակերեսից բոլոր ուղղություններով առաքվող ճառագայթման հոսքը բնութագրվում է մարմնի ճառագայթման ընդունակությամբ՝  $E$ , և չափվում է Վտ/մ<sup>2</sup>-ով: Նշենք, որ մարմնի ճառագայթման ընդունակությունը բնութագրող մեծությունն անվանում են էներգետիկ լուսատվություն: Ակնհայտ է, որ էներգետիկ լուսատվությունը կախված է ալիքի երկարությունից (հաճախությունից): Մարմինները ճառագայթում են տարբեր երկարությամբ էլեկտրամագնիսական ալիքներ: Առանձնացնենք ալիքի երկարությունների փոքր միջակայք՝  $\lambda$  -ից մինչև  $\lambda + d\lambda$ : Տվյալ սպեկտրալ տիրույթի էներգիայի հոսքի  $dE$  մեծությունը ուղիղ համեմատական է այդ տիրույթի  $d\lambda$  լայնությանը, այսինքն՝

$$dE \sim d\lambda \quad \text{կամ} \quad dE = E_\lambda d\lambda, \quad (17.1.)$$

որտեղ  $E_\lambda$ -ն բնութագրում է մարմնի էներգետիկ լուսատվությունը, կախված է ալիքի երկարությունից և ջերմաստիճանից:  $E_\lambda$ -ն կոչվում է

էներգետիկ լուսատվության սպեկտրային խտություն, որը հավասար է սպեկտրի նեղ տեղամասի էներգետիկ լուսատվության հարաբերությանը, այդ տեղամասի լայնությանը և չափվում է Վտ/մ<sup>3</sup>-ով:

էներգետիկ լուսատվության սպեկտրալ խտության կախվածությունը ալիքի երկարությունից՝  $E_\lambda = f(\lambda)$ , անվանում են մարմնի ճառագայթման սպեկտր: Ինտեգրելով (17.1.)-ը՝ կստանանք մարմնի էներգետիկ լուսատվությունը.

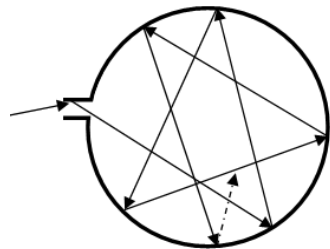
$$E = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda : \quad (17.2.)$$

Ինտեգրման սահմանները վերցված են 0-ից մինչև  $\infty$ , որպեսզի հաշվի առնվեն ջերմային ճառագայթման բոլոր հնարավոր հաճախությունները:

Ենթադրենք՝ մարմնի միավոր մակերեսի վրա ընկնում է  $E_{\text{ընկ.}}$  էներգիայի հոսք, և այդ հոսքի մի մասը  $E_{\text{կլան.}}$  կլանվում է մարմնի կողմից: Մարմնի կողմից ճառագայթային էներգիան կլանելու ընդունակությունը բնութագրվում է կլանման ընդունակություն կոչվող գործակցով, որը հավասար է կլանված ճառագայթային հոսքի և մարմնի վրա ընկնող ճառագայթային հոսքի հարաբերությանը.

$$A = \frac{E_{\text{կլան.}}}{E_{\text{ընկ.}}} : \quad (17.3.)$$

Պարզ է, որ մարմնի կլանման ընդունակությունը կախված է ալիքի երկարությունից և ջերմաստիճանից՝  $A = A(\lambda, T)$ : (17.3.)-ից հետևում է, որ կլանման ընդունակությունը կարող է ընդունել 0-ից մինչև 1 արժեքներ: Ճառագայթումը հատկապես լավ է կլանվում սև մարմինների կողմից (սև թուղթ, մուր ...) և վատ է կլանվում սպիտակ և հայելային մակերևույթներով մարմինների կողմից: Այն մարմինները, որոնց ընդունակությունը հավասար է 1-ի, բոլոր ալիքների երկարությունների և ջերմաստիճանների համար, կոչվում են բացարձակ սև կամ բացարձակ կլանող մարմիններ:



Սկ. 17.1.

կլանման

Բացարձակ սև մարմիններ բնության մեջ չկան: Սև մարմնի մոդել է անթափանց, նեղ անցքով խցիկը (նկար 17.1.): Ճառագայթումը, թափանցելով անցքից ներս, ընկնում է խցիկի պատերի վրա, մասամբ կլանվում է դրանց կողմից, մասամբ ցրվում կամ անդրադառնում է և նորից ընկնում

պատերի վրա: Այսպիսով, բազմակի անդրադարձումներից հետո ճառագայթումը կա՛մ ընդանրապես դուրս չի գա խցիկի անցքից, կա՛մ դուրս կգա նրա չնչին մասը, այսինքն՝ ընկած ճառագայթումը համարյա լրիվ կլանվում է: Այն մարմինները, որոնց կլանման գործակիցը փոքր է մեկից և նրա արժեքը կախված չէ լույսի ալիքի երկարությունից, անվանում են գորշ: Օրինակ՝ մարդու մարմնի կլանման ընդունակությունը սպեկտրի ինֆրակարմիր տիրույթում մոտավորապես հավասար է 0,9-ի, և այն սպեկտրի այդ տիրույթի համար համարվում է գորշ:

**Կիրխոֆի օրենքը**

Մարմնի ճառագայթման և կլանման ընդունակությունների միջև գոյություն ունի որոշակի կապ, որը հաստատվել է Կիրխոֆի կողմից 1859 թ.: **Մարմնի ճառագայթման  $E_\lambda$  և կլանման  $A_\lambda$  ընդունակությունները բնութագրող մեծությունների հարաբերությունը կախված չէ մարմնի բնույթից (Կիրխոֆի օրենք):**  $E_\lambda$  -ի և  $A_\lambda$  -ի հարաբերությունը բոլոր մարմինների համար միևնույն է, մինչդեռ առանձին վերցրած դրանք կարող են կտրուկ փոխվել մի մարմնից մյուսին անցնելիս: Բացարձակ սև մարմնի համար ճառագայթման ընդունակությունը նշանակելով  $\varepsilon_\lambda$  -ով, իսկ կլանման ընդունակությունը՝  $\alpha_\lambda$  -ով, հաշվի առնելով, որ  $\alpha_\lambda = 1$  Կիրխոֆի օրենքը կարող ենք գրել հետևյալ կերպ.

$$\frac{E_\lambda}{A_\lambda} = \frac{\varepsilon_\lambda}{\alpha_\lambda} = \varepsilon_\lambda: \quad (17.4.)$$

(17.4.)-ը կարելի է գրել նաև հետևյալ կերպ  $E_\lambda = A_\lambda \varepsilon_\lambda$ , որտեղից երևում է, որ եթե մարմինը չի կլանում որևէ ճառագայթում ( $A_\lambda = 0$ ), ապա այն նաև չի ճառագայթում ( $E_\lambda = 0$ ): (17.4.)-ից հետևում է, որ ոչ սև մարմինների համար ցանկացած երկարության ալիքի դեպքում ճառագայթման ընդունակությունը չի կարող մեծ լինել սև մարմնի ճառագայթման ընդունակությունից:

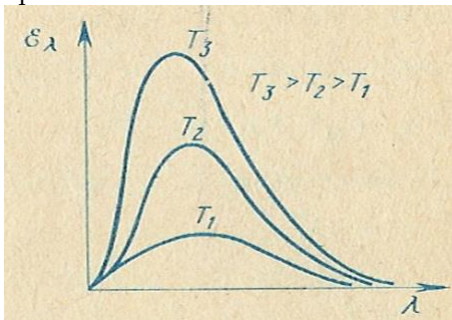
**Սև մարմնի ճառագայթման օրենքները (Ստեֆան - Բոլցմանի և Վինի օրենքները)**

19-րդ դարում բազմաթիվ հետազոտություններ կատարվեցին մարմնի ճառագայթման ընդունակության ջերմաստիճանային կախումը պարզաբանելու համար: Սակայն այդ հետազոտությունները հանգեցրին որոշ հակասությունների: Այդ հակասությունները բացատրություն գտան այն ժամանակ, երբ Կիրխոֆի կողմից պարզվեց, որ ճառագայթումը կախված է ոչ միայն մարմնի ջերմաստիճանից, այլև մարմնի բաղադրությունից և



ճառագայթող մակերևույթի ֆիզիկական հատկություններից: 1879 թ-ին Ստեֆանը փորձնականորեն ցույց տվեց, որ բացարձակ սև մարմնի համար ճառագայթման ընդունակությունը ուղիղ համեմատական է մարմնի բացարձակ ջերմաստիճանի 4-րդ աստիճանին: Մի քանի տարի անց այդ արդյունքը տեսականորեն (ելնելով թերմոդինամիկական դատողություններից) ապացուցվեց Բուլցմանի կողմից: Այս արդյունքը ստացավ Ստեֆան-Բուլցմանի օրենք անվանումը և հետագայում հաստատվեց մի շարք փորձերով:

Սև մարմնի ճառագայթումն ունի անընդհատ սպեկտր: Ճառագայթման սպեկտրների գրաֆիկները տարբեր ջերմաստիճանների համար պատկերված են նկար 17.2.-ում:



Նկ. 17.2.

**Այդ փորձարարական կորերից կարելի է կատարել մի շարք եզրակացություններ.**

1. Գոյություն ունի էներգետիկ լուսատվության համար մաքսիմում, որը, ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց, տեղափոխվում է կարճ ալիքների կողմը:

2. Բացարձակ սև մարմնի էներգետիկ լուսատվությունը, որը հավասար է կորով և արցիսների առանցքով սահմանափակված պատկերի մակերեսին, ուղիղ համեմատական է  $T^4$ -ին.

$$\varepsilon = \int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda} d\lambda \sim T^4 : \tag{17.5.}$$

3. Գրաֆիկից երևում է, որ էներգետիկ լուսատվությունը մեծանում է սև մարմնի ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց:

Բացարձակ սև մարմնի ճառագայթման ընդունակությունը բնութագրող էներգետիկ լուսատվության սպեկտրային խտության կախումը ալիքի երկարությունից տեսականորեն ապացուցվել է Պլանկի կողմից 1900 թ-ին: Դասական ֆիզիկայում ճառագայթումը և կլանումը դիտարկվում էր որպես անընդհատ պրոցես, որի շնորհիվ անհնար էր տեսականորեն

բացատրել թվարկված փորձական փաստերը: Պլանկը ենթադրեց, որ ցանկացած մարմին, այդ թվում նաև բացարձակ սև մարմինը ճառագայթում և կլանում է էներգիա ոչ թե անընդհատ, այլ որոշակի դիսկրետ բաժիններով՝ քվանտներով: Ներկայացնելով ճառագայթող մարմինը որպես տատանվող լիցքերի (օսցիլյատորների) ամբողջություն, որոնց էներգիան բազմապատիկ է  $E = h\nu$  մեծությանը՝ Պլանկը բացարձակ սև մարմնի էներգետիկ լուսատվության համար ստացավ հետևյալ բանաձևը.

$$\varepsilon_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1} \quad \text{կամ} \quad \varepsilon_\nu = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{kT} - 1}: \quad (17.6.)$$

(17.6.) բանաձևում  $\varepsilon_\lambda$ -ից  $\varepsilon_\nu$  անցման ժամանակ հաշվի է առնվել, որ

$$\varepsilon_\nu = \varepsilon_\lambda \frac{\lambda^2}{c}:$$

Բանաձևում  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Ջվ և կոչվում է Պլանկի հաստատուն,  $c = 3 \cdot 10^8$  մ/վ-ն լույսի արագությունն է վակուումում,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Ջ/Կ-ն Բոլցմանի հաստատունն է:

Օգտվելով (17.6.) բանաձևից՝ կարելի է հաշվել սև մարմնի ճառագայթման ընդունակությունը (էներգետիկ լուսատվությունը).

$$\varepsilon = 2\pi hc^2 \int_0^\infty \frac{d\lambda}{\lambda^5 [e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1]}: \quad (17.7.)$$

Հաշվելով ինտեգրալի արժեքը կստանանք.

$$\varepsilon = \sigma T^4 \quad (\text{Ստեֆան-Բոլցմանի օրենք}), \quad (17.8.)$$

որտեղ  $\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} \cong 5,67 \cdot 10^{-8}$  Վտ/մ<sup>2</sup>Կ<sup>4</sup>: Ոչ բացարձակ սև մարմինների

դեպքում (17.8.)-ը ունի հետևյալ տեսքը՝  $E = A\sigma T^4$ , որտեղ  $A$ -ն մարմնի կլանման ընդունակությունը բնութագրող գործակիցն է: Ստեֆան-Բոլցմանի օրենքը կարելի է քանակապես ցույց տալ տարբեր մարմինների համար (վառարան, էլեկտրասալիկ և այլն). դրանց ջերմաստիճանի բարձրացումից ճառագայթումն ավելի ինտենսիվ է դառնում:

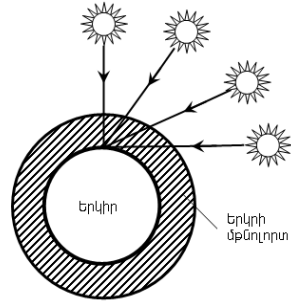
Ածանցելով (17.6.) բանաձևը ըստ  $\lambda$ -ի կամ  $\nu$ -ի՝ կարելի է հաշվել առավելագույն սպեկտրալ խտությանը համապատասխանող  $\lambda$ -ն կամ  $\nu$ -ն:  $\frac{\partial \varepsilon_\lambda}{\partial \lambda} = 0$  պայմանից կստանանք.

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (17.9.)$$

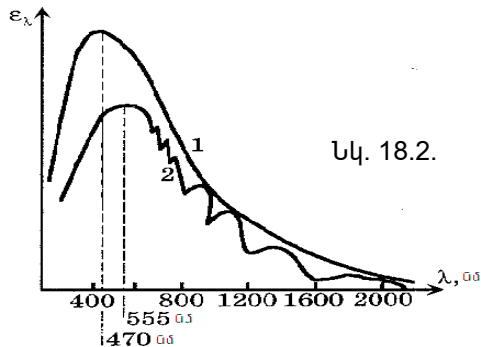
որտեղ  $b=0,289 \cdot 10^{-2}$  մ·Կ և կոչվում է Վինի հաստատուն: (17.9) արտահայտությունը կոչվում է Վինի շեղման օրենք և ցույց է տալիս, որ  $\varepsilon_\lambda$  ֆունկցիայի մաքսիմումը ջերմաստիճանի բարձրացման ժամանակ շեղվում է դեպի կարճ ալիքների տիրույթ: Ստեֆան-Բոլցմանի և Վինի օրենքները, մարմնի ճառագայթումը չափելով, հնարավորություն են տալիս որոշելու նրա ջերմաստիճանը (օպտիկական պիրոմետրիա):

### 18. Արեկի ճառագայթումը

Արեգակն ամենահզոր ջերմային ճառագայթման աղբյուրն է, որով պայմանավորվում է կյանքը երկրագնդի վրա: Արեգակնային ճառագայթման հոսքը, որն ընկնում է երկրագնդի մթնոլորտի սահմանի  $1\text{մ}^2$  մակերեսի վրա, կազմում է 1350 Վտ: Այդ մեծությունը անվանում են արեգակնային հաստատուն: Պայմանավորված հորիզոնի նկատմամբ Արեգակի դիրքով՝ տարբեր է Արեգակի ճառագայթների անցած ճանապարհը մթնոլորտով (նկար 18.1.): Հետևաբար անընդհատ փոխվում է երկրի տվյալ տեղանքի վրա ընկնող ճառագայթման հոսքը: Անգամ ամենաբարենպաստ պայմաններում երկրագնդի  $1\text{մ}^2$  մակերեսի վրա ընկնում է ամենաշատը 1120 Վտ արեգակնային ճառագայթման հոսք:



Նկար 18.2.-ում ցույց է տրված արեգակնային ճառագայթման սպեկտրը (երբ Արեգակը գեոցենտրում է) մթնոլորտի սահմանին (1 կոր) և Երկրի մակերևույթի վրա (2 կոր): Արեգակի համար սպեկտրի մաքսիմումը համապատասխանում է  $\lambda_{\text{max}}=470$  նմ արժեքին, որը, ըստ Վինի օրենքի, հնարավորություն է տալիս որոշելու Արեգակի մակերևույթի ջերմաստիճանը: Հաշվումները ցույց են տալիս, որ  $T_w \cong 6100$  Կ:



Նկ. 18.2.

Արեգակնային ճառագայթ-

ման ինտենսիվությունը չափում են ակտինոմետրով: Այդ գործողության սկզբունքը հիմնված է արեգակնային ճառագայթման շնորհիվ սևացված մարմնի մակերևույթի ջերմաստիճանի աճի գրանցման վրա:

Դոզավորված արեգակնային ճառագայթումը կիրառում են որպես արևաբուժություն (հելիոթերապիա), ինչպես նաև որպես օրգանիզմի կոփման միջոց: Բուժման նպատակների համար օգտագործում են նաև արհեստական ջերմային ճառագայթման աղբյուրներ, շիկացման լամպեր:

### **Կենդանի օրգանիզմի ջերմաստիվությունը. հասկացություն թերմոգրաֆիայի մասին**

Շնորհիվ ջերմակարգավորման՝ մարդու մարմինն ունի որոշակի ջերմաստիճան: Մարմնի ջերմաստիճանի կարգավորման գործում հիմնական դեր է կատարում շրջապատող միջավայրի հետ օրգանիզմի ջերմափոխանակությունը: Ջերմափոխանակությունը կատարվում է ջերմահաղորդականության, կոնվեկցիայի, գոլորշիացման և ճառագայթման (կլանման) շնորհիվ: Անհնար է ասել, թե ջերմափոխանակության նշված տեսակներից որին ինչ չափաբաժին է հասնում, քանի որ դրանք կախում ունեն մի շարք պայմաններից (մարմնի ջերմաստիճան, զգայական վիճակ, միջավայրի ջերմաստիճան և այլն): Մակայն որոշակի պայմանների դեպքում կարելի է տալ ջերմափոխանակության նշված տեսակներին բաժին ընկնող էներգիայի կորստի քանակական բնութագիրը: Օրինակ՝ մեղմ կլիմայական պայմանների դեպքում կոնվեկցիային բաժին է ընկնում ջերմափոխանակության 15-20%-ը: Մարմնի մակերևույթից և թոքերից գոլորշիացմանը բաժին է ընկնում 30%-ը իսկ մարմնի ճառագայթմանը՝ 50%-ը: Քանի որ օդի ջերմահաղորդականությունը փոքր է, ապա ջերմահաղորդականության միջոցով կատարվող ջերմության կորուստն աննշան է:

Ճառագայթման միջոցով էներգետիկ կորուստների հաշվարկման համար կատարենք երկու հիմնական ենթադրություն.

1. Ճառագայթող մարմինները (մարդու մաշկ, հագուստի գործվածք) ընդունենք որպես գորշ մարմին: Դա հնարավորություն կտա օգտվելու Ստեֆան-Բոլցմանի օրենքից, որը գորշ մարմինների դեպքում ունի հետևյալ տեսքը  $E = \delta T^4$ , որտեղ  $\delta = A \sigma$ ,  $\delta$ -ն գորշ մարմնի կլանման ընդունակությունն է:

2. Մարդու մարմնի անհավասարաչափ ճառագայթումը որոշակի մոտավորությամբ կարելի է համարել հավասարաչափ, և նրա համար կիրառել Ստեֆան-Բոլցմանի օրենքը:

Մարդու ամբողջ մարմնի S-մակերեսից ճառագայթման  $P_1$  հզորությունը հավասար է  $P_1 = S \delta T_1^4$ , իսկ կլանվող հզորությունը՝  $P_0 = S \delta T_0^4$ , որտեղ  $T_1$ -ը

մարդու մարմնի միջին ջերմաստիճանն է (արտահայտված կելվիններով),  $T_0$ -ն՝ շրջապատող միջավայրի: Հետևապես շրջապատող միջավայրի հետ փոխազդելիս մարդու մարմնի կորցրած ջերմային հզորությունը կլինի.

$$P = P_1 - P_0 = S \delta (T_1^4 - T_0^4) :$$

Ենթադրենք՝ մարդու մարմնի մակերևույթի մակերեսը մոտավորապես հավասար է  $1,5 \text{ մ}^2$ , շրջապատող միջավայրի ջերմաստիճանը  $t_0 = 18^\circ\text{C}$  ( $291 \text{ Կ}$ ) է, իսկ մարդու մարմնի մակերևույթի ջերմաստիճանը՝  $t_1 = 33^\circ\text{C}$  ( $306 \text{ Կ}$ ): Ապա միավոր ժամանակում ճառագայթման միջոցով մարդու մարմնի կորցրած էներգիան կլինի.

$$P = 1,5 \cdot 5,1 \cdot 10^{-8} (306^4 - 291^4) \text{ Ջ/վ} \approx 122 \text{ Ջ/վ} :$$

Էներգետիկ լուսատվության ջերմաստիճանից ուժեղ կախվածության հետևանքով մակերևույթի ջերմաստիճանի անգամ ոչ մեծ բարձրացումը կարող է առաջացնել ճառագայթվող հզորության այնպիսի փոփոխություն, որը հնարավոր է գրանցել սարքերով: Բացատրենք դա քանակապես: Դիֆերենցենք  $E = \delta T^4$  արտահայտությունը՝  $dE = 4\delta T^3 dT$ : Բաժանելով միմյանց վրա՝ կստանանք  $\frac{dE}{E} = \frac{4dT}{T}$ : Սա նշանակում է, որ էներ-

գետիկ լուսատվության հարաբերական փոփոխությունը 4 անգամ մեծ է մակերևույթի ջերմաստիճանի հարաբերական փոփոխությունից: Այսպես՝ եթե մարդու մարմնի մակերևույթի ջերմաստիճանը փոփոխվում է  $0,3^\circ\text{C}$ -ով, այսինքն՝ մոտավորապես 1%-ով, ապա էներգետիկ լուսատվությունը փոփոխվում է 4%-ով: Այսպիսով, մարդու մարմնի տարբեր մասերի ճառագայթման գրանցումը թույլ կտա որոշել դրանց ջերմաստիճանը, հետևաբար դառնալ ախտորոշիչ մեթոդ: Այդ մեթոդն անվանում են թերմոգրաֆիա: Այն մեծ կիրառություն ունի կլինիկական պրակտիկայում: Թերմոգրաֆիան բացառապես անվնաս է և կարող է հանդիսանալ որպես բնակչության մասսայական պրոֆիլակտիկ հետազոտման մեթոդ, օրինակ՝ վիրուսային հիվանդությունների համաճարակների դեպքում:

Մարդու մարմնի էներգետիկ լուսատվության սպեկտրալ խտության կորի մաքսիմումը համապատասխանում է  $\lambda = 9,5 \mu\text{մ}$  ալիքի երկարությանը, Վինի շեղման օրենքից հետևում է, որ մարմնի մակերևույթի ջերմաստիճանը հավասար է  $32^\circ\text{C}$  :

## Թեստային օրինակներ

1. Հետևյալ բանաձևերից ո՞րն է սխալ.

ա)  $E = h \frac{c}{\lambda}$ ,    բ)  $\nu_{\max} = \frac{b}{T}$ ,    գ)  $\varepsilon = \sigma T^4$ ,    դ)  $E = h\nu$

**2. Հետևյալ բանաձևերից որո՞նք են սխալ (որտեղ  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ Մ/վ}$ ).**

1)  $\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$ ,    2)  $\varepsilon = \sigma T^4$ ,    3)  $\varepsilon_{\nu} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$ ,    4)  $\nu_{\min} = \frac{cT}{b}$

ա) միայն 4    բ) միայն 3,4    գ) միայն 2,3    դ) բոլորը ճիշտ են

**3. Ջերմային ճառագայթում կոչվում է՝**

- 1) շիկացած մարմնի լուսարձակումը
- 2) Կելվինի գրո աստիճանից բարձր ջերմաստիճանում գտնվող մարմնի ճառագայթումը
- 3) տաքացած մարմնի ճառագայթումը
- 4) սև մարմնի ճառագայթումը

ա) միայն 3,4    բ) բոլորը    գ) միայն 1, 2,3    դ) միայն 1,3,4

**4. Սև մարմնի ջերմային ճառագայթման Վինի օրենքում  $n$  -ը միավորներով է չափվում Վինի հաստատունը (b).**

ա) կգ մ/վ,    բ) մ Կ,    գ) մ Կ<sub>1</sub>,    դ) կգ Կ /մ

**5. Համաձայն Ստեֆան-Բոլցմանի օրենքի՝ գորշ մարմնի էներգետիկական լուսատվությունը ուղիղ համեմատական է՝**

ա)  $T$ ,    բ)  $T^2$ ,    գ)  $T^3$ ,    դ)  $T^4$ ,

**6. Վինի շեղման օրենքն է՝**

ա)  $\lambda_{\max} = bT$ ,    բ)  $\lambda_{\max} = bT^4$ ,    գ)  $\varepsilon = \sigma T^4$ ,    դ) բոլորը սխալ են

**7. Էներգետիկական լուսատվության չափման սխալոր չէ՝**

ա) Վտ/մ<sup>2</sup>    բ) Ջ/վմ<sup>2</sup>    գ) Ն/վմ    դ) կգ/վմ<sup>2</sup>

**8. Հետևյալ բանաձևերից ո՞րն է սխալ.**

ա)  $E = h\nu$ ,    բ)  $E = h \frac{c}{\lambda}$ ,    գ)  $E = h\lambda$ ,    դ)  $E = mc^2$

**9. Քանի՞ տոկոսով կաճի բացարձակ սև մարմնի բացարձակ  $T$  ջերմաստիճանը, եթե առավելագույն էներգիային համապատասխանող ալիքի երկարությունը  $\lambda_1 = 400$  նմ-ից դարձել է  $\lambda_2 = 500$  նմ.**

ա) 20%,    բ) 25%,    գ) 50%,    դ) բոլոր պատասխանները սխալ են

**10. Քանի՞ անգամ կփոքրանա բացարձակ սև մարմնի բացարձակ  $T$  ջերմաստիճանը, եթե առավելագույն էներգիային համապատասխանող ալիքի երկարությունը  $\lambda_1 = 400$  նմ-ից դարձել է  $\lambda_2 = 500$  նմ.**

ա) 1,15,    բ) 1,25,    գ) 1,55,    դ) բոլոր պատասխանները սխալ են

**11. Ո՞ր պայմանների դեպքում է մարմինը կոչվում բացարձակ սև.**

ա) կլանման ընդունակությունը փոքր է 1-ից՝ բոլոր ալիքների հաճախությունների և ջերմաստիճանների համար

բ) կլանման ընդունակությունը հավասար է 1-ի՝ բոլոր ալիքների երկարությունների և ջերմաստիճանների համար

գ) կլանման ընդունակությունը հավասար է 0,9-ի՝ բոլոր ալիքների երկարությունների և ջերմաստիճանների համար

դ) կլանման ընդունակությունը հավասար է 1-ի՝ բոլոր ալիքների արագությունների և երկարությունների համար

### **Պատասխաններ**

1.բ 2.դ 3.բ 4.բ 5.դ 6.դ 7.դ 8.գ 9.դ  
10.բ 11.բ:

### **19. ՄԱՐԴԸ ԵՎ ՇՐՋԱՊԱՏՈՂ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԴԱՇՏԵՐԸ**

(Ա. Թադևոսյան, Յու.Բաբայան)

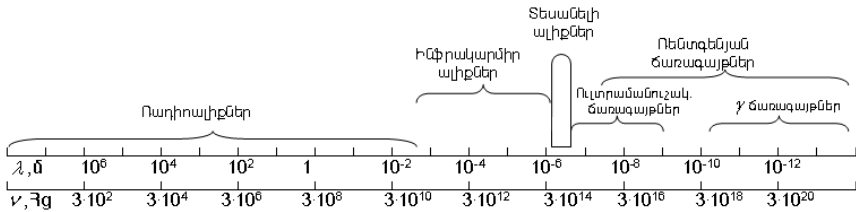
Երկրագնդի կենսոլորտը զարգացման ողջ ընթացքում գտնվել է և շարունակում է գտնվել արտաքին տարբեր ֆիզիկական դաշտերի, ինչպես նաև իր իսկ ստեղծած դաշտերի ազդեցության տակ: Հետևաբար կարելի է ասել, որ արտաքին և ներքին ֆիզիկական դաշտերը կամ ճառագայթները էական դեր ունեն կենդանի օրգանիզմների անընդհատ նորմալ կենսագործունեության վրա:

Երկրի վրա կենդանի համակարգերը ձևավորվել և գոյատևում են Երկրի գրավիտացիոն դաշտի ազդեցության ներքո, որը գրեթե անփոփոխ է: Այդ պատճառով գրավիտացիոն դաշտի ազդեցությունը կենդանի համակարգերի վրա չի քննարկվի:

Երկրի վրա արտաքին ֆիզիկական դաշտերը կամ ճառագայթները հիմնականում էլեկտրամագնիսական (ԷՄ) բնույթի են:

Տարբեր երկարության՝ հազարավոր մետրերից մինչև  $10^{-12}$ -ից ավելի կարճ էլեկտրամագնիսական ալիքների համախումբը, որոնք տարածվում են տիեզերքում (այդ թվում նաև երկրային պայմաններում), կարելի է ներկայացնել էլեկտրամագնիսական ալիքների սանդղակի տեսքով: Ամենաերկար ալիքային տիրույթում են ռադիոալիքները, այնուհետև հաջորդում են համապատասխանաբար ինֆրակարմիր (ԻԿ), տեսանելի, ուլտրամանուշակագույն (ՈւՄ), ռենտգենյան և զամմա-ճառագայթները: Նկ.19.1.-ում բերված է էլեկտրամագնիսական ալիքների սանդղակը:

Անհրաժեշտ է նկատի ունենալ, որ նշված ալիքի երկարության կամ հաճախության սահմաններն ընդունված են պայմանականորեն: Նշված տիրույթները ծածկում են մեկը մյուսին և բնության մեջ չունեն հստակ սահմաններ:



Նկ.19.1.

Կենսաբանական համակարգերում, պայմանավորված էլեկտրամագնիսական ալիքների ( հաճախությամբ, հետևաբար և ֆոտոնի  $E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$  էներգիայիով, էպպես փոխվում են էլեկտրամագնիսական ալիքների տարածման հատկությունները և կենսահամակարգերի հետ փոխազդեցության բնույթը: Օրինակ՝ հյուսվածքների բարձր հաղորդականության հետևանքով բարձր և գերբարձր հաճախություններով էլեկտրամագնիսական ալիքների էներգիան արագ վերածվում է ջերմության, և ալիքները շատ արագ մարում են՝ աննշան թափանցելով մարմնի հյուսվածքներով:

ԷՄ ալիքներն ունեն միաժամանակ և՛ ալիքային, և՛ մասնիկային հատկություններ: Այդ հատկությունների արտահայտվածությունը խիստ կախված է ալիքի երկարությունից: Ռադիոտիրույթում և ԻԿ ճառագայթման ժամանակ ավելի են արտահայտվում ալիքային հատկությունները: Տեսանելի տիրույթում բոլոր հատկությունները գրեթե հավասարաչափ են բաշխված: Ալիքի փոքրացման հետ ավելի արտահայտիչ են դառնում մասնիկային հատկությունները: Ֆոտոնի  $19,2\bar{E}10^{-19}$  Ջ էներգիայից բարձր ԷՄ ճառագայթը իրեն պահում է ինչպես մասնիկ: Այդ իսկ պատճառով ԷՄ ալիքները կարող են իոնացնել նյութը: ՈւՄ, ռենտգենյան և գամմա ճառագայթները իոնացնող են: Փոխազդեցության էֆեկտները տարբեր նյութերում և տարբեր երկարությունների ալիքների համար կարող են լինել տարբեր, բայց ալիքի ինտենսիվության փոքրացման (նյութի ատոմների և մոլեկուլների հետ էլեկտրամագնիսական դաշտի փոխազդեցության հետևանքով) ընդհանուր օրենքը միևնույնն է.

$$I = I_0 e^{-\alpha x}, \quad (19.1.)$$

որտեղ  $I_0$ -ն ընկնող ճառագայթման ինտենսիվությունն է,  $x$ -ը նյութի հաստությունն է, ( $-\alpha$ -ն կոչվում է թուլացման գործակից և որոշվում է նյութի կողմից էլեկտրամագնիսական ալիքի էներգիայի կլանումով և ցրումով: Այն կախված է նյութի տեսակից և ալիքի երկարությունից: (19.1.) արտահայտությունը Բուգերի օրենքն է: Էլեկտրամագնիսական ալիքների



ինտենսիվության փոքրացումը նյութի ատոմների և մոլեկուլների հետ էլեկտրամագնիսական դաշտի փոխազդեցության հետևանք է:

Կենդանի համակարգերի վրա ազդող արտաքին էլեկտրամագնիսական ճառագայթները կարելի է բաժանել 2 խմբի՝ տիեզերքից եկող և կենսաբանական ծագում ունեցող: Էլեկտրամագնիսական ճառագայթման հիմնական աղբյուր է Արեգակը: Արեգակնային ճառագայթման մեծ մասը բաժին է ընկնում տեսանելի տիրույթին, սակայն մնացած տիրույթի ճառագայթները մեծ ազդեցություն են թողնում ընդհանրապես կենսոլորտի և կենդանի օրգանիզմների կենսագործունեության վրա: Արեգակնային ճառագայթները Երկիր են հասնում իոնոլորտի և մթնոլորտի միջով: Միաժամանակ Երկրի մակերևույթը լիցքավորված է բացասականորեն, իսկ մթնոլորտը՝ դրականորեն:

Իոնոլորտը զազապլազմային թաղանթ է և երկրակեղևի հետ կազմում է ռադիոհաղորդիչ համակարգ, որը ապահովում է կենսոլորտի համար անհրաժեշտ էլեկտրամագնիսական պայմանները: Իոնոլորտը թափանցելի է ցածրհաճախային (մինչև 5 Հց), ռադիոհաճախային (ալիքի երկարությունը 0,8-30մ), օպտիկական՝ (տեսանելի լույսի 1000-290նմ ալիքի երկարությամբ), ինչպես նաև ԻԿ և ՈւՄ ճառագայթների համար: Երկրի մակերևույթի էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածությունը մոտավորապես 100Վ/մ է: Հետաքրքիր է այն, որ ամբողջ օրվա ընթացքում Երկրի ցանկացած կետում լարվածությունն իր առավելագույն արժեքին է հասնում Լոնդոնյան ժամանակով 19.00-ին: Արեգակնային արտանետումների ժամանակ արտանետված պլազման մոտ 40-50 ժամ անց կարող է հասնել Երկրի ուղեծիր՝ գրգռելով իոնոլորտը, առաջացնելով մագնիսական մրրիկներ, որը մենք տեսնում ենք մագնիսական բևեռափայլի տեսքով:

Մթնոլորտում և լիթոսֆերայում կատարվող պրոցեսները նույնպես կարող են առաջացնել էլեկտրամագնիսական ալիքներ: Օրինակ՝ ցիկլոնների կենտրոնները ճառագայթում են 2Հց հաճախությամբ էլեկտրամագնիսական ալիքներ, երկրաշարժերի ժամանակ առաջանում են ցածրհաճախային մագնիսական դաշտերի տատանումներ 0,01-0,1Հց հաճախությամբ:

Կենսագործունեության ողջ ընթացքում տարբեր հաճախային էլեկտրամագնիսական ալիքները, մագնիսական, էլեկտրական և ակուստիկ դաշտերը, ինչպես նաև կենդանի օրգանիզմների միջև քիմիական փոխազդեցությամբ պայմանավորված դաշտերն ազդում են կենդանի համակարգերի վրա և օգտագործվում են իրենց իսկ կողմից: Օրինակ՝ թռչունները, օգտագործելով մագնիսական դաշտը, կարողանում են ճիշտ ուղղություն

ընտրել, իսկ չղջիկները, կետերը և դելֆիններն օգտագործում են ուլտրա-  
ձայնային ճառագայթումը և այլն:

Կենդանի օրգանիզմների վրա զգալի ազդեցություն է թողնում ֆիզիկա-  
կան դաշտերի մեկ այլ տեսակ՝ գեոմագնիսական դաշտը: Այն առաջա-  
նում է Երկրի մագնիսական դաշտի և արեգակնային պլազմայի հոսքի  
փոխազդեցության հետևանքով: Գեոմագնիսական դաշտի առաջացման  
հետևանքով ի հայտ են գալիս փոփոխական էլեկտրական դաշտեր, որոնց  
ամպլիտուդները նույն կարգի են ինչ մթնոլորտի էլեկտրական դաշտի  
պոտենցիալի գրադիենտի միջին արժեքը: Գեոմագնիսական ազ-  
դանշանների հաճախությունները ( $5\text{E}10^{-4}-5$  Հց) համարվում են ռեզոնան-  
սային կենսաբանական համակարգերի համար, այդ իսկ պատճառով էլ  
զգալի ազդեցություն են թողնում մարդու առողջության վրա:

Կենդանի համակարգերի վրա առանձնահատուկ ազդեցություն ունեն  
նաև ինֆրաձայնային ալիքները: Ինֆրաձայնային ալիքների բնական  
աղբյուրներ են ցիկլոնային, հրաբխային տարածքները, ուժեղ անձրևները,  
փոթորկի ժամանակ ծովի մակերևույթը և այլն: Ինֆրաձայն կարող է  
առաջանալ ցանկացած պայթյունի, հատկապես միջուկային  
պայթյունների ժամանակ, ինքնաթիռների, սուզանավերի, հրթիռների  
շարժման ժամանակ: Էլեկտրամագնիսական ինֆրաալիքները, մասնա-  
վորապես ինֆրաձայնները մշտապես գոյություն ունեն Երկրի վրա և  
զգալիորեն (մոտ 100 անգամ) փոփոխվում են գեոմագնիսական դաշտի  
փոփոխման ժամանակ:

Կարելի է վստահաբար ասել, որ Երկրի կենսոլորտը, էվոլյուցիայի  
ընթացքում գտնվելով տարբեր տատանողական պրոցեսների դաշտերի  
ազդեցության տակ, հարմարվել է այդ պայմաններին: Մարդու սրտի,  
ուղեղի և այլ օրգանների էլեկտրական ակտիվության հաճախությունների  
տիրույթը համընկնում է ինֆրաձայնային հաճախությունների տիրույթին:  
Պարզվել է, որ ինֆրաձայններն ազդում են բջջում կալցիումի փոխանակ-  
ման, թաղանթների թափանցելիության, ուղեղի էլեկտրական ակտիվու-  
թյան, էրիթրոցիտների բաժանման և շատ այլ քիմիական պրոցեսների  
վրա:

ԷՄ ալիքները, հատկապես ցածրհաճախային, ազդում են նաև նյարդա-  
յին, արյունատար և իմունային համակարգերի վրա, այսինքն՝ ազդում են  
օրգանիզմի աշխատանքի կայունացման աստիճանի վրա: ԷՄ ալիքների  
նկատմամբ զգայուն են նաև ներբջջային տարրերը՝ միջուկը, միտոքոնդ-  
րիումը, ինչպես նաև հիպոթալամուսը, որը պատասխանատու է սիմպա-  
թիկ համակարգի, հուզական միջավայրի, ծարավի զգացողության, քաղցի  
ձևավորման, քնի կարգավորման համար:

Փորձերը ցույց են տվել, որ թույլ էՄ դաշտերի նկատմամբ զգայուն են բոլոր կենսաբանական օբյեկտները: Կենդանի համակարգերի վրա առանձնահատուկ դրական ազդեցություն ունեն միլիմետրային էլեկտրամագնիսական ալիքները, որն էլ ընկած է միլիմետրային էլեկտրամագնիսական ալիքներով թերապիայի կամ, այսպես կոչված, ալիքային թերապիայի հիմքում:

Այդ ալիքների ազդեցությունը նպաստում է կենսամասայի բազմացմանը և զարգացմանը, բջջում ֆոտոսինթեզող պիգմենտներում մեծանում է թթվածնի անջատումը, ազդում է իոնների տեղափոխման վրա, մեծանում է օրգանական նյութերի արտաթորումը, արագանում է սպիտակուցի սինթեզը: Ուղեղի վրա ազդելու դեպքում մեծանում է հիպոֆիզի հորմոնների արտազատումը, նվազում է լեյկոցիտների քանակությունը, ազդում է հեմոգլոբինի սինթեզի վրա: Չնայած այս ամենի՝ ներկայումս չկա լիարժեք տեսություն, որն ամբողջությամբ կարողանար բացատրել միլիմետրային ալիքների ազդեցությունը: Դժվարությունն այն է, որ միլիմետրային էլեկտրամագնիսական ալիքների քվանտի էներգիան մոտավորապես 100 անգամ փոքր է միջավայրի ջրի մասնիկի ջերմային շարժման էներգիայից և միլիմետրային ալիքները ուժեղ կլանվում են միջավայրի մակերևույթի շերտի կողմից՝ թափանցելով օրգանիզմ (300-500 մկմ): Այս երևույթը բացատրելու համար գոյություն ունեն բազմաթիվ մոտեցումներ: Համաձայն տեսություններից մեկի՝ ազդեցությունը կենսահամակարգերի վրա պայմանավորված է ռեցեպտորների և մաշկի ակտիվ կետերի վրա ազդեցությամբ: Հայտնի է, որ ներքին օրգաններից յուրաքանչյուրը կապված է արտաքին մարմնի որոշակի կետի հետ: Ազդելով այդ կետերի վրա՝ կարելի է փոփոխել օրգանների աշխատանքը:

Մոտեցումներից ամենախրատեսականը և ներկայումս ամենաընդունվածն այն է, որ, ի տարբերություն մնացած ալիքների ազդեցության, միլիմետրային ալիքների ազդեցությունը կենսահամակարգերի վրա ոչ ջերմային է և ունի ինֆորմացիոն բնույթ: Ըստ այս մոտեցման՝ ազդեցությունը կենսահամակարգերի վրա պայմանավորված է ջրի վրա դրանց ազդեցությամբ: Ներկայումս ալիքային թերապիան լավագույն մեթոդներից մեկն է, հատկապես կոմպլեքսային ազդեցության դեպքում, և կարելի է կիրառել բազմաթիվ հիվանդությունների և նույնիսկ ծերության դեմ պայքարի դեպքում: Աղյուսակ 19.1.-ում և 19.2.-ում ներկայացված են էլեկտրամագնիսական ալիքների հիմնական բնութագրերը, ճառագայթման մեխանիզմները, կենսաբանական համակարգերի հետ դրանց փոխազդեցության տեսակները և բժշկության մեջ կիրառումը:

	Երկար, միջին, կարճ, ԳԲՀ ռադիոալիքներ	ԻԿ ճառագայթ.	Տեսանելի լույս
Երկարությունը	10 <sup>3</sup> մ-1մմ	1մմ-0.76մկմ	760-380նմ
Քվանտի էներգիան	1.9(10 <sup>-28</sup> -1.9(10 <sup>-23</sup> Ջ	1.9(10 <sup>-23</sup> -2.56(10 <sup>-19</sup> Ջ	2.56(10 <sup>-19</sup> -5.3(10 <sup>-19</sup> Ջ
Ճառագայթման աղբյուրները	արագացմամբ շարժվող լիցք	մոլեկուլների և ատոմների ճառագայթում	
Նյութի վրա ազդեցությունը	դիէլեկտրիկի բևեացում, կենսաբանական լուծույթներում հոսանքի առաջացում	լուսակենսաբանական պրոցեսներ	
		ջերմառեցեպտոր- ների ակիվացում	տեսողական ռեցեպ- տորների ակտիվացում
Բժշկության մեջ կիրառությունը	ԳԲՀ թերապիա էնդոռադիոգնդ	ջերմային բուժում	լուսային բուժում, լազերային թերապիա
	ախտորոշում օրգանիզմի ջերմային դաշտերի միջոցով		ախտորոշման լումի- նեսցենս մեթոդներ

Ա դյուսակ 19.1.

Ա դյուսակ 19.2.

	ՈւՄ ճառագայթ	Ռենտգենյան ճառագայթ	Գամմա ճառագայթ
	Իոնացնող ճառագայթում		
Ալիքի երկարությունը	380 -10 նմ	80 -10 <sup>-4</sup> նմ	0,1նմ -ից կարճ
Քվանտի էներգիան	5.3(10 <sup>-19</sup> -1.9(10 <sup>-17</sup> Ջ	0.256-1.25(10 <sup>-11</sup> Ջ	0.8(10 <sup>-11</sup> Ջ -ից ավելի
Ճառագայթման աղբյուրները	ատոմների ճառագայթում		գրգռված միջուկի ճառագայթում
Նյութի վրա ազդեցությունը	մաշկի մակերևույթի վրա ֆոտոքիմիական ռեակցիա	կոհերենտ ցրում, իոնիզացում՝ ֆոտո և կոմպտոն էֆեկտ	
Բժշկության մեջ կիրառությունը	լուսային բուժում, ՈւՄ թե- րապիա, վիտամինի սինթեզ	ռենտգենա- թերապիա	գամմա- թերապիա
	ախտորոշման լումինես- ցենտային մեթոդներ	ռենտգեն- ախտորոշում	գամմա- ախտորոշում

**Ռադիոալիքներ** ( $\lambda \cong 10^3$  մ - 1մմ)

Ռադիոալիքային տիրույթին վերագրվում է ամենաերկար էլեկտրամագ-  
նիսական ալիքները. (=3(10<sup>3</sup>մ մինչև 1մ (հաճախությունը 10<sup>5</sup>-3(10<sup>8</sup>Հց), որն  
իր հերթին բաժանվում է երկար, միջին, կարճ և գերակարճալիքային  
տիրույթների և միկրոալիքային տիրույթի՝ (=1(10<sup>-3</sup>մ (հաճախությունը  
3(10<sup>8</sup>-3(10<sup>11</sup>Հց): Ռադիոալիքները, փոխազդելով կենսաբանական համա-

կարգերի հետ, կարող են կորցնել փոփոխական էլեկտրական դաշտի էներգիայի մի մասը, փոխարկվելով ջերմության՝ ի հաշիվ էլեկտրոլիտներում (արյուն, ավիշ, բջջի ցիտոպլազմա) հաղորդման հոսանքի առաջացման (գեներացիայի) և օրգանիզմի հյուսվածքներում դիէլեկտրիկների բևեռացման:

**Ռադիոալիքների աղբյուրները:** Ռադիոալիքների արհեստական աղբյուրներ են ռադիոհաղորդիչ և հեռուստատեսային կայանները, ռադիոլակատորները և արբանյակային կապի համակարգերը: Արհեստական աղբյուրների ռադիոալիքները կարող են ունենալ մեծ ինտենսիվություն և կենսաբանական կարևոր պրոցեսների վրա թողնել բացասական ազդեցություն: Հաստատուն դաշտում գտնվող մարդու համար անվտանգ են  $0,1\text{Վտ/մ}^2$  ինտենսիվությունից փոքր ռադիոալիքները: Ռադիոհաղորդիչ կայանից  $0,5\text{կմ}$ -ից մեծ հեռավորությունների վրա երկար, միջին, կարճ և գերակարճ ալիքային տիրույթի ռադիոալիքները կենսաբանական օբյեկտներում չեն առաջացնում նշանակալից կենսաֆիզիկական էֆեկտներ:

Այն գոտիներում, որտեղ ռադիոալիքներին ինտենսիվությունը  $100\text{Վտ/մ}^2$ -ից մեծ է, մարդու մնալը արգելվում է առողջապահության համաշխարհային կազմակերպության նորմաններով:

Ռադիոալիքներով կենսաբանական հյուսվածքները տաքացնելու երևույթը օգտագործվում են բժշկության մեջ՝ ֆիզիոթերապևտիկ պրոցեդուրաներ անցկացնելու համար, ԳԲՀ, ԳՑՀ-թերապիայի մեջ:

### **Ինֆրակարմիր ճառագայթում** ( $\lambda \approx 1\text{մմ}-0,76\text{մկմ}$ )

Ինֆրակարմիր (ԻԿ) ճառագայթները էլեկտրամագնիսական ալիքներ են, որոնք ընկած են ալիքային սպեկտրի տեսանելի լույսի կարմիր ( $\lambda = 0,76\text{մկմ}$ ) սահմանից մինչև ռադիոալիքների կարճալիքային սահման ( $\lambda = 1-2\text{մմ}$ ): Ցանկացած մարմին առաջացնում է ինֆրակարմիր ճառագայթներ, որոնց ինտենսիվությունը, և ճառագայթված էլեկտրամագնիսական էներգիայի սպեկտրը կախված է ջերմաստիճանից:

Կախված ալիքի երկարությունից՝ փոփոխվում է ինֆրակարմիր ճառագայթների թափանցելիությունը: Ամենամեծ թափանցելիություն ունեն կարճալիքային ԻԿ ճառագայթները ( $\lambda = 0,76-2,5\text{մկմ}$ ), որոնք կարող են թափանցել մարդու հյուսվածքներ ավելի քան մի քանի սանտիմետր խորությամբ: Երկարալիքային ԻԿ ճառագայթները ( $\lambda = 2,5\text{մկմ}-1\text{մմ}$ ) կլանվում են միայն մաշկի մակերևույթի կողմից:

### **ԻԿ ճառագայթների կենսաբանական ազդեցությունը**

ԻԿ ճառագայթների ազդեցությունը կարող է լինել ընդհանուր և տեղա-  
յին: Երկարալիքային ճառագայթների դեպքում աճում է մարմնի մակե-  
րևության ջերմաստիճանը, իսկ կարճալիքայինի դեպքում փոփոխվում է  
թոքերի, ուղեղի, երիկամների և այլ ներքին օրգանների ջերմաստիճանը:  
Մեծ ինտենսիվության դեպքում կարող է փոփոխվել ամբողջ մարմնի  
ջերմաստիճանը 1,5-2°C-ով: Ազդելով ուղեղի հյուսվածքների վրա՝  
կարճալիքային ճառագայթումն առաջացնում է արևահարում: Այդ ժամա-  
նակ մարդը զգում է գլխացավ, գլխապտույտ, շնչահեղձություն, տարա-  
ծության մեջ կողմորոշվելու վատացում, հնարավոր է նաև գիտակցույթ-  
յան կորուստ: Գլխի վրա ինտենսիվ ճառագայթման դեպքում առաջանում  
է ուղեղի հյուսվածքների և թաղանթի այտուց, ի հայտ են գալիս ուղեղա-  
թաղանթաբորբի (մենինգիտ), ուղեղաբորբի (էնցեֆալիտ) նշաններ: Աչքի  
վրա բացասական ազդեցություն ունեն հիմնականում կարճալիքային  
ճառագայթները: Ազդեցության հետևանքով կարող է առաջանալ աչքի  
ինֆրակարմիր կատարակտ: Ջերմային ճառագայթումը մեծացնում է  
շրջապատող միջավայրի ջերմաստիճանը, վնասվում է նրա  
միկրոկլիման, որը կարող է հանգեցնել օրգանիզմի գերտաքացմանը:

#### **ԻԿ ճառագայթների աղբյուրները**

Վիճի շեղման օրենքից հետևում է, որ ԻԿ ճառագայթների  
արհեստական աղբյուրներ են բոլոր այն մարմինները, որոնք ունեն 1,5-  
3800Կ ջերմաստիճան և ըստ բնույթի բաժանվում են 3 խմբի.

-500°C-1300°C մակերևութային ջերմաստիճան ունեցող սարքավորում-  
ներ, որոնք ճառագայթում են հիմնականում  $\lambda = 1,9-3,7$ մկմ երկարության  
ալիք:

1300°C-1800°C մակերևութային ջերմաստիճան ունեցող սարքավորում-  
ներ, որոնք ճառագայթում են  $\lambda = 1,2-1,9$  մկմ երկարության ալիք:

1800°C-ից բարձր մակերևութային ջերմաստիճան ունեցող սարքա-  
վորումներ: Համապատասխանում է ԻԿ, տեսանելի և ՈւՄ տիրույթին:

#### **ԻԿ ճառագայթների հիմնական ազդեցությունը նվազեցնելու համար կատարվում են՝**

- ճառագայթման աղբյուրի ինտենսիվության նվազեցում (հին տեխնոլո-  
գիաների փոխարինումը նորով),
- աղբյուրի կամ աշխատանքային վայրի պաշտպանական էկրանավո-  
րում (մետաղական ցանցերի և շրթանների ստեղծում),
- պրոֆիլակտիկ գործունեություն (արդյունավետ աշխատանքային ռե-  
ժիմ ու հանգիստ, պարբերական բուժզննում):

#### **Ուլտրամանուշակագույն ճառագայթում ( $\lambda \cong 380-10$ Նմ)**

Երկրի համար ուլտրամանուշակագույն (ՈւՄ) ճառագայթման բնական աղբյուր է Արեգակը: Անտեսանելի ՈւՄ ճառագայթներն ի հայտ են գալիս 1500(Ց-ից բարձր ջերմաստիճանով ճառագայթման աղբյուրներում և 2000(Ց -ից բարձր ջերմաստիճանի դեպքում ձեռք են բերում բավականին մեծ ինտենսիվություն: Արհեստական ՈւՄ ճառագայթման աղբյուրներ են գազալիցքաթափված լույսի աղբյուրները, էլեկտրոնային աղեղները (աղեղային էլեկտրավառարաններ), լազերները և այլն:

**ՈւՄ ճառագայթման կենսաբանական ազդեցությունը**

Պայմանավորված կենսաբանական ազդեցությամբ՝ ՈւՄ ճառագայթման սպեկտորը բաժանում են 3 մասի: Կենսաբանական թույլ ազդեցություն ունեն ՈւՄ ճառագայթման  $\lambda = 0,315-0,39$ մկմ ալիքի երկարություն ունեցող ալիքները: Հակառախիտային ազդեցություն ունեն  $\lambda = 0,28-0,315$ մկմ ալիքի երկարություն ունեցող ճառագայթները, իսկ  $\lambda = 0,2-0,28$ մկմ ալիքի երկարություն ունեցող ՈւՄ ճառագայթներն ունակ են ոչնչացնելու միկրոօրգանիզմներ:

Մարդու մարմնի համար վնասակար ազդեցություն կարող են ունենալ ՈւՄ ճառագայթման և՛ պակասը, և՛ ավելցուկը: ՈւՄ ճառագայթման մեծ չափաբաժինները կարող են առաջացնել մաշկային հիվանդություններ, օր.՝ մաշկաբորբ, մաշկի քաղցկեղ և այլն: ՈւՄ ճառագայթման չափաբաժնի մեծացումը կարող է ազդել նաև նյարդային համակարգի վրա, որը արտահայտվում է սրտխառնուքով, գլխացավով, մարմնի ջերմաստիճանի բարձրացմամբ: ՈւՄ ( $\lambda = 0,32$ մկմ) ճառագայթումը կարող է բացասաբար ազդել աչքի ցանցաթաղանթի վրա՝ առաջացնելով բորբոքային պրոցեսներ: Ցանցաթաղանթի ԴՆԹ-ի շղթայի թիմինների միջև առաջանում են քիմիական կապեր (թիմինների դիմերների առաջացում), որոնք կարող են հանգեցնել տեսողության վատթարացման և նույնիսկ կուրացման:

ՈւՄ ճառագայթների անբավարար քանակը նույնպես վնաս է մարդու օրգանիզմին, քանի որ այս ճառագայթները օրգանիզմում կատարվող կենսաբանական պրոցեսների հիմնական խթանիչն են: Ամենացայտուն օրինակը ավիտամինոզն է, երբ խախտվում են ոսկորի ձևավորման և ֆոսֆոր-կալցիում փոխանցման երևույթները, ընկնում է հիվանդությունների դեմ պաշտպանական հատկությունը: Այս երևույթները հիմնականում առաջանում են աշուն-ձմեռ ժամանակահատվածում, երբ գրեթե բացակայում է ՈւՄ ճառագայթումը: ՈւՄ ճառագայթման ազդեցությունը քանակապես գնահատվում է մաշկի կարմրածության աստիճանով: ՈւՄ ճառագայթման բակտերիազերծ հատկությունը կախված է ալիքի երկարությունից, օր.՝  $0,344$ մկմ ալիքի երկարությամբ ճառագայթն օժտված է

1000 անգամ ավելի մեծ ազդեցությամբ, քան 0,39մկմ ալիքի երկարությամբ ճառագայթը: Ամենամեծ բակտերիազերծ ազդեցություն ունեն 0,254-0,257մկմ երկարությամբ ալիքները:

***Ինչպե՞ս պաշտպանվել ՈւՄ ճառագայթումից***

Աչքը պաշտպանելու համար օգտագործվում է ապակե մուգ կանաչ լուսազտիչներ: Իսկ ՈւՄ ճառագայթման լրիվ պաշտպանությունը ապահովում է 2մմ հաստությամբ կապարապակին: ՈւՄ ճառագայթման ավելցուկից պաշտպանվելու համար օգտագործվում են քիմիական և ֆիզիկական տարբեր միջոցներ: Այս ամենը թույլ է տալիս ենթադրել և հաստատել, որ ԷՄ ալիքների գոյությունն անհրաժեշտ և բավարար պայման է Երկրի վրա կյանքի առաջացման և զարգացման համար:

**Թեստային օրինակներ**

**1. Էլեկտրամագնիսական ալիքներն ունեն՝**

- 1. ալիքային հատկություն
- 2. մասնիկային հատկություն
- 3. նյութի մեջ թափանցելու հատկություն
- 4. նյութի հետ փոխազդելու հատկություն

ա) 1,4 բ) 2,3 գ) 1,3 դ) բոլորը

**2. Ո՞ր տիրույթում է ավելի արտահայտված էլեկտրամագնիսական ալիքների ալիքային հատկությունները.**

- 1. ռադիոալիքային
- 2. ինֆրակարմիր
- 3. տեսանելի
- 4. ուլտրամանուշակագույն

ա) 1 բ) 1,4 գ) 1,2 դ) 1,3,4

**3. Ո՞ր էլեկտրամագնիսական ալիքներն ունեն իոնացնող հատկություն.**

- 1. ռենտգենյան
- 2. ինֆրակարմիր
- 3. տեսանելի
- 4. ուլտրամանուշակագույն

ա) 1,4 բ) 1 գ) բոլորը դ) 2,3

**4. Նյութի մեջ թափանցելու հետևանքով էլեկտրամագնիսական ալիքի ինտենսիվությունը՝**

- 1. փոփոխվում է՝ համաձայն Բուգերի օրենքի
- 2. փոփոխվում է՝ կախված այն նյութի տեսակից, որի մեջ թափանցում է
- 3. չի փոփոխվում՝ կախված այն նյութի տեսակից, որի մեջ թափանցում է
- 4. փոխվում է ցուցչային օրենքով

ա) 1,2 բ) 3 գ) 1,2,4 դ) 1,4



5. Ո՞ր բանաձևերով է որոշվում Ֆոտոնի էներգիան, որտեղ  $h$ -ը Պլանկի հաստատունն է,  $\nu$ -ն,  $\lambda$  -ն էլեկտրամագնիսական ալիքի հաճախությունը և ալիքի երկարությունը.

1.  $E = h\nu$     2.  $E = hc\lambda^{-1}$     3.  $E = h\lambda$     4.  $E = hc\nu^{-1}$

ա) միայն 1,4    բ) միայն 1,2    գ) միայն 3    դ) միայն 3,4

6. **Էլեկտրամագնիսական ալիքները, ըստ ալիքի երկարության աճման, դասակարգվում են**

- ա) ռադիոալիքներ, տեսանելի լույս, ռենտգենյան ճառագայթում
- բ)  $\gamma$  ճառագայթում, ուլտրամանուշակագույն ճառագայթում, տեսանելի լույս
- գ) ռենտգենյան ճառագայթում, տեսանելի լույս, ուլտրամանուշակագույն ճառագայթում
- դ) տեսանելի լույս, ինֆրակարմիր ճառագայթում, ռենտգենյան ճառագայթում

7. **Էլեկտրամագնիսական ալիքները, ըստ ալիքի երկարության նվազման, դասակարգվում են՝**

- ա) ռադիոալիքներ, տեսանելի լույս, ռենտգենյան ճառագայթում
- բ)  $\gamma$  ճառագայթում, ուլտրամանուշակագույն ճառագայթում, տեսանելի լույս
- գ) ռենտգենյան ճառագայթում, տեսանելի լույս, ուլտրամանուշակագույն ճառագայթում
- դ) տեսանելի լույս, ինֆրակարմիր ճառագայթում, ռենտգենյան ճառագայթում

8. **Էլեկտրամագնիսական ալիքները, ըստ ալիքի հաճախության աճման, դասակարգվում են՝**

- ա) ռադիոալիքներ, տեսանելի լույս, ռենտգենյան ճառագայթում
- բ)  $\gamma$  ճառագայթում, ուլտրամանուշակագույն ճառագայթում, տեսանելի լույս
- գ) ռենտգենյան ճառագայթում, տեսանելի լույս, ուլտրամանուշակագույն ճառագայթում
- դ) տեսանելի լույս, ինֆրակարմիր ճառագայթում, ռենտգենյան ճառագայթում

9. **Էլեկտրամագնիսական ալիքները, ըստ ալիքի հաճախության նվազման, դասակարգվում են՝**

- ա) ռադիոալիքներ, տեսանելի լույս, ռենտգենյան ճառագայթում
- բ)  $\gamma$  ճառագայթում, ուլտրամանուշակագույն ճառագայթում, տեսանելի լույս
- գ) ռենտգենյան ճառագայթում, տեսանելի լույս, ուլտրամանուշակագույն ճառագայթում
- դ) տեսանելի լույս, ինֆրակարմիր ճառագայթում, ռենտգենյան ճառագայթում

10. **Ի՞նչ չափողականություն ունի  $\mu$  թուլացման գործակիցը.**

ա) վ    բ) վ<sup>-1</sup>    գ) մ/վ    դ) մ<sup>-1</sup>

**Պատասխաններ**

1.դ    2.գ    3.ա    4.գ    5.բ    6.բ    7.ա    8.ա    9.բ    10.դ

## 20. ԲՆԱԿԱՆ ԵՎ ԱՐՇԵՍՏԱԿԱՆ ՌԱԴԻՈԱԿՏԻՎՈՒԹՅՈՒՆ

(Ք.Եղիազարյան, Յու.Բաբայան)

Միջուկի բարդ կառուցվածքն ապացուցող երևույթներից է ռադիոակտիվությունը, որը 1896թ. հայտնաբերել է ֆրանսիացի ֆիզիկոս Անրի Բեկերելը: Նա նկատեց, որ ուրան պարունակող որոշ աղեր օժտված են ինքնաբերաբար ճառագայթներ արձակելու ընդունակությամբ՝ առանց արտաքին գործոնների ազդեցության: Ընդ որում, այդ ճառագայթումներն ընդունակ են թափանցելու տեսանելի լույսի համար անթափանց նյութերի միջով: Այդ ճառագայթներն առաջանում են անկայուն ատոմային միջուկների ինքնակամ տրոհման հետևանքով: Հետագայում Կյուրի ամուսինները հայտնաբերեցին ճառագայթող այլ նյութեր՝ թորիում, պոլոնիում, ռադիում և այլն: Բեկերելի հայտնաբերած ճառագայթումը բարդ կազմություն ունի և օժտված է իոնացնող հատկությամբ:

Ատոմների միջուկների ինքնակամ ճառագայթումը կոչվեց **ռադիոակտիվություն**: Պարզվեց, որ  $Z \geq 82$  կարգաթվով տարրերի միջուկները ռադիոակտիվ են: Ռադիոակտիվության երևույթն ուղեկցվում է էներգիայի անջատմամբ: 1ժ-ում 1գ ռադիումը ճառագայթում է մոտ 600 Ջ էներգիա:

Ծանր միջուկների փոխակերպումների արդյունքում ի հայտ են գալիս հիմնականում երեք տեսակի ճառագայթումներ, որոնք կոչվում են  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  - ճառագայթներ և իրարից բաժանվում են արտաքին մագնիսական կամ էլեկտրական դաշտի օգնությամբ: Բացի Բեկերելից և Կյուրի ամուսիններից, այս երևույթով զբաղվել է Ռեզերֆորդը և պարզաբանել այդ ճառագայթների բնույթը:

Պարզվեց, որ  $\alpha$  - ճառագայթները հելիումի կրկնակի իոնացված ատոմներ են, որոնք ստացան **ալֆա-մասնիկներ** անվանումը,  $\beta$  - ճառագայթները արագ թռչող էլեկտրոններ են՝ բետտա-մասնիկներ, իսկ  $\gamma$  - ճառագայթները շատ կարճ էլեկտրամագնիսական ալիքներ են: Ըառագայթման այս երեք տեսակները խիստ տարբերվում են իրենց ներթափանցող ունակությամբ: Ամենափոքր ներթափանցման ունակություն ունեն  $\alpha$  - ճառագայթները, իսկ ամենամեծ ներթափանցման ունակությամբ օժտված են  $\gamma$  - ճառագայթները:

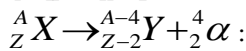
Այն նյութերը, որոնք առանց արտաքին գործոնների ազդեցության ճառագայթում են  $\alpha$ ,  $\beta$  և  $\gamma$  մասնիկներ, կոչվում են **բնական ռադիոակտիվ նյութեր**, իսկ երևույթը՝ **բնական ռադիոակտիվություն**: Այդպիսիք են ռադոնը, թորիումը, ռադիումը, ուրանը և այլն: Հայտնի է նաև արհեստա-

կան ռադիոակտիվության երևույթը, երբ որոշ ոչ ռադիոակտիվ նյութեր, օրինակ,  $\alpha$  -մասնիկներով ռմբակոծելիս վերածվում են նոր ռադիոակտիվ նյութի:

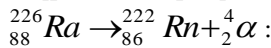
Ռադիոակտիվությունը մեկ տեսակի միջուկների փոխակերպումն է մի այլ տեսակի միջուկների, որն ուղեկցվում է զանազան մասնիկների արձակումով: Միջուկների փոխակերպումներն ենթարկվում են տեղաշարժման կանոնին, որն առաջին անգամ ձևակերպել է անգլիացի ֆիզիկոս Ֆ. Սոդդին: Ատոմի միջուկը կազմված է պրոտոններից և նեյտրոններից: Պրոտոնների թիվը միջուկում հավասար է ատոմի կարգաթվին՝  $Z$  -ին: Քանի որ պրոտոնի և նեյտրոնի զանգվածները գրեթե հավասար են  $m_n \cong m_p$ , ապա միջուկի զանգվածը կարելի է ներկայացնել  $M \cong Zm_p + Nm_n \cong Am_p$  տեսքով, որտեղ նեյտրոնների  $N$  թվի և պրոտոնների  $Z$  թվի գումարը՝  $A = Z + N$ , կոչվում է միջուկի զանգվածային թիվ:

Քննարկենք ռադիոակտիվ տրոհման հիմնական տեսակները.

1.  $\alpha$  - տրոհման ժամանակ միջուկը կորցնում է  $2e$  դրական լիցք, և նրա զանգվածային թիվը փոքրանում է չորս միավորով: Դրա հետևանքով տարրը պարբերական համակարգում երկու վանդակ տեղաշարժվում է դեպի ձախ: Դա սիմվոլիկ կարելի է գրել.

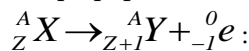


$\alpha$  - տրոհման օրինակ է ռադիում-226 -ի տրոհումը՝



Եթե տրոհվելուց հետո փոխակերպված միջուկը նորից ռադիոակտիվ է, ապա այն շարունակում է տրոհվել մինչև կայուն միջուկի փոխակերպվելը:

2.  $\beta$  - տրոհման ժամանակ միջուկից դուրս է թռչում էլեկտրոն: Արդյունքում միջուկի լիցքը մեծանում է մեկ միավորով, իսկ զանգվածային թիվը մնում է անփոփոխ.



Այստեղ  ${}_{-1}^0 e$  նշանակված է էլեկտրոնը:  $\beta$  - տրոհումից հետո տարրը պարբերական համակարգում մեկ վանդակով տեղաշարժվում է դեպի աջ:

3.  $\gamma$  - ճառագայթումը չի ուղեկցվում միջուկի լիցքի և զանգվածային թվի փոփոխությամբ, ատոմի միջուկը գրգռված վիճակից անցնում է հիմնական վիճակի՝

$$\left( \frac{dX}{dt} \right)^* \rightarrow \frac{dX}{dt} + \gamma X$$

(\*) նշանը ցույց է տալիս, որ միջուկը գտնվում է գրգռված վիճակում: Ռադիոակտիվ տրոհման ժամանակ առաջացած նոր միջուկները սովորաբար նույնպես ռադիոակտիվ են:

$\gamma$  -ճառագայթները կարճ՝  $\lambda$  ( $10^{-13}$ -ից մինչև  $10^{-10}$  մ ալիքի երկարությամբ էլեկտրամագնիսական ալիքներ են:  $\gamma$  -ճառագայթները, ունենալով ալիքի փոքր երկարություն, հստակորեն դրսևորում են նաև մասնիկային հատկություններ:  $\gamma$  -ճառագայթմանը բնորոշ է ներթափանցման մեծ ունակությունը:

**Ռադիոակտիվ տրոհման օրենքը: Կիսատրոհման պարբերություն**

Տրոհման հետևանքով ռադիոակտիվ միջուկների քանակը նյութում անընդհատ փոքրանում է, որի պատճառով ընկնում է նյութի ակտիվությունը՝ մեկ վայրկյանում տրոհումների թիվը:

Դիցուք ժամանակի  $t$  պահին տրոհման ենթակա միջուկների թիվը  $N$  է:  $dt$  ժամանակում այդ միջուկների թիվը կպակասի  $dN$  -ով: Ակնհայտ է, որ  $dN(Ndt)$  Ուստի՝

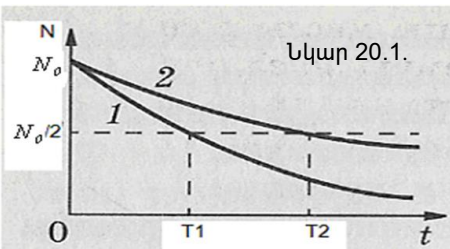
$$dN = -\lambda N dt, \tag{20.1.}$$

որտեղ  $\lambda$  -ն համեմատականության գործակից է և կոչվում է նյութի ռադիոակտիվ տրոհման հաստատուն: Յուրաքանչյուր ռադիոակտիվ տարրի համապատասխանում է  $\lambda$  -ի որոշակի արժեք:  $\square$ - $\square$  նշանը ցույց է տալիս, որ ժամանակի ընթացքում  $N$ -ը նվազում է:

Ինտեգրելով (20.1)-ը՝ կստանանք.

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \tag{20.2.}$$

որը և արտահայտում է ռադիոակտիվ տրոհման հիմնական օրենքը:



Այստեղ  $N_0$ -ն սկզբնական  $t=0$  պահին միջուկների թիվն է, իսկ  $N$ -ը՝ ժամանակի  $t$  պահինը: Ռադիոակտիվ տրոհման օրենքի գրաֆիկները, համաձայն (20.2)-ի, տարբեր տարրերի համար կունենա հետևյալ տեսքը (նկար 20.1.): Ռադիոակտիվ տրոհման պրոցեսը

նկարագրող կարևորագույն բնութագիրը նյութի կիսատրոհման  $T$  պարբերությունն է: Դա այն ժամանակամիջոցն է, որի ընթացքում տրոհվում է ռադիոակտիվ միջուկների կեսը:

(20.2.) բանաձևից կստանանք.

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda T} = \frac{N_0}{2}, \quad \text{որտեղից} \quad T = \frac{\ln 2}{\lambda} : \quad (20.3.)$$

T կիսատրոհման պարբերությունը ռադիոակտիվ տրոհման արագությունը բնութագրող հիմնական մեծությունն է: Օրինակ՝ ռադոնի համար  $T=1$ ր, ռադիումի համար՝ 1600 տարի, իսկ ուրանի համար՝ 4,5 մլրդ տարի:

Ռադիոակտիվ նյութը բնութագրվում է նաև ակտիվությամբ՝  $A$ , որը հավասար է միավոր ժամանակում կատարվող տրոհումների թվին:

Օգտվելով 20.1-ից և 20.2-ից՝ կստանանք.

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t} : \quad (20.4.)$$

Ինչպես երևում է 20.4.-ից, ակտիվությունը, ժամանակից կախված, նվազում է ցուցչային օրենքով: Ակտիվության միավորն է Բեկերելը (Բկ): Դա այն նյութի ակտիվությունն է, որտեղ մեկ վայրկյանում տեղի է ունենում մեկ միջուկի տրոհում: Ակտիվության համար կիրառվում է նաև Կյուրի (Կի) միավորը՝  $1 \text{ Կի} = 3,7 \cdot 10^{10}$  Բկ:

### **Իոնացնող ճառագայթների կենսաբանական ազդեցությունը**

Իոնացնող ճառագայթում կոչվում է մասնիկների և էլեկտրամագնիսական քվանտների հոսքը, որոնց փոխազդեցությունը միջավայրի հետ հանգեցնում է նրա ատոմների և մոլեկուլների իոնացմանը: Այդպիսիք են ուլտրամանուշակագույն, ռենտգենյան և  $\alpha, \beta, \gamma$ -ճառագայթները: Օրգանիզմում իոնացնող ճառագայթման ազդեցության ներքո առաջնային ֆիզիկաքիմիական պրոցեսները քննարկելիս անհրաժեշտ է հաշվի առնել երկու՝ սկզբունքորեն տարբեր փոխազդեցության հնարավորություններ. ջրի մոլեկուլների հետ և օրգանական միացությունների հետ: Իոնացնող ճառագայթումների ազդեցությամբ տեղի են ունենում նյութերի քիմիական փոխարկումներ, որը ստացել է ռադիոլիզ անվանումը: Թթվածնի հետ ռեակցիան կարող է հանգեցնել հիդրօքսիդի և ջրածնի հիդրօքսիդի առաջացմանը:

Իոնացնող ճառագայթումների փոխազդեցությունը օրգանական միացությունների մոլեկուլների հետ կարող է առաջացնել մոլեկուլի գրգռում, իոններ, ռադիկալներ և օքսիդներ: Հասկանալի է, որ այդպիսի փոփոխված քիմիական կազմով մեծ ակտիվություն ունեցող միացությունները կփոխազդեն կենսաբանական համակարգի մնացած մոլեկուլների հետ, որը կբերի թաղանթի, բջիջների և ամբողջ օրգանիզմի ֆունկցիայի խախտման:

Իննացնող ճառագայթումը կենսաբանական օբյեկտների վրա թողնում է յուրահատուկ ազդեցություն: Կենդանի օրգանիզմի հյուսվածքների վրա նրա ազդեցության արդյունք են ատոմների և մոլեկուլների գրգռման և իննացման երևույթները: Այդ դեպքում խզվում է մոլեկուլների միջև քիմիական կապը, և ինքը՝ մոլեկուլը, տրոհվում է բաղադրիչ քիմիական ռադիկալների: Այդպիսի փոփոխությունը խախտում է բջջի նորմալ կենսագործունեությունը և կարող է բերել նրա մահվան: Ազդեցության կենսաբանական էֆեկտը կախված է իննացնող ճառագայթման տեսակից, ճառագայթման չափաբաժնից, ազդեցության ժամանակամիջոցից, ճառագայթվող մակերևույթի չափերից և օրգանիզմի անհատական զգայունությունից:

Իննացնող ճառագայթման ցանկացած տեսակ օրգանիզմի համար վտանգավոր է: Նշանակալից չափաբաժնով ճառագայթման երկարատև ազդեցությունը կարող է հանգեցնել ծանր հետևանքների: Ճառագայթահարվելու դեպքում ամենից զգայուն են արյունը և արյունաստեղծ օրգանների բջիջները: Ուստի ճառագայթային հիվանդության առաջին նախանշանն է արյան բաղադրության փոփոխությունը: Ճառագայթահարման դեպքում խախտվում է բջջի բաժանման ունակությունը, որի հետևանքով առավելապես տուժում են աճող օրգանիզմները: Այն մեծ ազդեցություն ունի ժառանգականության վրա, վնասում է քրոմոսոմների գեները:

*α* - ճառագայթներն ունեն փոքր թափանցման ունակություն: *α* - մասնիկների հոսքը արտաքին ճառագայթման դեպքում վտանգավոր չէ մարդու համար, քանի որ դրանք լրիվ պահվում են հագուստի կողմից, իսկ մարմնի բաց տեղամասերին ընկնելու դեպքում կլանվում են վերնամաշկի եղջերային շերտի կողմից: Սակայն *α* - մասնիկներն օրգանիզմի մեջ ընկնելու դեպքում ճառագայթումը կործանիչ ազդեցություն է թողնում բջիջների վրա:

*β* - ճառագայթումներն ունեն բավականին թափանցող մեծ ունակություն և վտանգավոր են նաև արտաքին ճառագայթման դեպքում:

*γ* - ճառագայթումներն ունեն շատ մեծ թափանցման ունակություն:

Միջուկային *α, β, γ* - ճառագայթման հետևանքով կենդանի օրգանիզմը ստանում է ճառագայթային հիվանդություն (բջիջներն էապես վնասվում են), իսկ ճառագայթման մեծ ինտենսիվության դեպքում կենդանի օրգանիզմները ոչնչանում են:

Մթնոլորտային օդը օժտված է բնական ռադիոակտիվությամբ, որը հիմնականում պայմանավորված է նրանում ռադոնի և նրա քայքայման արդյունքների առկայությամբ: Ռադոնը իներտ գազ է, որը հողում

պարունակող ռադիումի քայքայման արդյունք է: Օդում ռադոնի քանակությունը պայմանավորված է հողում եղած ռադիումի քանակով և նրանից ռադոնի դուրս գալու պայմաններով:

Միջուկային ճառագայթման ազդեցության բնույթը կախված է ճառագայթման տեսակից և նրա կլանված չափաբաժնից (դոզայից):

**Կլանման չափաբաժինը (կլանման դոզան):** Հիմնական դոզիմետրիական մեծություն է կլանման չափաբաժինը՝ D: Այն տվյալ ծավալում կլանված ճառագայթման էներգիայի (E) հարաբերությունն է այդ ծավալում եղած նյութի զանգվածին՝  $D=E/m$ : Կլանման չափաբաժնի միավորն է գրեյը (Գր):

$$1 \text{ Գր} = 1 \text{ Զ/կգ:}$$

Ճառագայթման բնական ֆոնը (տիեզերական ճառագայթները, շրջապատող միջավայրի, այդ թվում Երկրի ընդերքի ռադիոակտիվությունը) տարեկան կազմում է  $2 \cdot 10^{-3}$  Գր մեկ մարդու համար: Բարձր ճառագայթում ունեցող տեղերում աշխատող մարդկանց համար տարեկան առավելագույն չափաբաժինը սահմանվել է 0,05 Գր: Կարճ ժամանակամիջոցում ստացած 3-10 Գր չափաբաժինը մահացու է մարդու համար:

Բավականին մեծ կիրառություն է ստացել արտահամակարգային միավորը՝ ռենտգենը (Ռ): Այն հիմնականում օգտագործվում է որպես ռենտգենյան և գամմա-ճառագայթման իոնացնող հատկությունը բնութագրող չափի միավոր՝  $1 \text{ Ռ} \cong 0.01 \text{ Գր:}$

Սակայն կլանման չափաբաժինը չի արտացոլում ճառագայթման կենսաբանական ազդեցությունը: Վերջինիս համար օգտագործվում է արդյունավետ կամ համարժեք չափաբաժինը՝ H: Այն հավասար է կլանման չափաբաժնի և որակական գործակցի՝ K-ի արտադրյալին: Վերջինս բնութագրում է այս կամ այն տեսակի ճառագայթման կենսաբանական ազդեցության արդյունավետությունը: Այսպիսով,

$$H = D \cdot K:$$

Կլանման ճառագայթման էներգիայի համարժեք չափաբաժնի միավորն է զիվերտը (Ջ), որը նույնպես չափվում է Ջ/կգ միավորով:

K գործակիցը կախված է իոնացնող ճառագայթման տեսակից և էներգիայից: Օրինակ՝ նեյտրոններից կամ պոզիտրոններից կազմված ճառագայթումը 10-ից 20 անգամ ավելի վնասակար է նույն էներգիայով  $\gamma$ -ճառագայթումից կամ ռենտգենյան ճառագայթումից: Հետևաբար այդ մասնիկների համար K-ն 10-20 է: Այս տիպի ճառագայթման համար 1 Գր էյ կլանված ճառագայթային էներգիան առաջացնում է  $10 \div 20$  Զիվերտ կենսաբանական ազդեցություն:

Եվս մեկ կարևոր հանգամանք. իոնացնող ճառագայթման ազդեցությունը կախված է այն ընդունելու ժամանակից: Տարբեր ժամանակներում մարդու կողմից ստացած նույն չափաբաժինը տարբեր ձևերով է ազդում նրա վրա:

Ճառագայթման նկատմամբ առավել զգայուն են մարդու ողնուղեղը, փայծաղը, գեղձերը և ստամոքսը: Մեծ չափաբաժինների դեպքում մարդու մահը վրա է հասնում ստամոքսի կամ ողնուղեղի վնասումից: Իոնացնող ճառագայթումը, վնասելով մոլեկուլները, խախտում է բջիջների բաժանման պրոցեսը, ինչը հանգեցնում է բջիջների ոչնչացմանը:

**Դոզիմետրիա. իոնացնող ճառագայթումից պաշտպանվելը**

Ռադիոակտիվ ճառագայթման ցանկացած ոլորտում աշխատելիս պետք է ձեռք առնել միջոցներ՝ նրա ներգործությունից պաշտպանվելու համար: Պաշտպանվելու համար անհրաժեշտ եղանակներ ու միջոցներ ընտրելիս պետք է իմանալ իոնացնող ճառագայթման չափաբաժինները, ինչպես նաև ռադիոակտիվ նյութերի ակտիվությունը: Չափաբաժինը որոշելու համար օգտագործվում են դոզաչափային սարքեր՝ դոզիմետրեր: Դոզիմետր անվանում են իոնացնող ճառագայթային դոզան կամ դոզայի հետ կապված մեծությունները չափող սարքավորումը:

Ամենահեշտը  $\alpha$  - մասնիկներից պաշտպանվելն է, քանի որ ռադիոակտիվ նյութից մի քանի սանտիմետրի վրա դրանք կլանվում են օդում կամ հագուստում: Ավելի դժվար է  $\beta$  - ճառագայթումից պաշտպանվելը, քանի որ դրանք օդում անցնում են 5 մ հեռավորություն: Ամենադժվարը  $\gamma$  - ճառագայթումից պաշտպանվելն է՝ դրանց մեծ ներթափանցման ունակության պատճառով:

**Թեստային օրինակներ**

**1. Ռադիոակտիվություն կոչվում է՝**

- ա) անկայուն նյութերի ինքնակամ տրոհումը
- բ) ատոմների տրոհումը միջուկների և էլեկտրոնների
- գ) անկայուն միջուկների ինքնակամ տրոհումը
- դ) բոլոր պատասխանները սխալ են

**2. Ո՞ր օրենքով է արտահայտվում ռադիոակտիվ տրոհման պրոցեսը.**

ա)  $N = N_0 e^{\lambda t}$ ,    բ)  $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$ ,    գ)  $\frac{N_0}{N} = e^{-\lambda t}$ ,    դ)  $N_0 = N e^{-\frac{t}{\lambda}}$

**3. Միջուկների բնական ռադիոակտիվ ( $\alpha, \beta$ ) տրոհման ժամանակ՝**

- 1) կլանվում է էներգիա
- 2) անջատվում է էներգիա
- 3) խախտվում է լիցքի պահպանման օրենքը
- 4) փոխվում է միջուկի լիցքը



ա) միայն 2,3      բ) միայն 2,4      գ) միայն 1,3      դ) միայն 2,3

**4. Նյութի կիսատրոհման  $T$  պարբերությունը .....**

1) այն ժամանակամիջոցն է, որի ընթացքում ռադիոակտիվ միջուկների թիվը նվազում է 2 անգամ

2) որոշվում է  $T = \lambda^{-1} \ln 2$  բանաձևով

3) չափման միավորն է Կյուրին

4) կախված չէ ռադիոակտիվ նյութը կազմող ատոմների միջուկների բաղադրությունից

ա) միայն 1,2      բ) միայն 2,3      գ) միայն 1,3,4      դ) միայն 1,2,3

**5.  $\Gamma$  նշ միավորներով է չափվում ռադիոակտիվ տրոհման հաստատունը ( $\lambda$ ) .**

ա) մետր<sup>-1</sup>      բ) մետր      գ) վայրկ      դ) վայրկ<sup>-1</sup>

**6. Միջուկների  $\beta$  -տրոհման հետևանքով՝**

1) միջուկի լիցքը չի փոխվում      2) միջուկի զանգվածը փոքրանում է

3) անջատվում է էներգիա      4) գոյանում են ավելի կայուն միջուկներ

ա) միայն 1,2,3      բ) բոլորը ճիշտ են      գ) միայն 2,3,4      դ) միայն 1,3,4

**7. Իոնացնող ճառագայթման ցանկացած տեսակ երկարատև ազդեցության դեպքում կարող է առաջացնել՝**

1) արյան բաղադրության փոփոխություն

2) բջջի ժառանգական ապարատի փոփոխություն

3) ազատ ռադիկալներ

4) ոսկրերի բաղադրության փոփոխություն

ա) միայն 1,3      բ) բոլորը      գ) միայն 1,2,3      դ) միայն 1,4

**8. Ռադիոակտիվ նյութի ակտիվության ( $A$ ) չափման միավորն է՝**

ա) Ռենտգեն,      բ) Բեկերել,      գ) Դեցիբել,      դ) Գրեյ

**9. Որքա՞ն ժամանակ հետո ռադիոակտիվ տրոհման հետևանքով ուրանի միջուկների թիվը կավելանա  $e$  անգամ.**

ա)  $\lambda^{-1}$ ,      բ)  $\lambda$ ,      գ)  $\lambda^e$ ,      դ) բոլոր պատասխանները սխալ են

**10. Որքա՞ն ժամանակ հետո ռադիոակտիվ տրոհման հետևանքով ուրանի միջուկների թիվը կփոքրանա  $e$  անգամ.**

ա)  $\lambda^{-1}$ ,      բ)  $\lambda$ ,      գ)  $\lambda^e$ ,      դ)  $e^\lambda$

**11. Ռադիոակտիվ նյութի ակտիվությունը ( $A$ )՝**

1) հավասար է 1 վրկ կատարվող տրոհումների թվին

2) որոշվում է  $A = -\frac{dN}{dt}$  բանաձևով

3) չափվում է Գրեյ միավորով

4) որոշվում է  $A = \frac{\ln 2}{T}$  բանաձևով, որտեղ  $T$ -ն կիսատրոհման պարբերությունն է

ա) միայն 1,2,4      բ) միայն 2,3,4      գ) միայն 1,2      դ) միայն 1,3

12. Թորիումի  ${}_{90}^{234}\text{Th}$  միջուկը ենթարկվում է երեք  $\alpha$  տրոհման: Որոշել նեյտրոնների թիվն առաջացած միջուկում.

- ա) 234,                      բ) 228,                      գ) 144,                      դ) 138,

13. Ի՞նչ միջուկի է փոխակերպվում  ${}_{12}^{27}\text{Mg}$ -ի միջուկը  $\beta$  տրոհման հետևանքով.

- ա)  ${}_{10}^{23}\text{Ne}$                       բ)  ${}_{12}^{26}\text{Mg}$                       գ)  ${}_{11}^{27}\text{Na}$                       դ)  ${}_{13}^{27}\text{Al}$

14. Հետևյալ պնդումներից ո՞րն է ճիշտ: Զիվերտը՝

- 1) կլանված ճառագայթման չափաբաժնի միավորն է
- 2) արտահայտում է ճառագայթման կենսաբանական էֆեկտը
- 3) չափվում է 1 Ջ/կգ միավորով
- 4) չափվում է 1 կկալ/կգ միավորով

- ա) ոչ մեկը                      բ) 1, 3, 4                      գ) միայն 3                      դ) բոլորը

15. Զիվերտն արտահայտել Մհ-ի հիմնական միավորներով՝

- ա)  $\text{մ}^2\text{վ}^{-2}$                       բ)  $\text{մ}^2/\text{կգվ}^2$                       գ)  $\text{մ}^2/\text{կգվ}$                       դ)  $\text{մ}^{-2}\text{վ}^{-2}$

**Պատասխաններ**

- 1.գ    2.բ    3.բ    4.ա    5.դ    6.գ    7.բ    8.բ    9.դ  
 10.ա   11.գ   12.դ   13.դ   14.դ   15.ա

**21. ԱԿՈՒՍՏԻԿԱ: ԻՆՏԵՐԱԶՍՆ ԵՎ ՈՒԼՏԻՐԱԶՍՆ: ԴՐԱՆՑ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԺՇԿՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ**

(Ա. Կոբեյան, Յու. Բաբայան)

Ակուստիկան գիտություն է ձայնի վերաբերյալ: Այն ուսումնասիրում է նյութի առաձգական տատանումներ և ալիքներ, որոնք կարող են մարդու կողմից ընկալվել որպես ձայն:

Ժամանակակից ակուստիկան ընդգրկում է լայն հարցերի շրջանակ: Ըստ այդմ՝ այն բաժանվում է մի շարք բաժինների.

**Ֆիզիկական ակուստիկա**, որն ուսումնասիրում է տարբեր միջավայրերում տարածվող առաձգական ալիքների առանձնահատկությունները:

**Ֆիզիոլոգիական ակուստիկա**, որն ուսումնասիրում է մարդու և կենդանիների ձայնառաջացման, ձայնընկալման օրգանների կառուցվածքը և աշխատանքը:

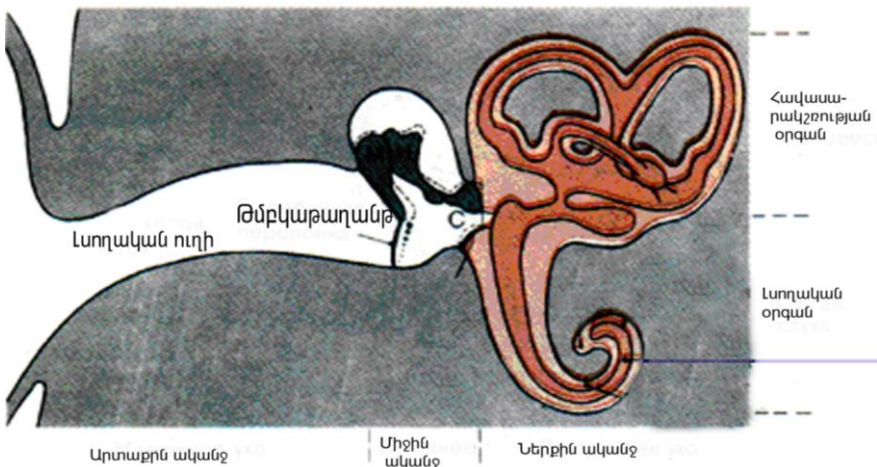
Պայմանավորված էվոյուցիոն զարգացման փուլով, բնակության վայրով և տվյալ օրգանիզմի համար կենսաբանական նշանակություն ունեցող սիմվոլներով՝ լսողական համակարգի բնութագրերը տարբեր տեսակի կենդանիների դեպքում բավական տարբեր են: Էվոյուցիայի

պրոցեսում ձևավորված լսողական համակարգ առաջինը հանդիպում է կաթնասունների շրջանում:

Առաձգական միջավայրի (մասնավոր դեպքում՝ օդի) այնպիսի տատանումները, որոնց հաճախություններն ընկած են  $16 \div 20$  հերցից (Հց) մինչև 20.000 հերց միջակայքում, և որոնք համապատասխան պայմաններում կարող են ընկալվել մարդու ականջի կողմից, կոչվում են **ձայնային տատանումներ**:

Ի սկզբանե մարդկանց հայտնի էր, որ լսողությունը պայմանավորված է ականջով: Մական միայն 19-րդ դարի սկզբներին վերջնականապես հաջողվեց ապացուցել, որ լսողական օրգանը կազմված է գանգոսկրում տեղակայված խոռոչների համակարգից: Լսողական օրգանը կազմված է **արտաքին, միջին և ներքին ականջներից** (նկ. 21.1.):

Ձայնային տատանումները, անցնելով արտաքին լսողական ուղղով, որը կապում է արտաքին և միջին ականջները, առաջացնում են թմբկաթաղանթի տատանումներ: Այդ տատանումները միջին ականջում գտնվող ոսկրիկների միջոցով (մուրձիկ, սալիկ և սապանդակիկ) հաղորդվում են ներքին ականջի հեղուկ միջավայրերին (շուրջավիշին (պերիլիմֆ) և ներավիշին (էնդոլիմֆ)): Առաջացած հիդրոմեխանիկական տատանումները տատանումներ են առաջացնում ներքին ականջի խխունջի միջնորմում, որը կոչվում է բազալ կամ հիմնային թաղանթ: Հիմնային թաղանթում են գտնվում ռեցեպտորային մագական բջիջները, որոնք կազմում են կարտիկ օրգանը:



Նկ.21.1. Լսողական օրգանի կազմությունը:

Հիմնային թաղանթի տատանումների մեխանիկական էներգիան ձևափոխվում է ռեցեպտորների գրգիռի, որոնք իրենց հերթին գրգռում են լսողական նյարդերը: Դրանցում առաջացած գործողության պոտենցիալը հաղորդվում է կենտրոնական նյարդային համակարգ: Ձայնային այսպիսի տատանումները կոչվում են **օդային**: Ձայնի զգացողություն առաջանում է նաև այն դեպքում, երբ տատանվող մարմինը (օրինակ՝ կամերտոնը) սերտ հպված է գանգին: Այս դեպքում տատանումները փոխանցվում են գանգի ոսկորների միջոցով: Տատանումների նմանատիպ փոխանցումը կոչվում է ձայնի **ոսկրային հաղորդում**: Անօրյա կյանքում ձայնի ոսկրային հաղորդումը քիչ է դիտարկվում:

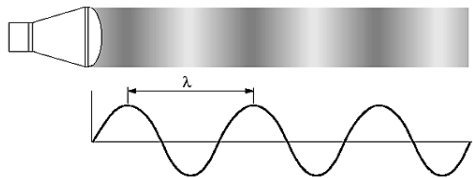
Լսողության շեմի տարբերությունները ( $16 \div 20$  Հգ-ից 20.000 Հգ) պայմանավորված են տարբեր մարդկանց ականջի կառուցվածքի առանձնահատկություններով՝ նրանց տարիքով, լսողական հիվանդությունների առկայությամբ, մարզվածության աստիճանով և այլն (աղյուսակ 21.1.):

Աղյուսակ 21.1.

Մարդու կողմից որպես ձայն ընկալվող տատանումների հաճախությունների տիրույթները՝ պայմանավորված տարիքով			
երեխաներ	20 տարեկան	35 տարեկան	50 տարեկան
16 - 22.000 Հգ	16 - 20.000 Հգ	25 - 15.000 Հգ	30 - 12.000 Հգ

Լսողության վերին սահմանը՝ 20.000 Հգ, նույնպես մոտավոր է: Կան անհատներ, ովքեր կարողանում են 22 կՀգ կամ ցուցե ավելի մեծ հաճախությամբ տատանումներն ընկալել որպես ձայն: Կան կենդանիներ, որոնք լսում են շատ ավելի լայն տիրույթի ձայներ: Օրինակ՝ շունը, ձին լսում են մոտ մինչև 50.000 Հգ ալիքի հաճախություն ունեցող ձայները:  $16 \div 20$  Հգ-ից փոքր և 20.000 Հգ-ից մեծ հաճախության տատանումները մարդու կողմից չեն կարող ընկալվել որպես ձայներ: Այդպիսի տատանումներին համապատասխանող ձայները կոչվում են ինֆրաձայներ և ուլտրաձայներ:

Ձայնային ալիքները **երկայնական են** (նկ. 21.2.): Հիշեցնենք, որ ալիքները կոչվում են երկայնական, եթե տատանվող մասնիկի տատանումները ուղղությունը համընկնում է ալիքի



տարածման ուղղությամբ: Երկայնական ալիքների տարածման ժամանակ լինում են միջավայրի խտացումներ Նկ.21.2.

և նոսրացումներ: Օրինակ՝ տատանվող թաղանթն առաջացնում է իրեն հարող օդի խտացումներ և նոսրացումներ: Հատկանշական է այն

փաստը, որ օդի մոլեկուլները մեծ հեռավորություններ չեն անցնում, դրանք լոկալ տատանումներ են կատարում: Բսկ ալիքը, որը դիտվում է մեծ հեռավորություններում, պայմանավորված է էներգիայի տեղափոխությամբ:

**Ալիքային շարժման պրոցեսում միջավայրում կատարվում է էներգիայի տեղափոխություն՝ առանց նյութի տեղափոխության:**

Թաղանթը տատանվում է՝ նույն ուղղությամբ տատանման մեջ դնելով օդի շերտերը և առաջացնելով ձայնային ալիքներ: Քանի որ վակուումում նյութ չկա, ուստի ձայնային ալիքները վակուումում տարածվել չեն կարող:

Տատանվող առաձգական միջավայրը կարող է լինել ինչպես գազային, այնպես էլ հեղուկ կամ պինդ: Մակայն սովորաբար ականջի թմբկաթադանթը տատանման մեջ է դրվում տատանվող գազի (օդի) կամ հեղուկի կողմից:

Եթե թաղանթը կատարի ներդաշնակ տատանումներ, ապա նույնպիսի տատանումներ կկատարեն նաև օդի շերտերը: Այդպիսի տատանումներին համապատասխանող ձայները կոչվում են **պարզ տոներ**: Օրինակ՝ կամերտոնի արձակած ձայնը պարզ տոն է: Պարզ տոնի հիմնական ֆիզիկական բնութագիրը հաճախությունն է, որն օբյեկտիվ գնահատական է: Ոչ ներդաշնակ տատանումներին համապատասխանող ձայները կոչվում են **բարդ տոներ**: Օրինակ՝ բարդ տոն կարող են առաջացնել երաժշտական գործիքները, խոսակցական ապարատը՝ ձայնավոր հնչյունների շնորհիվ: Բարդ տոները կարելի է վերլուծել պարզ տոների: Այդ վերլուծման ամենափոքր հաճախությունը՝  $\nu_0$ -ն, անվանում են **հիմնական տոն**:

Ընդհանրապես բոլոր ձայնային աղբյուրների պարբերական տատանումներից առաջացած ձայները կոչվում են **երաժշտական ձայներ** կամ **երաժշտական տոներ**: Բացի երաժշտական ձայներից, գոյություն ունեն նաև **ձայնային հարվածներ** և **աղմուկներ**:

Ձայնային հարվածը կարճատև ձայնային ազդեցությունն է: Ձայնային հարվածներ են առաջանում, օրինակ, կրակոցի, պայթյունի, կայծակի և այլ դեպքերում:

Աղմուկներն առաջանում են տարբեր ուժգնության ոչ պարբերական հարվածների դեպքում: Օրինակ՝ աղմուկ առաջացնում են ծափահարությունները, ջրի խշշոցը, անձրևը:

Տրված հաճախությամբ պարզ տոնի ձայնի տարածման արագությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu, \quad (21.1.)$$

որտեղ  $\lambda$  -ն ալիքի երկարությունն է,  $\nu$  -ն՝ ալիքի տատանման հաճախությունը,  $T$  -ն՝ պարբերությունը:

Տարբեր միջավայրերում, կախված այդ միջավայրի նյութի հատկություններից, ձայնը տարածվում է տարբեր արագություններով: Այն պայմանավորված է երկու գործոններով՝ նյութի առաձգականությամբ և նյութի խտությամբ: Նյութի առաձգական հատկությունները փոխվում են՝ կախված նրա դեֆորմացիայի տեսակից: Չայնային ալիքները հեղուկներում և գազերում սեղմման և ձգման ալիքներ են: Այդպիսի ալիքների տարածման արագությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (21.2.)$$

որտեղ  $E$ -ն նյութի առաձգականության մոդուլն է, իսկ  $\rho$  -ն՝ խտությունը: Նյութի առաձգականության մոդուլը կախված է նաև ջերմաստիճանից: Ընդհանրապես այդ կախումը բարդ է: Այդ պատճառով ձայնի արագության համար մենք կարող ենք բերել միայն որոշ փորձնական տվյալներ: Օրինակ՝ նորմալ մթնոլորտային ճնշման դեպքում ձայնի արագությունը օդում  $0^\circ\text{C}$ ,  $15^\circ\text{C}$ ,  $30^\circ\text{C}$  և  $100^\circ\text{C}$  ջարմաստիճանների դեպքում համապատասխանաբար հավասար է  $332$  մ/վ,  $342$  մ/վ,  $349$  մ/վ և  $386$  մ/վ:

**Ձայնի տոնի բարձրությունը** պայմանավորված է նրա հաճախությամբ: Հաճախությունից կախված ձայնը կարող է ընկալվել որպես բարձր կամ ցածր տոն: Հաճախության մեծացմանը զուգընթաց՝ ձայնի տոնը բարձրանում է և ընդհակառակը: Տղամարդկանց ձայնի տոնի համեմատությամբ կանանց ձայնի տոնը ավելի բարձր է: Բարձր տոնի ձայներ են, օրինակ, մոծակի, ծորիդի ձայները, սուլոցները, ճչոցները:

Անհամասեռ միջավայրում տարբեր ուղղություններով ձայնը կլանվում է տարբեր չափերով: Դա նշանակում է, որ տարբեր ուղղություններով աղբյուրից արձակված ձայնը միևնույն հեռավորության վրա կունենա տարբեր ուժգնություններ: **Ձայնի ուժը կամ ուժգնությունը** համեմատական է ձայնի ինտենսիվությանը և կախված է միջավայրի մասնիկների տատանման լայնությունից: Օրինակ՝ եթե, անփոփոխ թողնելով ակասջի և կամերտոնի փոխադարձ դիրքը, տարբեր ուժերով հարվածենք կամերտոնին, մենք կընկալենք տարբեր ուժի ձայներ: Ընդ որում, ձայնը ուժեղ կլինի այն դեպքում, երբ կամերտոնին հասցրած հարվածը ուժեղ է, և հետևաբար նրա տատանման լայնությունը մեծ է: Լայնությունի մեծացմանը զուգընթաց ձայնը ուժեղանում է և ընդհակառակը: Ձայնի ուժգնությունը և

ձայնի տոնի բարձրությունը միմյանցից անկախ հասկացություններ են: Չայնը կարող է լինել ուժեղ և բարձր, ուժեղ և ցածր, թույլ և բարձր, թույլ և ցածր: Այսպես, օրինակ՝ շոգեմեքենայի սուլոցը և՛ ուժեղ է, և՛ բարձր, մինչդեռ մոծակի արձակած ձայնը թույլ է, բայց ունի բարձր տոն: Մարդու ականջը չափազանց զգայուն է 1000 ÷ 3000 Հց հաճախությամբ ալիքների նկատմամբ:

Չայնային ալիքն իր հետ տեղափոխում է որոշ էներգիա: Եթե էներգիայի տեղափոխություն չլիներ, ապա չէին կարող տատանման մեջ դրվել նոր մասնիկներ: Այն ձայնի աղբյուրը, որի չափերը շատ փոքր են արձակված ալիքի երկարությունից, ընդունված է անվանել **կետային**: Քանի որ համասեռ միջավայրում կետային աղբյուրից արձակված ձայնը բոլոր ուղղություններով տարածվում է նույն արագությամբ, ապա կարելի է ասել, որ աղբյուրի շուրջը վերցրած յուրաքանչյուր գնդային մակերևույթի բոլոր կետերում օդի մասնիկները տատանվում են նույն փուլում:

**Չայնի ինտենսիվությունը (տարածության տվյալ տեղում) չափվում է այն էներգիայով, որը մեկ վայրկյանի ընթացքում տեղափոխվում է ձայնային ալիքի կողմից նրա տարածման ուղղությանն ուղղահայաց միավոր մակերեսով:**

Դա նշանակում է, որ եթե  $t$  ժամանակահատվածում գնդի  $S$  մակերևույթի մակերեսի վրա ուղղահայաց (ներսի կողմից) ընկնում է  $W$  ձայնային էներգիա, ապա ձայնի  $I$  ինտենսիվությունը կորոշվի հետևյալ բանաձևով.

$$I = \frac{W}{St} \quad (21.3.)$$

Քանի որ գնդի համար  $S = 4\pi R^2$ , ուստի (21.3.) բանաձևից հետևում է, որ ձայնի ուժը փոփոխվում է ականջի և աղբյուրի հեռավորության քառա-

կուսուն հակադարձ համեմատական կերպով՝  $I \sim \frac{1}{R^2}$ : Դա տեղի ունի

այն պարզ պատճառով, որ աղբյուրից հեռանալիս էներգիայի նույն քանակությունը բաշխվում է ավելի ու ավելի մեծ մակերես ունեցող գնդային մակերևույթի վրա:

Պրակտիկայում ձայնի ազդեցության գնահատման համար հարմար է ինտենսիվության փոխարեն օգտագործել **ձայնի ճնշումը**: Այն առաջանում է, երբ ձայնային ալիքը տարածվում է գազային կամ հեղուկ միջավայրերում: Հարթ ալիքների համար ինտենսիվության՝  $I$  և ձայնի ճնշման՝  $P$  կապը տրվում է հետևյալ բանաձևով.

$$I = \frac{P^2}{2\rho v}, \quad (21.4.)$$

որտեղ  $\rho$ -ն միջավայրի խտությունն է,  $v$ -ն ձայնի տարածման արագությունը:

Որոշակի ինտենսիվության դեպքում մարդու ականջը ձայնը չի ընկալում: Այն փոքրագույն ինտենսիվությունը, որը մարդու կողմից դեռ ընկալվում է, կոչվում է *լսողության սահման*: Տարբեր հաճախությունների դեպքում լսողության սահմանն ունի տարբեր արժեքներ: Մեծ ինտենսիվությունների դեպքում մարդու օրգանիզմում առաջանում է ցավի զգացողություն: Այդ առավելագույն ինտենսիվությունը, որը մարդու օրգանիզմում դեռ ցավ չի առաջացնում, կոչվում է *ցավի սահման*:

Նորմալ լսողության դեպքում մարդու ականջն ընկալում է ինտենսիվության բավականաչափ լայն տիրույթի ձայներ: Օրինակ՝ 1կՀց հաճախությամբ ձայնի դեպքում ինտենսիվությունը փոխվում է  $I_0 = 10^{-12}$  Վտ/մ<sup>2</sup>-ից ( $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Պա՝ լսողության սահման) մինչև  $I_{\max} = 10$  Վտ/մ<sup>2</sup> ( $P_{\max} = 60$  Պա՝ ցավի սահման): Այս ինտենսիվությունների հարաբերությունը  $10^{13}$  է, հետևաբար հարմար է որպես ձայնի ինտենսիվության մակարդակի սանդղակ ընդունել ձայնի ինտենսիվության՝  $I$  և լսողության սահմանի  $I_0$  ինտենսիվության հարաբերության տասը հիմքով լոգարիթմը:

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0}: \quad (21.5.)$$

Ձայնի ինտենսիվության չափի միավորն է **բեղլ** (Բ): Այն ձայնի ճնշման միջոցով կորոշվի հետևյալ բանաձևով՝

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0}: \quad (21.6.)$$

Սովորաբար որպես ձայնի ինտենսիվության չափ օգտագործվում է ոչ թե բեղլ, այլ **դեցիբել** (դԲ), որը որոշվում է հետևյալ բանաձևերով.

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad \text{կամ} \quad L = 20 \lg \frac{P}{P_0}: \quad (21.7.)$$

Ձայնի ուժգնությունը կախված է ձայնի ինտենսիվության՝  $I$  և լսողության սահմանի  $I_0$  ինտենսիվության հարաբերության տասը հիմքով լոգարիթմից.



$$E = k \lg \frac{I}{I_0} : \quad (21.8.)$$

Պայմանականորեն ընդունված է, որ 1 կՀց հաճախության դեպքում  $k = 10$ .

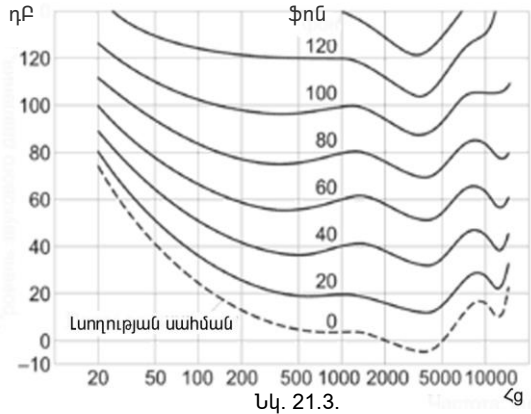
$$E = 10 \lg \frac{I}{I_0} : \quad (21.9.)$$

Որպես ձայնի ուժգնության չափման միավոր օգտագործում են **ֆոնը**, որը 1կՀց հաճախության դեպքում թվապես հավասար է ձայնի ինտենսիվությանը՝ դեցիբելին:

Մյուս հաճախություններում ձայնի բարձրությունը կարելի է որոշել՝ համեմատելով 1 կՀց հաճախությամբ ձայնի հետ՝ օգտվելով նկար 21.3.-ում ներկայացված կորերից: Յուրաքանչյուր կոր համապատասխանում է միևնույն բարձրությունն ունեցող ձայնային ալիքների ինտենսիվության հաճախությունից կախվածությանը: Բերված կորերից երևում է, որ մարդու ականջը ամենից զգայուն է միջինում 2500-3000Հց հաճախությունների համար:

Դիցուք, 20Հց հաճախությամբ ձայնի ինտենսիվությունը 100դԲ է: Գրտնենք այդ ձայնի բարձրությունը: Նկար 21.3.-ում գտնենք (20 Հց, 100դԲ) կորդինատներով կետը: Այդ կետն ընկած է մի կորի վրա, որը համապատասխանում է 60 ֆոն բարձրությանը:

Լսողության սրությունը չափելու մեթոդն անվանում են **աուդիոմետրիա**: Աուդիոմետրիայի ժամանակ հատուկ գործիքով (աուդիոմետր) որոշում են լսողության զգայության շեմը տարբեր հաճախությունների դեպքում: Ստացված կորը կոչվում է *աուդիոգրամա*: Հիվանդ մարդու աուդիոգրամայի համեմատությունը նորմալ լսողության զգայունության շեմի կորի հետ, օգնում է ախտորոշել լսողության օրգանի հիվանդությունը:



Վերջին տասնամյակների ընթացքում բավականին աճել է տարատեսակ աղմուկների աղբյուրների քանակը: Քաղաքներում յուրաքանչյուր 5-10 տարվա ընթացքում աղմուկի ինտենսիվությունն ավելանում է 5 դԲ-ով: Հարկավոր է նշել, որ նախամարդու համար աղմուկը վտանգի ահագանգ էր: Այդ ժամանակ արագ ակտիվանում էին սիմպաթիկաադրենալինային և սիրտ-անոթային համակարգերը, նյութափոխանակությունը, փոփոխվում էր նաև արյան մեջ շաքարի, խոլեստերինի քանակությունը: Այդպիսով օրգանիզմը նախապատրաստվում էր փախուստի կամ հակահարձակման: Չնայած ժամանակակից մարդու լսողական այս ֆունկցիան կորցրել է իր արդիականությունը, սակայն պահպանվել են գոյության պայքարի վեգետատիվ ռեակցիաները: Օրինակ՝ նույնիսկ շատ կարճ ժամանակում 60-90դԲ ինտենսիվությամբ աղմուկը մեծացնում է հորմոնների լիպոֆիզի սեկրեցիան, որը խթանում է մի շարք հորմոնների սինթեզին, այդ թվում՝ կատեխոլամինի (ադրենալին և նորադրենալին (норадреналин)), ուժեղանում է սրտի աշխատանքը, կծկվում են անոթները, բարձրանում է զարկերակային ճնշումը: Աղմուկի ազդեցությամբ խանգարվում է ուղեղի աշխատանքը. փոխվում է էլեկտրաուղեղագրի բնույթը, ընկնում է աշխատունակությունը:

Աղմուկը տարբեր մարդկանց կողմից տարբեր կերպ է ընկալվում: Հաճելի երաժշտությունը կամ խոսքը նույնիսկ 40-80 դԲ ինտենսիվությամբ կարող է տեղի զգացողություն չառաջացնել:

Ոչ միայն հաճախությունների ձայնային տիրույթում տատանվող աղմուկն է մարդուն տհաճություններ պատճառում, այլև ուլտրա- և ինֆրաձայնային աղմուկները նույնպես առաջացնում են նյարդերի գերլարում, ներքին օրգանների՝ հատկապես նյարդային և սրտանոթային համակարգերի ֆունկցիաների խախտում:

Ինչպես նշվեց 16 ÷ 20Հց-ից ցածր ձայնը կոչվում է ինֆրաձայն: Այն ի հայտ է գալիս երկրաշարժների, ստորերկրյա և վերերկրյա պայթյունների, փոթորիկների ժամանակ: Ինֆրաձայներ առաջանում են մետրոյում, օդափոխիչ համակարգերում, բոլոր այնպիսի սարքերում, որոնք օդ են կլանում կամ արտազատում: Ինֆրաձայնի աղբյուրները մեր շրջապատում շատ են:

Քանի որ ինֆրաձայնի ալիքի երկարությունը բավականին մեծ է (2,3 Հց հաճախության դեպքում ալիքի երկարությունը 100մ է), դրա թափանցելիությունը նույնպես մեծ է: Պատկերավոր կարելի է ասել, որ մարդն ինֆրաձայնը լսում է ամբողջ մարմնով:

Ինֆրաձայնի միջոցով կարելի է ազդել մարդու գործողությունների, մտքերի և զգացմունքների վրա:

Ցածր հաճախային (ինֆրաձայն) տատանումների առավելագույն ինտենսիվության չափը արդյունաբերական և տրանսպորտային աղբյուրներում կազմում է 100 - 110 դԲ: 110 -150 դԲ և ավելի մեծ ինտենսիվությունների դեպքում կարող են ի հայտ գալ տհաճ զգացողություն, մի շարք ռեակտիվ փոփոխություններ, որոնց թվում են կենտրոնական նյարդային համակարգի, սրտանոթային և շնչառական համակարգերի փոփոխությունները: Չայնի ուժգնության թույլատրելի սահմանը 105 դԲ-ն է:

60-ական թվականների վերջին ֆրանսիացի գիտնական Գավրոն հայտնաբերել է, որ ինֆրաձայնը մարդու մոտ կարող է առաջացնել անհանգստություն, թախիժ, վախ, մրսածության զգացողություն, գլխացավ, կողմնորոշման անկում, երբեմն նաև վեստիբուլյար ապարատի ֆունկցիայի խախտում: Մարդու համար ամենավտանգավոր առաձգական տատանումներ են համարվում 1 Հց-ից 9 Հց հաճախությամբ տատանումները, քանի որ մարդու օրգանների ռեզոնանսային հաճախությունների մեծ մասն ընկած են այդ տիրույթում (աղյուսակ 21.2.): 7 Հց հաճախությամբ ինֆրաձայնը, ռեզոնանսի մեջ մտնելով մարդու ուղեղի ալֆա ռիթմի հետ, մեծ ինտենսիվությունների դեպքում կարող է առաջացնել հոգեխանգարման երևույթներ, երբեմն նաև մահվան պատճառ դառնալ:

Աղյուսակ 21.2.

Օրգան	Ռեզոնանսային հաճախություն
գլուխ	20-30 Հց
սիրտ	1-6 Հց
ուղեղի ալֆա ռիթմ	7-13 Հց
ողնաշար	6 Հց
ստամոքս	3-5 Հց
երիկամ	6-8 Հց
աղիքներ	2-5 Հց
վեստիբուլյար ապարատ	0.5-13 Հց

Միջավայրի առաձգական տատանումները, որոնց հաճախությունները գերազանցում են  $16 \div 20$  կՀց-ը, կոչվում են **ուլտրաձայներ** (ՈՒՉ): ՈՒՉ-ի ալիքի երկարությունը գազերում չի կարող փոքր լինել մոլեկուլի ազատ վազքի երկարությունից կամ հեղուկներում և պինդ մարմիններում միջատոմային հեռավորությունից, քանի որ այն միջավայրում տարածվող առաձգական տատանում է: Գազերում ՈՒՉ-ի հաճախության վերին սահմանը մոտավորապես  $10^9$  Հց է, հեղուկներում և պինդ մարմիններում այն հասնում է  $10^{12} \div 10^{13}$  Հց հաճախություններին: Կախված ալիքի երկարությունից և հաճախությունից ՈՒՉ-ն ունի մի շարք առանձնա-

հատկություններ, այդ իսկ պատճառով ՈԲՁ-ի հաճախությունների տիրույթը բաժանում են երեք մասի՝

1. ցածր ուլտրաձայնային տիրույթ՝  $1.5\bar{E}10^4 \div 10^5$  Հց,
2. միջին ուլտրաձայնային տիրույթ՝  $10^5 \div 10^7$  Հց,
3. բարձր ուլտրաձայնային տիրույթ՝  $10^7 \div 10^9$  Հց:

Առաձգական ալիքները, որոնց հաճախություններն ընկած են  $10^{12} \div 10^{13}$  Հց տիրույթում, կոչվում են **հիպերձայներ**:

Ուլտրաձայնի տարածումը ոչնչով չի տարբերվում ձայնային ալիքների տարածումից: Ուստի ուլտրաձայնի տարածման արագությունն էլ է փոխվում՝ կախված նյութի խտությունից և առաձգականությունից: Աղյուսակ 21.3-ում ներկայացված է ուլտրաձայնի տարածման արագությունները մարդու մարմնի որոշ հյուսվածքներում:

Աղյուսակ 21.3.

Հյուսվածքի անվանումը	Ուլտրաձայնի տարածման արագությունը (մ/վ)
ուղեղ	1510
լյարդ	1550
երիկամ	1560
մկաններ	1580
ոսկորներ	4080
արյուն	1570
ջուր (20 °C)	1480

Աղյուսակի տվյալները ընդհանրացնելով՝ կարելի է ասել, որ միջինում փափուկ հյուսվածքներում ուլտրաձայնի տարածման արագությունը 1540 մ/վ է:

Տարածվելով միջավայրում՝ ուլտրաձայնի ալիքի լայնույթը և ինտենսիվությունը թուլանում և մարում են: Մարումը պայմանավորված է միջավայրի կողմից ալիքի կլանմամբ, անդրադարձմամբ և ցրմամբ: Ինտենսիվությունը, կախված անցած  $x$  ճանապարհից, որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$I = I_0 e^{-\alpha x}, \quad (21.10.)$$

որտեղ  $I_0$ -ն ալիքի սկզբնական ինտենսիվությունն է, իսկ  $\alpha$ -ն՝ մարման գործակիցը: Մարման գործակցի չափողականությունն է մ<sup>-1</sup>: Այն ցույց է տալիս ուլտրաձայնային ալիքի թուլացումը միավոր երկարության վրա: Մարման գործակիցը մեծանում է՝ հաճախության մեծացմանը զուգընթաց: Փափուկ հյուսվածքներում, կախված ուլտրաձայնային ալիքի հա-

ճախությունից մարման գործակցի միջին արժեքները բերված են աղյուսակ 21.4.-ում:

Աղյուսակ 21.4.

Հաճախությունը (ՄՀց)	Հյուսվածքներում մարման գործակցի միջին արժեքները (դԲ/սմ)	Խորությունից կախված ինտենսիվության փոքրացումը	
		1 սմ (%)	10 սմ (%)
1	1	21	90,0
2	2	37	99,0
3	3	50	99,9
5	5	60	99,999
7	7	80	100

Չայնային ալիքների տարածման հիմնական օրենքներն են. *ձայնի՝ միջավայրի բաժանման սահմաններում բեկման և անդրադարձման օրենքները, դիֆրակցիան, ձայնի ցրումը միջավայրի անհարթության և սահմանի անհամասեռության դեպքերում և ձայնի ալիքային տարածումը միջավայրի սահմանափակ տիրույթում:* Դրանք համընկնում են լույսի ալիքային տարածման օրենքներին:

Կենսաբանական միջավայրի կարևոր բնութագիր է ակուստիկական դիմադրությունը՝  $Z$ , որը որոշվում է միջավայրի խտության և նրանում ձայնի արագության արտադրյալով.

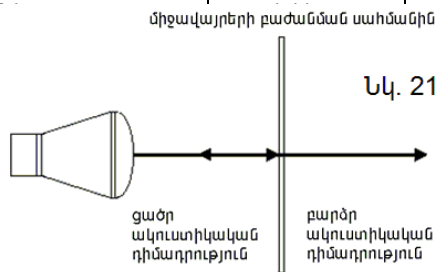
$$Z = \rho v: \quad (21.11.)$$

Աղյուսակ 21.5-ում ներկայացված են տարբեր միջավայրերի ակուստիկական դիմադրությունները և խտությունները՝ թորած ջրի նկատմամբ:

Աղյուսակ 21.5.

Օրգան	Խտությունը ջրի նկատմամբ՝ $\rho/\rho_{ջուր}$	Ակուստիկ դիմադրություն
օդը նորմալ պայմաններում	$1,2\bar{E}10^{-3}$	$0,3\bar{E}10^{-3}$
ուղեղ	1,03	1,06-1,09
արյուն	1,06	1,04-1,08
մկանային հյուսվածք	1,07	1,13-1,18
երիկամ	1,07	1,13
փափուկ հյուսվածք (միջինում)	1,6	
ոսկրային հյուսվածք	1,7	

Ուլտրաձայնը ընկնելով տարբեր ակուստիկական դիմադրություն-



ներ և ձայնի տարածման տարբեր արագություններ ունեցող միջավայրերի սահմանին կարող է անդրադառնալ և բեկվել: Ձայնային ալիքը միջավայրերի բաժանման սահմանին ուղղահայաց ընկնելու դեպքում կամ ամբողջությամբ կանդրադառնա, կամ մասամբ կանդրադառնա, մասամբ էլ կանցնի սահմանը՝ պահպանելով տարածման ուղղությունը (նկար 21.4.): Անդրադարձած և սահմանից թափանցած ուլտրաձայնային ալիքների ինտենսիվությունները կախված են սկզբնական ալիքի ինտենսիվությունից և միջավայրերի ակուստիկական դիմադրությունների տարբերությունից: Անդրադարձած ալիքի և ընկած ալիքի ճնշումների հարաբերությունը կոչվում է **անդրադարձման գործակից**.

$$K = P_{\text{աճղ}} / P_{\text{ընկ}}, \quad (21.12.)$$

որտեղ  $P_{\text{աճղ}}$ -ը և  $P_{\text{ընկ}}$ -ը համապատասխանաբար անդրադարձած և ընկած ալիքների ճնշումներն են:

Երբ ալիքն ուղղահայաց է ընկնում հարթ միջավայրերի սահմանին, ապա անդրադարձման գործակիցը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$K = \left| \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right|, \quad (21.13.)$$

որտեղ  $Z_1$ -ը և  $Z_2$ -ը սահմանակից միջավայրերի ակուստիկական դիմադրություններն են, իսկ մոդուլը ցույց է տալիս, որ միշտ վերցվում է գործակցի դրական արժեքը:

Աղյուսակ 21.6.-ում ներկայացված են կենսաբանական տարբեր միջավայրերի սահմաններում ուլտրաձայնի անդրադարձման գործակցի արժեքները:

Աղյուսակ 21.6.

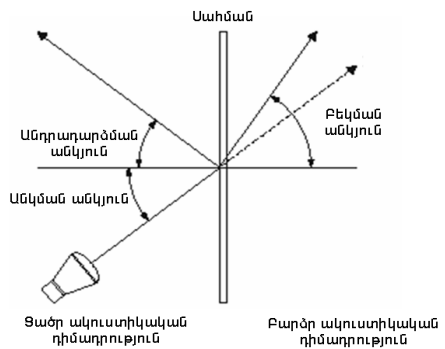
Միջավայրերի սահման	K, %
արյուն - մկան	1,5
արյուն - երիկամ	2,1
արյուն - լյարդ	2,7
երիկամ - երիկամի քարեր	17,0
մկան - ոսկոր	64,6
ուղեղ - գանգոսկր	66,1
օդ - փափուկ հյուսվածք	99,95

Սահմանով անցած ալիքի և ընկած ալիքի ինտենսիվությունների հարաբերությունը կոչվում է **ուլտրաձայնի թափանցման գործակից**: Եթե

միջավայրերը ունենան տարբեր խտություններ, սակայն նույն ակուստիկական դիմադրությունները, ապա ուլտրաձայնի անդրադարձում չի լինի: Մյուս կողմից ակուստիկական դիմադրությունների մեծ տարբերությունների դեպքում անդրադարձած ալիքի ինտենսիվությունը կձգտի 100%-ի: Այդպիսի օրինակ է օդ - փափուկ հյուսվածք սահմանը: Այդ սահմանին տեղի է ունենում ուլտրաձայնի գրեթե ամբողջական անդրադարձում: Որպեսզի լավացվի ուլտրաձայնի թափանցումը փափուկ հյուսվածքներ, օգտագործում են միջավայրերը կապակցող նյութեր՝ գելեր:

Ուլտրաձայնի տարածման տարբեր արագություններ ունեցող միջավայրերի բաժանման սահմանով անցնելիս ուլտրաձայնի տարածման ուղղության փոփոխությունը կոչվում է **բեկում**:

Եթե ուլտրաձայնային ալիքը անկյան տակ է ընկնում սահմանին, ապա տարբերում են երեք անկյուն՝ **անկման անկյուն**, որը ընկնող ալիքի և միջավայրերի սահմանին կանգնեցված ուղղահայացի կազմած անկյունն է, **անդրադարձման անկյուն**, որը անդրադարձած ալիքի և միջավայրերի սահմանին կանգնեցված ուղղահայացի կազմած անկյունն է, և **բեկման անկյուն**, որը բեկված ալիքի և միջավայրերի սահմանին կանգնեցված



Նկ. 21.5.

ուղղահայացի կազմած անկյունն է (նկար 21.5.):

Անկման անկյունը հավասար է անդրադարձման անկյանը: Բեկման ժամանակ անկման անկյան սինուսի և բեկման անկյան սինուսի հարաբերությունը հավասար է ընկնող և բեկող միջավայրերում ալիքի տարածման արագությունների հարաբերությանը.

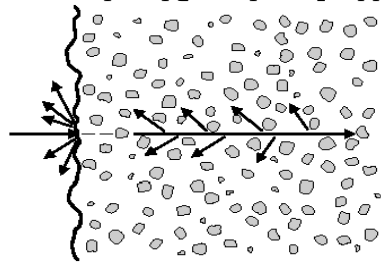
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}, \quad (21.11.)$$

որտեղ  $\beta$ -ն,  $\alpha$ -ն համապատասխանաբար բեկման և անկման անկյուններն են, իսկ  $v_1, v_2$ -ը՝ ընկնող և բեկող միջավայրերում ալիքի տարածման արագությունները: (21.11.) բանաձևից կարելի է ասել, որ ուլտրաձայնային ալիքի բեկում չի նկատվում, երբ՝

1. երկու միջավայրերում ուլտրաձայնային ալիքի տարածման արագությունները նույնն են,

2. անկման անկյունը հավասար է գրոյի:

Ուլտրաձայնային ալիքի անդրադարձման մասին ճիշտ է խոսել, երբ ալիքի երկարությունը շատ անգամ մեծ է անդրադարձնող մակերևույթի անհարթություններից: Այն դեպքում, երբ ալիքի երկարությունը համեմատական է անդրադարձնող մակերևույթի անհարթություններին կամ միջավայրն ինքն ունի անհամասեռություններ, ուլտրաձայնը ցրվում է: Հակադարձ ցրման դեպքում (նկ. 21.6.) ուլտրաձայնը անդրադառնում է ընկնող ալիքի հակառակ ուղղությամբ: Յրված ալիքի ինտենսիվությունն աճում է՝ միջավայրի անհամասեռությունների և ալիքի հաճախության մեծացմանը զուգընթաց: Յրումը գրեթե կախված չէ ընկնող ալիքի տարածման ուղղությունից և հետևաբար թույլ է տալիս ավելի լավ պատկերացում կազմել արտապատկերող մակերևույթի (առավել ևս օրգանների պարենքիմի) վերաբերյալ:

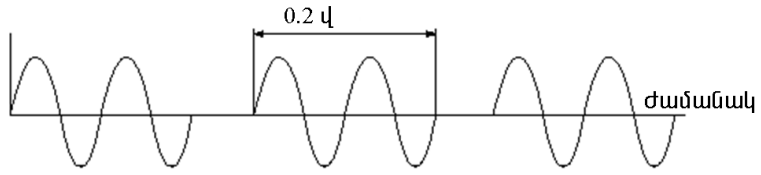


Նկ. 21.6.

Ուլտրաձայնային հետազոտությունների ժամանակ կիրառում են ոչ թե անընդհատ ճառագայթվող ուլտրաձայնը, այլ կարճ իմպուլսներով ճառագայթվող ուլտրաձայնը (իմպուլսային ուլտրաձայն): Այն գեներացվում է՝ պեգոէլեմենտին հաղորդելով կարճ էլեկտրական իմպուլսներ: Իմպուլսային ուլտրաձայնը բնութագրելու համար օգտագործվում են լրացուցիչ պարամետրեր:

Միավոր ժամանակում ճառագայթված իմպուլսների թիվը կոչվում է **իմպուլսների կրկնվելու հաճախություն**: Այն չափվում է հերցերով (Հց):

Մեկ իմպուլսի ընթացքի ժամանակահատվածը կոչվում է **իմպուլսի տևողություն**: Այն չափվում է վայրկյաններով (վ): Օրինակ՝ նկար 21.7-ում իմպուլսի տևողությունը 0,2 վ է:

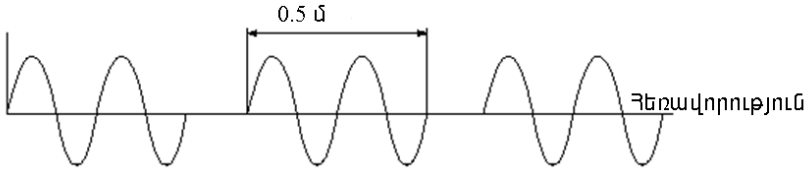


Նկ. 21.7.

**Զբաղվածության ֆակտորը** այն ժամանակահատվածն է, որի ընթացքում տեղի է ունենում ուլտրաձայնի ճառագայթումը: **Իմպուլսի տարածման երկարությունը** այն տարածության երկարությունն է, որտեղ



տեղավորվում է մեկ ուլտրաձայնային իմպուլս: Օրինակ՝ նկար 21.8-ում իմպուլսի տարածման երկարությունը 0,5 մ է:



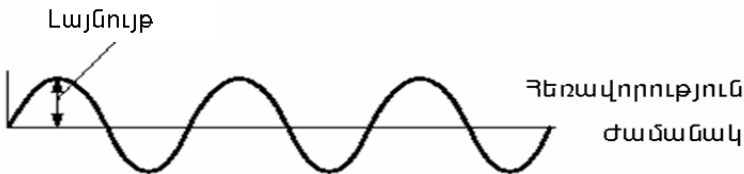
Նկ. 21.8.

Փափուկ հյուսվածքների համար իմպուլսի տարածման երկարությունը՝  $L$ -ը, հավասար է ուլտրաձայնի տարածման արագությանը՝ 1540մ/վ, իմպուլսում տատանումների թվի՝  $n$ -ի արտադրյալի և իմպուլսի հաճախության՝  $\nu$ -ի, հարաբերությանը.

$$L = 1540 \cdot \frac{n}{\nu} : \quad (21.12.)$$

Իմպուլսի տարածման երկարությունը կարելի է փոքրացնել՝ ի հաշիվ իմպուլսում տատանումների թվի փոքրացման կամ իմպուլսի հաճախության մեծացման:

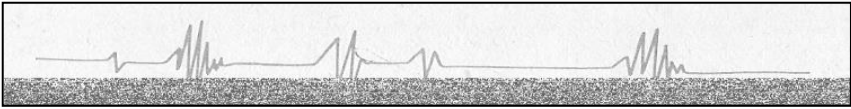
Դիտարկվող ֆիզիկական պարամետրի առավելագույն շեղումը միջին արժեքից կոչվում է ուլտրաձայնային ալիքի **լայնույթ**:



Նկ. 21.9.

Չայնը, ինչպես և լույսը ինֆորմացիայի աղբյուր է: Հիվանդությունների ախտորոշման տարածված ձայնային մեթոդներից է *աուսկուլտացիան* (ձայնունկդրում), որը հայտնի էր դեռևս մ.թ.ա. II դարում: Աուսկուլտացիայի համար օգտագործում են ստետոսկոպ կամ ֆոնենդոսկոպ: Թոքերի աուսկուլտացիայի ժամանակ լսվում են շնչառական աղմուկը, տարբեր խզզոցներ, որոնք բնորոշ են հիվանդությանը: Սրտի տոների փոփոխությամբ և աղմուկների դրսևորմամբ կարելի է դատել սրտի գործունեության վիճակի մասին: Օգտվելով աուսկուլտացիայից կարելի է լսել պտղի սրտի խփոցները: Սրտի վիճակը ախտորոշելու համար օգտագործվում է աուսկուլտացիայի նման մեթոդ և կոչվում է *ֆոնոկարդիոգրաֆիա*: Այդ մեթոդը սրտի տոների և աղմուկների գրաֆի-

կական գրանցման և նրանց ախտորոշման մեկնաբանումն է: Ֆոնոկարդիոգրամայի գրառումը կատարում են ֆոնոկարդիոգրաֆայի միջոցով, որը կազմված է միկրոֆոնից, ուժեղացուցիչից, հաճախության ֆիլտրերի համակարգից և գրանցող սարքից: Նկար 21.10.-ում պատկերված է նորմալ ֆոնոսրտագիր:



Նկ.21.10.

Վերը նկարագրված երկու մեթոդներից սկզբունքորեն տարբերվող մեթոդ է *պերկուսիան*: Ըստ այդ մեթոդի՝ լսում են մարմնի տարբեր մասերի հնչողությունը՝ դրանք թակելով:

Ենթադրենք՝ ունենք ինչ-որ մարմնի փակ խոռոչ, որն ամբողջությամբ լցված է օդով: Եթե այդ մարմնում առաջացնենք ձայնային տատանումներ, ապա որոշակի հաճախության դեպքում կառաջանա ռեզոնանս, որի պատճառով կախված մարմնի չափերից, ձայնի տոնը կուժեղանա: Մարդու մարմինը սխեմատիկ կարելի է պատկերացնել որպես օդով լցված հեղուկ և պինդ մասերի համախմբություն: Մարմնի մակերևույթին հարվածելիս առաջանում են տատանումներ, որոնք ունեն հաճախային լայն տիրույթ: Այդ հաճախություններից որոշ հաճախություններ շատ արագ կմարեն, որոշ հաճախություններ էլ, համընկնելով խոռոչների սեփական տատանումների հաճախությունների հետ, կուժեղանան և ռեզոնանսի հետևանքով լսելի կդառնան, որի շնորհիվ փորձառու բժիշկը կկարողանա ախտորոշել:

Բնության մեջ ուլտրաձայնը շատ հաճախ է հանդիպում: Այն պարունակվում է քամու, ջրվեժների, ալիքների ձայներում: Որոշ կենդանիներ (օրինակ՝ թիթեռը) ոչ միայն կարողանում են ընկալել, լսել ուլտրաձայնը, այլև ճառագայթել: Իսկ դելֆինն ու չղջիկը ուլտրաձայնի միջոցով կարողանում են հայտնաբերել արգելքները:

Ուլտրաձայնի հետազոտությամբ զբաղվել են շատ գիտնականներ, այդ թվում ֆրանսիացի գիտնական Ֆ. Սավարը (1830թ.), ով առաջինն էր, որ փորձեց չափել մարդու ականջի լսողության սահմանը:

Ուլտրաձայնային հետազոտություններում շրջադարձային եղավ 1880 թվականը, երբ Պիեռ և Պոլ Կյուրի եղբայրները հայտնաբերեցին, որ եթե կվարցի բյուրեղը երկու կողմերից սեղմենք, ապա բյուրեղի ծայրերում կառաջանան էլեկտրական լիցքեր: Այս հատկությունը կոչվեց պյեզո-էլեկտրական էֆեկտ, որի միջոցով հնարավոր դարձավ հայտնաբերել

մարդու կողմից չլսվող ուլտրաձայնը: Եթե բյուրեղի ծայրերին հաղորդենք փոփոխական էլեկտրական հոսանք, ապա այն կսկսի տատանվել՝ սեղմվել և ընդարձակվել՝ այդպիսով առաջացնելով ուլտրաձայնային ալիք: Այդպիսի ուլտրաձայնային ճառագայթիչների ՕԳԳ-ն 90% է:

Պ. Լանժեվենովը (1915-1917թթ.) մշակեց սուզանավերի հայտնաբերման ուլտրաձայնային եղանակը, այնուհետև Ռ. Վուդան (1927թ.) կարողացավ ստանալ մեծ ինտենսիվությամբ ուլտրաձայն և ուսումնասիրեց դրա ազդեցությունը նյութերի և կենդանի օրգանիզմների վրա:

1928թ. Ս. Սոկոլովը առաջարկեց ուլտրաձայնը կիրառել մետաղներում դեֆեկտները հայտնաբերելու համար՝ այդպիսով հիմնելով ուլտրաձայնային դեֆեկտոսկոպիան:

20-րդ դարի 50-ական թվականները բժշկության մեջ հատկանշական էին ուլտրաձայնի կիրառությանների աճով: Ուլտրաձայնի մեծ հաճախություն, հետևաբար փոքր ալիքի երկարություն ունենալու շնորհիվ հեշտ է ուլտրաձայնը ուղղել փնջերով, որոնք անվանվում են ուլտրաձայնային ճառագայթներ: Դա թույլ է տալիս օգտագործել ուլտրաձայնը օպտիկայես անտեսանելի միջավայրերում անհամասեռություններ և դեֆեկտներ հայտնաբերելու համար:

Բժշկական հետազոտություններում ուլտրաձայնի կիրառության փորձերը 1937 թվականին հանգեցրին միաչափ ձայնաէլեկտրագրի՝ էխոգրաֆի հայտնագործմանը: Սակայն միայն 50-ական թվականների սկզբներին հնարավոր եղավ ստանալ մարդու ներքին օրգանների և հյուսվածքների ուլտրաձայնային պատկերները: Այդ ժամանակվանից ուլտրաձայնային հետազոտությունները լայն կիրառություն ունեցան: Սակայն դեռ հնարավորություն կար միայն պատկերը ստանալ էկրանին, իսկ 80-ական թվականների սկզբներին արդեն ստեղծվեցին ուլտրաձայնային հետազոտությունների նոր սարքեր, որոնցում հնարավոր էր էկրանին ստացված պատկերները արտատպել: 90-ական թվականների վերջերին, երբ արդեն ստեղծվեցին մեծ թողարկությամբ և փոքր կորությամբ էկրաններ, հնարավոր եղավ էկրանին ստացված պատկերները նաև մեծացնել, չափել, եզրագծել և ստեղծել դրանց արխիվները:

Ուլտրաձայնային հետազոտություններն առաջնային տեղ են զբաղեցնում ժամանակակից կլինիկական բժշկության մեջ: Դրանք հնարավորություն են տալիս ստանալու մի շարք պարենքիմատոզ օրգանների՝ մասնավորապես լյարդի պատկերները: Օրինակ՝ վիրուսային հեպատիտը շատ տարածված հիվանդություն է, որը երբեմն դժվար է ախտորոշել, քանի որ հիվանդի ախտանշանները կարող են համապատասխանել մեկ այլ հիվանդության, իսկ լյարդի ուլտրաձայնային պատկերը միանշանակ

կարող է վկայել հիվանդության առկայության մասին, քանի որ այդ ժամանակ անոթային պատկերն ավելի ուժեղացված է, իսկ սնուցող երակը՝ լայնացած: Կախված հիվանդության փուլից և բարդություններից լյարդի էխոգրաֆն ենթարկվում է բազում փոփոխությունների:

### **Թեստային օրինակներ**

1. Որոշել 200 Հց հաճախությամբ ձայնի աղբյուրի առաջացրած ձայնային ալիքի երկարությունն այն միջավայրում, որտեղ ձայնի տարածման արագությունը 1450 մ/վ է:

ա) 8մ,                      բ) 7մ,                      գ) 4,25մ,                      դ) 7,25մ

2. Ձայնային ալիքի տարածման արագությունն առաջին միջավայրում 1,5 անգամ ավելի փոքր է, քան երկրորդում: Գտնել ձայնի տարածման արագությունը երկրորդ միջավայրում, եթե առաջինում այն 3600 մ/վ է:

ա) 3400,                      բ) 4400,                      գ) 5400,                      դ) 2400

3. Կրակողից ինչ հեռավորության վրա է գտնվում արգելքը, եթե կրարոցի ձայնի արձագանքը կրակողին հասավ կրակելուց 3 վ անց: Ձայնի արագությունն օդում 330 մ/վ է:

ա) 110,                      բ) 996,                      գ) 990,                      դ) 333

4. Քարն ազատ ընկնում է հանքահորի մեջ: 11,25 վ անց լսվում է հանքահորի հատակին քարի հարվածելու ձայնը: Որոշել հանքահորի խորությունը, եթե ձայնի տարածման արագությունն օդում 400 մ/վ է:

ա) 400,                      բ) 500,                      գ) 450,                      դ) 4500

5. Տղամարդու ամենացածր ձայնայինի համապատասխանող ալիքի երկարությունն օդում 4,3 մ է, իսկ կնոջ ձայնի ալիքի երկարությունը՝ 25սմ: Գտնել այդ ձայնային ալիքների տատանումների հաճախությունները, եթե ձայնի արագությունն օդում 340 մ/վ է:

ա) 79Հց, 1360Հց,                      բ) 20Հց, 20 000Հց,                      գ) 82Հց, 1500Հց,                      դ) 16Հց, 16 000Հց

6. 1088մ երկարությամբ խողովակի մի ծայրին հարվածում են մուրճով: Մյուս ծայրում գտնվողը հարվածի ձայնը խողովակով լսեց 3 վ ավելի շուտ, քան օդով: Գտնել ձայնի տարածման արագությունը խողովակի նյութում, եթե օդում այն 340 մ/վ է:

ա) 5775 մ/վ,                      բ) 5447 մ/վ,                      գ) 5745 մ/վ,                      դ) 5440 մ/վ

7. Դաշնամուրի արձակած ձայնի հաճախությունն ընկած է 90Հց - 9000Հց տիրույթում: Որոշել օդում ձայնային ալիքների երկարությունների տիրույթը, եթե ձայնի արագությունն օդում 340 մ/վ է:

ա) (0,0378;3,78),                      բ) (0,378;37,8),                      գ) (3,78;0,0378),                      դ) (0,78;3,78)

8. Լսողական օրգանը կազմված է՝

- |                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| 1. արտաքին ականջից  | 2. ներքին ականջից |
| 3. խորքային ականջից | 4. միջին ականջից  |

ա) միայն 1,2,3                      բ) միայն 2,3,4                      գ) միայն 1,3                      դ) միայն 1,2,4

**9. Քանի՞ անգամ կփոխվի ձայնային ալիքի երկարությունը օդից ջուր անցնելիս, եթե ձայնի արագությունն օդում 340 մ/վ է, իսկ ջրում՝ 1460 մ/վ:**

- ա) կմեծանա 4,3 անգամ
- բ) կփոքրանա 4,3 անգամ
- գ) կմեծանա 2,15 անգամ
- դ) չի փոխվի

**10. 30կՉց հաճախությամբ ուլտրաձայնային ազդանշանը, 150 մ խորությամբ ծովի հատակից անդրադառնալով, հասնում է ծովի մակերևույթ 0,2 վ հետո: Ինչի՞ է հավասար ուլտրաձայնի ալիքի երկարությունը:**

- ա) 50մ,
- բ) 30մ,
- գ) 25մ,
- դ) 0,05մ

**11. Ձայնի տոնի բարձրությունը բնութագրվում է՝**

- ա) ալիքի տարածման արագությամբ
- բ) տատանման փուլով
- գ) տատանման լայնությամբ
- դ) տատանման հաճախությամբ

**12. Անփոփոխ հաճախության դեպքում ձայնի ուժգնությունը բնութագրվում է՝**

- ա) ալիքի երկարությամբ
- բ) փուլով
- գ) լայնությամբ
- դ) ալիքի տարածման արագությամբ

**13. Մոտավորապես ի՞նչ սահմաններում է փոխվում այն մեխանիկական տատանումների հաճախությունը, որոնք մարդու ականջն ընկալում է որպես ձայն.**

- ա) 1-17Հց,
- բ) 17-20Հց,
- գ) 17 000-20 000Հց,
- դ) 20-20 000Հց

**14. Ստորև բերված ռ՝ ր պնդումն է ճիշտ.**

- ա) ձայնը կարող է տարածվել գազային, հեղուկ և պինդ միջավայրերում, ինչպես նաև վակուումում
- բ) ձայնը կարող է տարածվել վակուումում
- գ) ձայնը կարող է տարածվել միայն օդում
- դ) ձայնը կարող է տարածվել գազային, հեղուկ և պինդ մարմիններում, սակայն չի կարող տարածվել վակուումում

**15. Տղան գոռաց, և բացատի մյուս ծայրում գտնվող աղջիկը նրա ձայնը լսեց 2վ անց: Ձայնի արագությունն օդում 340 մ/վ է: Որքա՞ն է տղայի և աղջկա միջև հեռավորությունը:**

- ա) 170 մ,
- բ) 340 մ,
- գ) 680 մ,
- դ) 1360 մ

**16. Ալիքի երկարության ինչպիսի՞ տիրույթ է համապատասխանում 20Հց-ից մինչև 20 000 Հց հաճախությամբ ձայնային ալիքներին, եթե ձայնի արագությունն օդում 340 մ/վ է:**

- ա) 20 - 20 000մ
- բ) 6800 - 6 800 000մ
- գ) 0,06 - 58,8 մ
- դ) 0,017 - 17 մ

**17. Թվարկված մեծություններից ռ՝ րն է բնութագրում ձայնի ուժգնությունը.**

- ա) տատանումների հաճախությունը
- բ) տարածման արագությունը
- գ) ալիքի երկարությունը
- դ) տատանումների լայնությամբ

**18. Ո՞ր մեծությունը չի փոխվում, երբ ձայնն օդից անցնում է պինդ միջավայր.**

- ա) տատանումների հաճախությունը
- բ) տարածման արագությունը
- գ) ալիքի երկարությունը

դ) նշված բոլոր մեծությունները չեն փոխվում

**19. Հետևյալ արտահայտություններից ո՞րն է սխալ.**

ա)  $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ ,    բ)  $I = \frac{Wt}{S}$ ,    գ)  $I = \frac{P^2}{2\rho v}$ ,    դ)  $I = I_0 e^{-\alpha x}$

**20. Ալիքային շարժման պրոցեսում միջավայրում ի՞նչ է տեղի ունենում.**

- ա) էներգիայի և նյութի տեղափոխություն
- բ) էներգիայի տեղափոխություն՝ առանց նյութի տեղափոխության
- գ) նյութի տեղափոխություն՝ առանց էներգիայի տեղափոխության
- դ) նյութում մասնիկների տեղափոխություն

**21. Ոչ ներդաշնակ տատանումներին համապատասխանող ձայները կոչվում են՝**

- 1. բարդ տոներ
  - 2. պարզ տոներ
  - 3. երաժշտական տոներ
  - 4. աղմուկներ
- ա) միայն 1    բ) միայն 1,2    գ) միայն 2,3    դ) միայն 4

**22. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում տրված հաճախությամբ պարզ տոնի ձայնի տարածման արագությունը**

1.  $v = \frac{\lambda}{T}$     2.  $v = \lambda v$     3.  $v = \frac{P^2}{2\rho}$     4.  $v = \lambda T^{-1}$

ա) միայն 1,2,3    բ) միայն 1,3,4    գ) միայն 1,2,4    դ) միայն 2,3,4

**23. Ո՞րն է ձայնի ինտենսիվության չափի միավորը.**

- 1. Բ    2. դԲ    3. Հց    4. մ<sup>-1</sup>
- ա) միայն 1,2    բ) միայն 1,4    գ) միայն 2,3    դ) միայն 3,4

**24. Ինչպե՞ս է փոխվում ձայնի ուժը՝ ականջի և ձայնային աղբյուրի հեռավորությունից կախված**

- ա) ուղիղ համեմատական է հեռավորության քառակաուսուն
- բ) հակադարձ համեմատական է հեռավորության քառակաուսուն
- գ) ուղիղ համեմատական է հեռավորության խորանարդին
- դ) հակադարձ համեմատական է հեռավորության խորանարդին

**25. Հարթ ալիքների համար ինտենսիվության՝ I -ի, և ձայնի ճնշման՝ P -ի, կապը տրվում է հետևյալ բանաձևով՝**

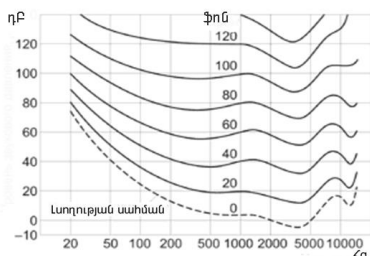
ա)  $I = \frac{\rho v}{2P^2}$ ,    բ)  $I = \frac{Pv}{2\rho^2}$ ,    գ)  $I = \frac{P}{2\rho v}$ ,    դ)  $I = \frac{P^2}{2\rho v}$

**26. Ի՞նչ միավորով չի չափվում ձայնի ինտենսիվությունը:**

- ա) Վտ/մ<sup>2</sup>,    բ) կգմ<sup>2</sup>/վ<sup>3</sup>,    գ) Ջ/մ<sup>2</sup>վ,    դ) կգ/վ<sup>3</sup>

**27. Դիցուք, 20Հց հաճախությամբ ձայնի ինտենսիվությունը 80դԲ է: Գտնել այդ ձայնի բարձրությունը:**

- ա) 20 ֆոն
- բ) 40 ֆոն



- զ) 60 ֆոն
- դ) 80 ֆոն

**28. Ի՞նչ է ուսումնասիրում ֆիզիոլոգիական ակուստիկան մարդու և կենդանիների շրջանում:**

- ա) ձայնառաջացման օրգանների կառուցվածքը
- բ) ձայնը նկատման օրգանների կառուցվածքը և աշխատանքը
- գ) ձայնի տարածման պրոցեսը հյուսվածքներում
- դ) ուլտրաձայնի տարածման պրոցեսը բջիջներում

**Պատասխաններ**

- |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1.դ  | 2.գ  | 3.գ  | 4.բ  | 5.ա  | 6.դ  | 7.ա  | 8.դ  | 9.ա  |
| 10.դ | 11.դ | 12.գ | 13.դ | 14.դ | 15.գ | 16.դ | 17.դ | 18.ա |
| 19.բ | 20.բ | 21.ա | 22.գ | 23.ա | 24.բ | 25.դ | 26.բ | 27.ա |
| 29.բ |      |      |      |      |      |      |      |      |

**22. ՏԵՍՈՂՈՒԹՅՈՒՆ: ԱՉՔ**

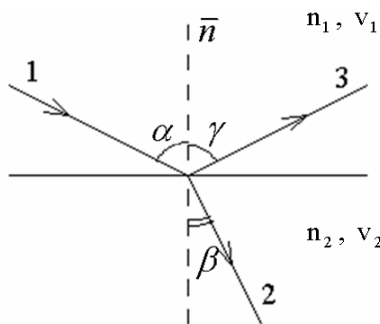
(Գ. Փոթիկյան)

Մինչ տեսողության ընթացքի դիտարկումը ուսումնասիրենք լույսի տարածումը տարբեր միջավայրերում:

**Լույսի բեկման և անդրադարձման օրենքները**

Եթե լուսային ալիքը առանց արգելքների տարածվում է համասեռ միջավայրում, ապա այն տարածվում է ուղիղ գծով (ճառագայթով): Երկու համասեռ միջավայրերի բաժանման սահմանին ճառագայթներն անդրադառնում և բեկվում են (նկար 22.1.):

Անդրադարձված (3) և բեկված (2) ճառագայթները գտնվում են մեկ հարթության մեջ՝ ընկնող ճառագայթի և երկու համասեռ միջավայրերի բաժանման սահմանին տարված ուղղահայացի ( $\vec{n}$ ) հետ: Ընկած ճառագայթի  $\alpha$  անկյունը հավասար է անդրադարձված  $\gamma$  անկյանը: Բեկված  $\beta$  անկյունը կարելի է գտնել հետևյալ հավասարության միջոցով .



Նկ. 22.1.

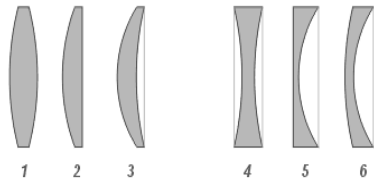
որտեղ  $n_1, v_1$  և  $n_2, v_2$  համապատասխանաբար 1 և 2 միջավայրերում ճառագայթի բեկման ցուցիչը և տարածման արագություններն են

$$\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1},$$

որտեղ  $n_1$ -ը,  $v_1$ -ը և  $n_2$ -ը,  $v_2$ -ը համապատասխանաբար 1 և 2 միջավայրերում ճառագայթի բացարձակ բեկման ցուցիչը և տարածման արագություններն են:

### Ոսպնյակներ

Ոսպնյակը թափանցիկ մարմին է, որը սահմանափակված է երկու սֆերիկ մակերևույթներով: Եթե ոսպնյակի հաստությունը սֆերիկ մակերևույթների կորության շառավիղների համեմատ փոքր է, ապա ոսպնյակն անվանում են բարակ: Ոսպնյակները հանդիպում են համարյա բոլոր օպտիկական սարքերում: Ոսպնյակները լինում են հավաքող և ցրող: Եթե ոսպնյակի բացարձակ բեկման ցուցիչը մեծ է միջավայրի բացարձակ բեկման ցուցիչից, ապա հավաքող ոսպնյակի կենտրոնական հատվածն ավելի լայն է, քան եզրային հատվածները: Ցրող ոսպնյակի կենտրոնական հատվածն, ընդհակառակը, ավելի նեղ է (նկար 22.2.):



Նկ. 22.2. Հավաքող (1 երկուսուցիկ, 2 հարթ-ուռուցիկ, 3 գոգավոր-ուռուցիկ) և ցրող (4 երկգոգավոր, 5 հարթ-գոգավոր, 6 ուռուցիկ – գոգավոր) ոսպնյակներ:

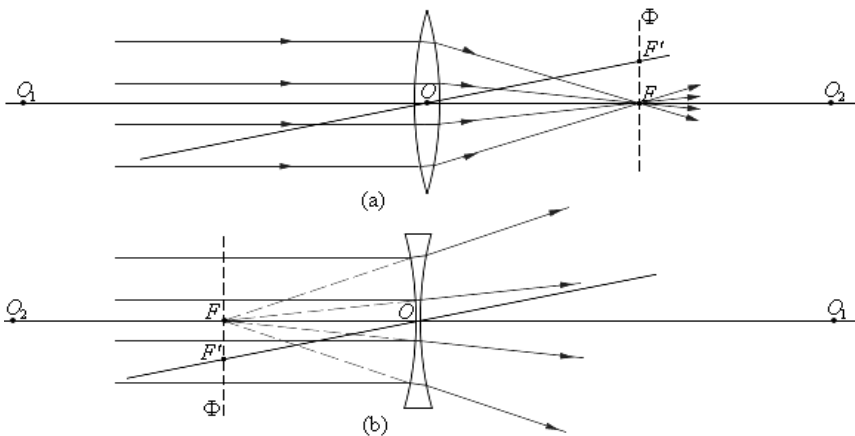
Ուղիղը, որն անցնում է սֆերիկ մակերևույթների կորության  $O_1$  և  $O_2$  կենտրոններով, անվանում են *ոսպնյակի գլխավոր օպտիկական առանցք* (նկար 22.3.): Բարակ ոսպնյակների դեպքում կարելի է համարել, որ գլխավոր օպտիկական առանցքը ոսպնյակի հետ հատվում է մի կետում, որն ընդունված է անվանել *ոսպնյակի օպտիկական կենտրոն*  $O$ : Լույսի ճառագայթն անցնում է ոսպնյակի օպտիկական կենտրոնով՝ չչեղվելով սկզբնական ուղղուց: Բոլոր ուղիղները, որոնք անցնում են օպտիկական կենտրոնով, անվանում են *կողմնակի օպտիկական առանցքներ*:

Եթե ոսպնյակի վրա ուղղենք գլխավոր օպտիկական առանցքին զուգահեռ ճառագայթների փունջ, ապա ոսպնյակի միջով անցնելուց հետո ճառագայթները (կամ ճառագայթների շարունակությունները) կհավաքվեն մեկ  $F$  կետում, որն անվանում են *ոսպնյակի գլխավոր կիզակետ*: Բարակ ոսպնյակն ունի երկու գլխավոր կիզակետ, որոնք



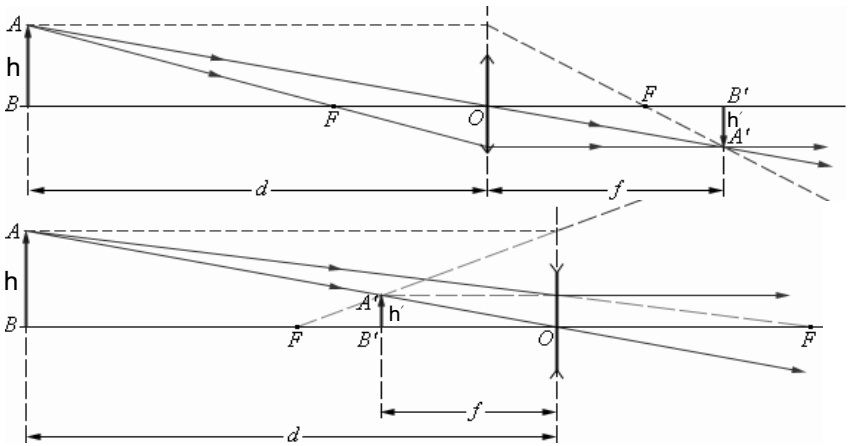
համաչափ են գլխավոր օպտիկական առանցքի նկատմամբ: Հավաքող ոսպնյակների կիզակետերն *իրական* են, իսկ ցրող ոսպնյակներինը՝ *կեղծ*: Ճառագայթների փնջերը, որոնք զուգահեռ են կողմնակի օպտիկական առանցքներից որևէ մեկին, ոսպնյակի միջով անցնելուց հետո նույնպես կիզակետավում են  $F'$  կետում, որը գտնվում է կողմնակի առանցքի և  $\Phi$  *կիզակետային հարթության* հատման կետում, այսինքն՝ այն հարթության, որն ուղղահայաց է գլխավոր օպտիկական առանցքին և անցնում է գլխավոր կիզակետով (նկար 22.3.): Ոսպնյակի օպտիկական  $O$  կենտրոնի և  $F$  գլխավոր կիզակետի միջև առկա տարածությունն անվանում են *կիզակետային հեռավորություն*: Այն նույնպես նշանակվում է  $F$  տառով:

Ոսպնյակների հիմնական հատկությունը առարկաների պատկերները տալու կարողությունն է: Պատկերները լինում են ուղիղ և շրջված, իրական և կեղծ, մեծացված և փոքրացված:



Նկար 22.3.

Պատկերի դիրքը և բնույթը կարելի է որոշել երկրաչափական կառուցումների օգնությամբ: Դրա համար օգտագործում են ճառագայթների հատկությունները, որոնց ընթացքը հայտնի է: Դրանք այն ճառագայթներն են, որոնք անցնում են ոսպնյակի օպտիկական կենտրոնի կամ կիզակետերից մեկի միջով, ինչպես նաև այն ճառագայթները, որոնք զուգահեռ են գլխավոր առանցքին կամ կողմնակի առանցքներից որևէ մեկին: Այդպիսի կառուցումների օրինակները ներկայացված են նկար 22.4.-ում:



Նկ. 22.4.

Պատկերի դիրքը և տեսքը կարելի է նաև հաշվարկել բարակ ոսպնյակի բանաձևի միջոցով: Եթե ոսպնյակի և առարկայի միջև եղած հեռավորությունը նշանակենք  $d$  տառով, իսկ պատկերի և ոսպնյակի միջև եղած հեռավորությունը՝  $f$  տառով, ապա բարակ ոսպնյակի բանաձևը՝

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = D$$

$D$  մեծությունը, որը հակադարձ է  $F$  կիզակետային հեռավորությանը, կոչվում է ոսպնյակի *օպտիկական ուժ*: Օպտիկական ուժի չափման միավորն է դիօպտրան (դպտր): Դիօպտրան 1 մ կիզակետային հեռավորությամբ ոսպնյակի օպտիկական ուժն է՝ 1 դպտր= $\text{մ}^{-1}$ :

Ոսպնյակի  $D$  օպտիկական ուժը կախված է ինչպես ոսպնյակի  $R_1$  և  $R_2$  շառավիղներից, այնպես էլ նյութի  $n$  հարաբերական բեկման ցուցիչից, որից պատրաստված է ոսպնյակը:  $D$ -ի հաշվարկների համար օգտագործվում է հետևյալ բանաձևը.

$$D = \frac{1}{F} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Ուռուցիկ մակերեսի շառավղի կորությունը համարվում է դրական, իսկ գոգավորը՝ բացասական: Այս բանաձևն օգտագործվում է տրված օպտիկական ուժով ոսպնյակներ պատրաստելու համար:

Կախված ոսպնյակի նկատմամբ առարկայի դիրքից՝ պատկերի գծային չափերը փոխվում են: Ոսպնյակի *գծային  $\Gamma$  խոշորացումը* պատկերի  $h'$  գծային չափերի և առարկայի  $h$  իրական չափերի հարաբերությունն է:

Ինչպես և սֆերիկ հայելու դեպքում  $h'$  մեծությունը հարմար է վերագրել դրական կամ բացասական նշան կախված այն բանից՝ պատկերը ուղի՞ դ է, թե՞ շրջված: Ենթադրվում է, որ  $h$  մեծությունը միշտ դրական է: Դրա համար էլ ուղիղ պատկերների համար  $\Gamma > 0$ , իսկ շրջված պատկերների համար  $\Gamma < 0$ : Նկար 22.4.-ում պատկերված եռանկյունների նմանությունից ելնելով՝ հեշտությամբ կարելի է ստանալ բարակ ոսպնյակի գծային մեծացման բանաձևը.

$$\Gamma = \frac{h'}{h} = \left| \frac{f}{d} \right| :$$

### **Տեսողություն**

Տեսողությունը առարկաների չափերը, ձևերը և գույները, նրանց փոխդասավորությունը և նրանց միջև հեռավորությունը ընկալելու մարդու կարողության ֆիզիոլոգիական ընթացքն է, որը շրջակա միջավայրում կողմնորոշման հնարավորություն է տալիս:

Առանձնացնում են հետևյալ հիմնական տեսողական ֆունկցիաները.

Կենտրոնական տեսողություն (բնորոշվում է տեսողության սրությամբ). առարկաների մանրուքները տարբերակելու աչքի կարողությունն է: Կենտրոնական տեսողությունը գնահատվում է հատուկ նշաններով աղյուսակների միջոցով:

Ծայրամասային տեսողություն (բնորոշվում է տեսողության դաշտով). աչքի անշարժ դիրքում տարածության չափն ընկալելու աչքի կարողությունն է: Ծայրամասային տեսողությունը հետազոտվում է կամպիմետրի, տեսողության դաշտի տարրալուծիչի միջոցով և այլն:

Գունային տեսողությունը գույներն ու գունային երանգներն ընկալելու աչքի կարողությունն է: Գունային տեսողությունը հետազոտվում է գունային աղյուսակների, թեստերի և անոմալոսկոպների օգնությամբ:

*Լուսազգացողությունը* (մթության հարմարվողականություն) լույսի նվազագույն (շեմային) քանակն ընկալելու աչքի կարողությունն է: Լուսազգացողությունը հետազոտվում է ադապտոմետրի օգնությամբ:

Տեսողական օրգանի ամբողջական աշխատանքն ապահովում է նաև *օժանդակ ապարատը*: Այն ներառում է ակնակապիճի (ակնախոռոչի) հյուսվածքները, կոպերը և արցունքագեղձերը, որոնք իրականացնում են պաշտպանական ֆունկցիան:

Աչքի յուրաքանչյուր շարժումն իրականանում է արտաքին վեց ակնաշարժիչ մկանների օգնությամբ:

### **Աչք**

Աչքը տեսողական օրգան է, որն ընկալում է լուսային ազդակները: Աչքը տեսողական տարրալուծիչի մի մասն է, որը ներառում է նաև գլխուղեղի կեղևում տեղակայված տեսողական նյարդը և տեսողական կենտրոնը (նկար 22.5.):

Աչքը զույգ օրգան է, տեսողությունը երկու աչքով ունի հետևյալ առավելությունը.

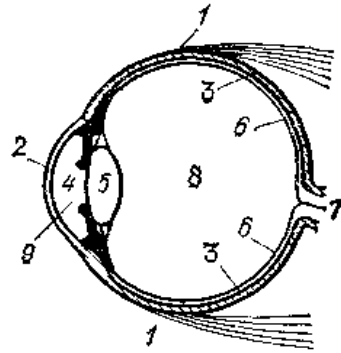
1. Մեծանում է տեսադաշտը:
2. Թույլ է տալիս տարբերել, թե որ առարկան է գտնվում մոտ և որը՝ հեռու:
3. Առարկան տեսնում ենք ոչ թե հարթ, այլ ծավալային:

Մարդու աչքն ընկալում է միայն սահմանափակ երկարություն ունեցող լուսային ալիքները՝ 302-ից մինչև 950 նմ:

Մարդու աչքը մոտավորապես գնդաձև

կառուցվածք ունի. տրամագիծը (միջինը) 2,5 սմ է (նկար 22.5.): Աչքը դրսից շրջապատված է երեք թաղանթներով: Արտաքին պինդ և ամուր թաղանթը (1), որը կոչվում է սպիտակ պատյան կամ *սպիտակուցային թաղանթ*, պաշտպանում է աչքի ներսը մեխանիկական վնասվածքներից: Աչքի առաջնային մասում սպիտակ պատյանը թափանցիկ է և կոչվում է եղջերային թաղանթ կամ *եղջերաթաղանթ* (2), աչքի մնացած ամբողջ մասում այն թափանցիկ չէ: Ներսի կողմից սպիտակ պատյանին հարում է *անոթաթաղանթը* (3), որը բաղկացած է արյունատար անոթների բարդ միահյուսումից, որոնք սնուցում են աչքը: Այս երկրորդ թաղանթը աչքի առաջնային մասում վերափոխվում է *ծիածանաթաղանթի*, որը տարբեր մարդկանց դեպքում տարբեր գույներ ունի: Ծիածանաթաղանթը կենտրոնում բացվածք ունի, որը կոչվում է *բիբ* (4): Ծիածանաթաղանթը կարողանում է վերաձևավորվել և այսպիսով փոխել բբի տրամագիծը: Այդ փոփոխությունը կատարվում է ինքնաբերաբար (անգիտակցաբար)՝ կախված աչքի մեջ ընկնող լույսի քանակից: Վառ լուսավորության ժամանակ բբի տրամագիծը 2 մմ է, իսկ թույլ լուսավորության ժամանակ հասնում է 8 մմ-ի:

Անոթաթաղանթի ներքին մակերեսին տեղակայված է ցանցային թաղանթը կամ *ցանցաթաղանթը* (6): Այն ծածկում է աչքի ամբողջ



Նկ. 22.5. Մարդու աչքի սխեմատիկ կտրվածք.

- 1 - սպիտակուցային թաղանթ, 2 - եղջերաթաղանթ, 3 - անոթաթաղանթ, 4 - բիբ, 5 - ականաբյուրեղ, 6 - ցանցաթաղանթ, 7 - նյարդ, 8 - սպակենման մարմին, 9 - առաջնային խոռոչ

հատակը, բացի առաջնային մասից: Ետևից թաղանթի միջով մտնում է *տեսողական նյարդը* (7), որն աչքը կապում է ուղեղի հետ: Դիտվող առարկաներից եկող լուսային ճառագայթները, բքի միջոցով թափանցելով աչքի մեջ, ազդում են լուսազգայուն ցանցաթաղանթի՝ մասնավորապես իր բջիջների շիկների և ցուպիկների վրա՝ առաջացնելով նյարդային գրգռվածություն: Ցանցաթաղանթի տեսողական մասը երեք շերտ նեյրոններից բաղկացած բարդ կազմակերպված ցանց է: Ցանցաթաղանթի գործառույթը՝ որպես տեսողական յուրահատուկ զգայարան, սերտորեն կապված է անոթային թաղանթի հետ (անոթաթաղանթ): Տեսողական գործողությունը իրականացնելու համար անհրաժեշտ է տեսողական նյութի քայքայում լույսի ազդեցությամբ: Շիկները և ցուպիկները իրարից տարբերվում են իրենց մեջ առկա լուսազգայուն նյութերի պարունակությամբ: Ցուպիկների նյութը՝ *ռոդոպսինը* (տեսողական մարմնիկ), պատասխանատու է լույսի ընկալման համար: Կլանելով լուսամասնիկը՝ ռոդոպսինի մոլեկուլի քրոմոֆորային խումբը իզոմերիզացվում է՝ ցիս ձևից անցնելով տրանս ձևի: Այսպիսի տարածական փոփոխությունը թույլ է տալիս ռոդոպսինին միանալ մեկ այլ սպիտակուցի՝ տրանսդուցինի: Այս գործընթացը հայտնի է որպես տեսողական կասկադի առաջին աստիճան: Ռոդոպսինի առավելագույն լուսակլանումը համապատասխանում է համարյա 500 նմ ալիքի երկարությանը (կանաչ լույս): Համապատասխանաբար, ցուպիկները առավելագույն զգայունություն են ցուցաբերում հենց այդ 500 նմ երկարությամբ ալիքի ճառագայթման նկատմամբ: Ենթադրվում է, որ շիկների լուսազգայուն նյութը (յոդոպսինը) բաղկացած է երեք նյութերի խառնուրդից, որոնցից յուրաքանչյուրն առավելագույն կլանում ունի և հետևաբար առավելագույն լուսազգայունություն լուսապատկերի կարճ-, միջին- և երկարալիքային գոտիներում: Լույսի ազդեցությամբ լուսազգայուն նյութերի մոլեկուլները տարրալուծվում են դրական և բացասական լիցքավորված իոնների: Այն նյարդաթելում հոսանքի ալիք է առաջացնում, որը տարածվում է դեպի ուղեղ 100 մ/վ արագությամբ: Այստեղ լուսային ազդակներն ընկալվում են որոշակի պատկերների և տպավորությունների տեսքով:

Ռոդոպսինի և յոդոպսինի լուսային քայքայման հակազդեցությունները վերադարձելի են, այսինքն՝ որոշ ժամանակ անց այն բանից հետո, երբ լույսի ազդեցությամբ դրանք տարրալուծվել էին իոնների, վերադառնում են իրենց սկզբնական լուսազգայուն ձևին: Այսպիսով, աչքի մեջ հաստատվում է լուսազգայուն նյութերի տարրալուծման և հաջորդական վերականգնման անդադար ցիկլ: Այն ապահովում է աչքի նորմալ աշխատանքը տևական ժամանակի ընթացքում: Եթե աչքի վրա ազդող

լույսի մակարդակը ժամանակի ընթացքում չի փոխվում, ապա լուսա-  
 զգայուն նյութերի երկու ձևերի կոնցենտրացիաների միջև հաստատվում  
 է դինամիկ հավասարակշռություն: Ակնհայտ է, որ աչքի զգայունությունը  
 համեմատական է լուսազգայուն նյութերի սկզբնական կոնցենտրա-  
 ցիաներին: Այս կոնցենտրացիաների մեծությունը կախված է ժամանակի  
 նախորդող ռոպենների ընթացքում լույսի քանակից: Այստեղից հետևում է,  
 որ ազդող լույսի տարբեր մակարդակների ժամանակ աչքի լուսային  
 զգայունությունը փոխվում է: Հայտնի է, որ եթե վառ լուսավորված  
 միջավայրից մտնենք շատ թույլ լուսավորված տարածք, ապա  
 սկզբնական շրջանում աչքերը ոչինչ չեն կարողանա տարբերել:  
 Աստիճանաբար աչքերի՝ առարկաները տարբերելու կարողությունը  
 վերականգնվում է: Երկար ժամանակ (մոտ մեկ ժամ) մթության մեջ  
 լինելուց հետո աչքերի զգայունությունը դառնում է առավելագույն: Եթե  
 այդ պահին դուրս գանք լուսավոր տեղ, ապա առաջին ռոպեի ընթացքում  
 աչքերը կուրացած կլինեն. լուսազգայուն նյութերի վերականգնումը  
 դանդաղում է իրենց ինտենսիվ տարրալուծման պատճառով: Աստի-  
 ճանաբար աչքերը հարմարվում են լուսավորության մակարդակին, ինչն  
 արտահայտվում է զգայունության փոփոխությամբ:

Ցանցաթաղանթի զգայունությունը շատ բարձր է: Գիշերը սովորական  
 մոմի լույսն ընկալվում է մի քանի կիլոմետր հեռավորությունից: Տարբեր  
 պայծառություն ունեցող լույսին հարմարվելու աչքի կարողությունն  
 անվանում են *հարմարվողականություն*:

Եղջերաթաղանթի և ծիածանաթաղանթի միջև առկա տարածությունն  
 անվանում են առաջնային խոռոչ (9). այն լցված է խոռոչային հեղուկով:  
 Աչքի ներսում՝ անմիջապես բբի ետևը, տեղակայված է ակնաբյուրեղը (5),  
 որն երկուռուցիկ ոսպնյակի ձև ունեցող պիրի թափանցիկ մարմին է  
 (նկար 22.6.): Ակնաբյուրեղն աչքի մեջ օկախված է օ բարակ ճառագայթա-  
 ձև թելերից, որոնք պահում են  
 այն շրջանաձև գոտիով: Այդ  
 թելերի արտաքին վերջավորու-  
 թյուններն ամրացվում են  
 թարթիչային մկանին: Երբ այդ  
 մկանը հանգիստ է, ապա իր  
 մարմնից կազմված շրջանը մեծ  
 տրամագիծ ունի, ակնաբյուրեղը  
 պահող թելերը և իր շառավիղը  
 ձգված են, հետևաբար բեկման ուժը նվազագույնն է: Իսկ երբ թարթիչային  
 մկանը լարվում է (մոտ գտնվող առարկաները դիտելու ժամանակ),

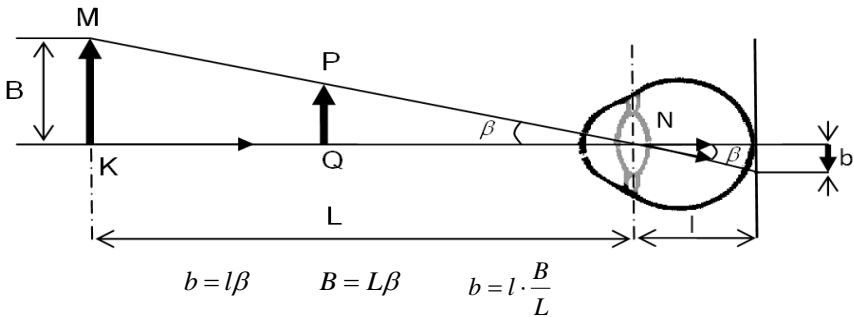


Նկ. 22.6. Հարմարեցման մեխանիզմի սխեմատիկ պատկերումը ձախից՝ կիզակետում դեպի հեռու աջից՝ մոտ առարկաների կիզակետում

շրջանը նեղանում է, թելերը թուլանում են, և ակնաբյուրեղը դառնում է ավելի ուռուցիկ, հետևաբար ավելի շատ բեկելի: Ակնաբյուրեղի այս հատկությունը՝ բեկման ուժը և դրա հետ մեկտեղ ամբողջ աչքի կիզակետը փոխելու կարողությունը, կոչվում է *ակոմոդացիա*: Ակոմոդացիայի սահմանն սկսվում է, երբ առարկան գտնվում է աչքից 12սմ հեռավորության վրա: *Հավազույն տեսողության հեռավորությունը*, որի դեպքում առարկայի մանրամասները կարելի է տեսնել առանց լարման, նորմալ աչքի համար հավասար է 25սմ:

Նվազագույն հեռավորության վրա գտնվող երկու կետերն իրարից տարբերակելու աչքի կարողությունն անվանում են *տեսողության սրություն*: Այդ կետերից եկող ճառագայթների կառուցած անկյունն անվանում են *տեսողության սրության չափանիշ*: Որքան փոքր է այդ անկյունը, այնքան տեսողության սրությունը բարձր է: Որպես տեսողության սրության միավոր ընդունվում է այն աչքի սրությունը, որի տեսողության նվազագույն անկյունը 1' (1րոպե) է:

Պատկերի չափերը ցանցաթաղանթի վրա կախված են առարկայի չափերից, տեսողության անկյունից, առարկայի և աչքի միջև հեռավորությունից: Տեսողության անկյուն կոչվում է այն անկյունը, որը կազմված է առարկայի երկու ծայրակետերից աչքի մեջ եկող ճառագայթներով:



b-ն պատկերի չափն է, B-ն՝ առարկայի չափը, l -ը օպտիկական կենտրոնի (N) և ցանցաթաղանթի միջև հեռավորությունն է, L-ը՝ առարկայի և աչքի միջև հեռավորությունը:

Իր կառուցվածքով աչքը՝ որպես օպտիկական համակարգ, նման է ֆոտոդիսկի: Դիտակի դերն իրականացնում է ակնաբյուրեղը՝ առաջնային խոռոչի բեկվող միջավայրի հետ համատեղ: Պատկերը ստացվում է ցանցաթաղանթի լուսազգայուն մակերեսի վրա: Եվ վերջապես բիբը կատարում է տրամագծով փոխվող դիաֆրագմայի դեր: Աչքի ընտելանալու կարողությունը հնարավորություն է տալիս ցանցաթաղանթի վրա

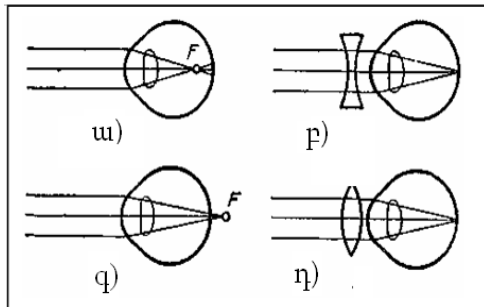
ստանալու տարբեր հեռավորությունների վրա գտնվող առարկաների կտրուկ պատկերներ:

**Կարճատեսություն, հեռատեսություն և աստիգմատիզմ**

Աչքի օպտիկական համակարգում լուսային ճառագայթների բեկման տարատեսակ խախտումները, որոնք հանգեցնում են ցանցաթաղանթի վրա պատկերների ապակիզակետմանը, կոչվում են *լուսաբեկման շեղումներ (ամետրոպիաներ)*: Այդպիսի շեղումներից են *կարճատեսությունը (միօպիա)*, *հեռատեսությունը (հիպերմետրոպիա)* և *աստիգմատիզմը*: Հաճախ աչքի ետին կիզակետը հանգիստ վիճակում գտնվում է ոչ թե հենց ցանցաթաղանթի վրա (ինչպես սովորական աչքն է), այլ ցանցաթաղանթի այս կամ այն կողմում:

Եթե հանգիստ վիճակում աչքի կիզակետը գտնվում է ցանցաթաղանթից առաջ, (նկար 22.7.ա), ապա աչքը կարճատես է: Այդպիսի աչքը հեռվում գտնվող առարկաները պարզորոշ չի տեսնում, քանի որ ընտելացման ժամանակ մկանների լարումը կիզակետն ավելի է հեռացնում ցանցաթաղանթից: Կարճատեսությունը շտկելու համար անհրաժեշտ է կրել ցրող ոսպնյակներով ակնոցն (նկար 22.7. բ):

Հեռատեսության դեպքում կիզակետը հանգիստ վիճակում գտնվում է ցանցաթաղանթից այն կողմ: Հեռատես աչքը սովորական աչքի համեմատ ավելի թույլ է բեկվում: Նույնիսկ բավականին հեռվում գտնվող առարկաները տեսնելու համար հեռատես աչքը պետք է ջանք գործադրի. մոտ գտնվող առարկաները



Նկար 22.7.

տեսնելու համար աչքի ընտելանալու կարողությունն արդեն բավարար չէ: Հեռատեսությունը շտկելու համար օգտագործվում են հավաքող ոսպնյակներով ակնոց, որը հանգիստ վիճակում աչքի կիզակետը բերում է ցանցաթաղանթի վրա:

Այժմ անդրադառնանք լուսաբեկման շեղումներին առանձին-առանձին:

**Կարճատեսություն**

Քաղաքակիրթ աշխարհում կարճատեսությունն անհամաչափ լուսաբեկման առավել տարածված տեսակ է: Կարճատեսությունը լինում



է նաև բնածին: Առավել հաճախ այն զարգանում է տեսողության ինտենսիվ ծանրաբեռնվածության պատճառով, հատկապես մոտ տարածությունից դիտելու դեպքում (դպրոցական ծանրաբեռնված դասընթացները, ընթերցանությունը, մանր առարկաներով մանկական խաղերը, տեսողության հիգիենայի խախտումը), հատկապես թարթիչամկանի հարաբերական թուլության ժամանակ: Պատահական չէ, որ ըստ վիճակագրական տվյալների՝ կարճատեսությունը մեծ մասամբ հանդիպում է բարձր զարգացած երկրներում, որտեղ առկա է հիանալի կրթական համակարգ: Իսկ, օրինակ, Աֆրիկայում, կարճատեսությունը շատ քիչ է հանդիպում: Իհարկե, կարճատեսությունը պայմանավորված է նաև ժառանգականությամբ, բայց ավելի քիչ չափով, քան ընդունված է կարծել: Արտաքին բոլոր պայմաններն ավելի շատ են ազդում երեխայի լուսաբեկման ապարատի ձևավորման վրա, քան գենետիկան: Կարճատեսության զարգացման ժամանակ՝ կախված աչքի արտաքին մկանների ազդեցություններից, առկա է ակնախնձորի ձգում առաջ-ետ ուղղությամբ: Աչքն աճում է տեսողական առանցքի երկայնքով և դառնում է ավելի ձգված: Աչքի ետևի մասը աչքի հատակի (ցանցաթաղանթ) հետ միասին ավելի է հեռանում աչքի տեսողական առանցքի այն կետից, որտեղ կիզակետվում են լույսի ճառագայթները: Աչքի երկարության այսպիսի աճը կարող է լինել ինչպես պատանու մարմնի ընդհանուր աճի հետ մեկտեղ (միջին 20-21 տարեկան հասակում), այնպես էլ հետագա տարիներին: Աչքի երկարության աճը կարող է ոչ համամասնորեն գերազանցել մարմնի աճին, նույնիսկ շարունակվել առանց նրա: Տվյալ դեպքում ակնաբույժները հաստատում են զարգացող կարճատեսության առկայություն: Իսկ դա արդեն ոչ միայն լուսաբեկման շեղում է, այլև հիվանդություն, որը բուժում է պահանջում: Կարճատեսության աստիճանի աճի հետ մեկտեղ աչքի արտաքին թաղանթը՝ սպիտակ պատյանը, աճում է մակերեսով, բայց ամեն դեպքում նեղանում է (հետևաբար և թուլանում): Անոթաթաղանթի վիճակն ավելի վատ է, քանի որ աչքի աճի ընթացքում նրա հետևի մասը սնող անոթների քանակը չի ավելանում: Անոթների նույն քանակի վրա ավելի մեծ խնդիր է դրվում՝ սնուցել աչքի հյուսվածքների ավելի մեծ ծավալ: Նշանակում է, որ աչքի հատակում նյութափոխանակության պայմանները վատանում են, ինչը չի կարող չազդել աչքի հետին մասի կենսագործունեության վրա: Գլխավորն այն է, որ դեպի ցանցաթաղանթ արյան հոսքն ապահովում է բուն տեսողական գործողության հաջողությունը՝ ցանցաթաղանթի նյարդային բջիջներում ընթացող ֆոտոքիմիական գործընթացը (ռոդոպսինի՝ տեսողական պիգմենտի քայքայումն ու սինթեզը): Դա նշանակում է, որ տեսողական

պատկերը դեպի ուղեղ փոխանցող նուրբ գործընթացն ավելի է դժվարանում:

Սակայն աչքի ֆիզիկական օպտիկան հայտնվում է ավելի վատ պայմաններում. կարճատեսության ժամանակ նյարդային բջիջների ընդհանուր քանակը չի ավելանում (դրանց թիվն արդեն ձևավորված է լինում երեխայի ծնվելու ժամանակ): Սակայն պակասել է  22իկների  քանակը ցանցաթաղանթի մակերեսի մեկ միավորի համար: Դրա հետ մեկտեղ լուսային ճառագայթներն ընդունող և տեսողության սրության համար պատասխանատու նյարդային բջիջների միջև եղած տարածությունն է ավելացել: Մա հանգեցնում է նրան, որ նույնիսկ ցանցաթաղանթի վրա ճառագայթների գերազանց կիզակետման դեպքում էլ  22իկների  քիչ քանակությունն ի վիճակի չի լինում ուղեղ փոխանցել հստակ տեղեկատվություն՝ տեսողության սրության պատճառով: Ուղեղի ընդհանուր տեսողական պատկերի որակն ավելի է վատանում: Այդպիսի աչքն արդեն չի ապահովում տեսողության 100% սրություն: Այսինքն՝ կարճատեսության աճը հանգեցրել է աչքի հատակի լուսազգայուն ապարատի վնասմանը: Մա արդեն ոչ թե կարճատեսություն է, այլ կարճատեսության հիվանդություն: Եթե կարճատեսությունը կարող է շտկվել որոշակի պայմաններում (վիրահատական կամ լազերային), ապա կարճատեսության հիվանդությունը պարտադիր բուժում է պահանջում: Կարճատեսության հիվանդության դեպքում աչքի օպտիկայի շտկումը առանց բուժման ոչ միայն սխալ է, այլև կարող է վտանգավոր լինել հիվանդի համար:

### **Հեռատեսություն**

Սովորաբար հեռատեսությունը բնածին է: Մեծ մասամբ երեխաները հեռատես են ծնվում: Այնուհետև լուսաբեկման այդ շեղումն անհետանում է 2-3 տարի անց կամ էլ պակասում է: Հեռատեսություն լինում է կա՛մ աչքի օպտիկայի թույլ լինելու դեպքում, կա՛մ էլ աչքի կարճ առաջ-հետևային առանցքի դեպքում, կա՛մ էլ այդ գործոնների համատեղման դեպքում: Այդ դեպքում լույսի բեկված ճառագայթները կիզակետվում են ցանցաթաղանթից այն կողմ: Որպեսզի կիզակետումը կատարվի հենց ցանցաթաղանթի վրա, աչքի ընդհանուր բեկման ուժին անհրաժեշտ է ավելացնել հավաքող  դրական  ոսպնյակ՝ կա՛մ ակնոցնի, կա՛մ էլ եղջերաթաղանթի համար կոնտակտային ոսպնյակների միջոցով: Հիվանդը կարող է չիմանալ, որ ինքը հեռատեսություն ունի, քանի որ այն կարող է 20-30 տարի ոչ մի կլինիկական ախտանիշ չունենալ՝ կախված հիվանդության աստիճանից և աչքի օպտիկայի ռեսուրսներից: Սովորաբար հեռատեսությունը հեշտությամբ շտկվում է ակնոցի միջոցով, չնայած, ի տարբերություն կարճատեսության, վիրահատական

կամ լազերային մեթոդներով շտկումն ավելի բարդ է: Սովորաբար հեռատեսության ժամանակ աչքի հատակը չի վնասվում: Դրա համար էլ հեռատեսության վիճակն ավելի անվտանգ է, քան կարճատեսության վիճակը, և հատկապես կարճատեսության հիվանդության: Հեռատեսության հիվանդություն գոյություն չունի:

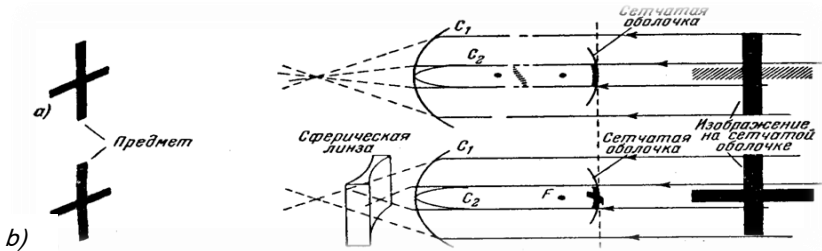
### **Պրեսբիոպիա**

Այսպես են անվանում տարիքային հեռատեսությունը: Բանն այն է, որ տարիքի հետ աչքի ակնաբյուրեղը սերտանում է, ամեն տարի նրա շերտերը ներս են աճում: Իր ընդհանուր էլաստիկությունը համարյա մինչև վերջ պակասում է: Թարթչամկանը նույնպես տարիքի հետ թուլանում է, ինչն ակնաբյուրեղի սերտացման հետ մեկտեղ մահացու ազդեցություն է ունենում ընտելացման պաշարների վրա: Բյուրեղային ընտելացումը անհետանում է 60 տարեկան հասակում: Գիտական վերջին տվյալների համաձայն՝ գոյություն ունի աչքի ընտելացման ևս մեկ մեխանիզմ՝ արտաքին, մկանային: Բայց այն ավելի քիչ է գործում, քան բյուրեղայինը: Պրեսբիոպիայի դեպքում, նույնիսկ թարթչամկանի առավելագույն լարման և թարթչակապերի թուլացման դեպքում էլ ակնաբյուրեղը չի կարող ավելի ուռուցիկ դառնալ, այսինքն՝ չի կարող մեծացնել իր բեկման կարողությունը: Արդյունքում մարդը չի կարողանում մեքենայաբար հայացքը կենտրոնացնել մոտիկ առարկաների վրա, դժվարություններ առաջանում են ընթերցելու, գրելու, այլ մոտիկ մանր առարկաների զանազանման ժամանակ: Ստիպված ենք լինում դիմել լրացուցիչ արտաքին ոսպնյակների՝ օդրական ակնոցի օգնությանը: Պրեսբիոպիան աչքերի հիվանդություն չէ, այլ նորմալ տարիքային գործընթաց: Դրա համար էլ այն որևէ բուժում չի պահանջում, այլ միայն շտկում:

### **Աստիգմատիզմ**

Աստիգմատիզմն առավել հաճախ բնածին է, բայց կարող է նաև ձեռք բերվել աչքերի վիրահատական բուժման (օրինակ՝ կատարախտի հեռացումը) կամ վնասվածքի արդյունքում: Աստիգմատիզմը համարյա ամբողջովին առնչվում է եղջերաթաղանթին: Երկիր մոլորակի բնակչության մոտավորապես 75%-ը աստիգմատիզմ ունի, այսինքն՝ բնակչության մեծ մասը: Բայց 90%-ի շրջանում այն չի գերազանցում 0,5 – 0,75 դիօպրան, ինչը հնարավորություն է տալիս մեր աչքերին և ընդհանրապես մեր հիանալի օրգանիզմին մեքենայաբար հեռացնելու այս չնչին աստիգմատիզմի հետ կապված տեսողության բոլոր թերությունները՝ մեր տեսողական օրգանի ներքին ռեսուրսների օգնությամբ: Աստիգմատիզմը կամ տեսողական պատկերների խեղաթյուրումը, որը կապված է եղջերաթաղանթի սխալ կորության հետ, ոչ մի ընդհանուր բան չունի ակնա-

բյուրեղից մինչ ցանցաթաղանթ ընկած տարածության խախտման հետ: Աստիգմատիզմի դեպքում եղջերաթաղանթի առաջնային մակերևույթը ոչ թե շրջանի մակերես է, որտեղ բոլոր շառավիղները հավասար են, այլ պտտվող էլիպսոիդի կտրվածք, որտեղ յուրաքանչյուր շառավիղ ունի իր երկարությունը: Դրա համար մերիդիան (միջօրեական) ունի հատուկ բեկում, որը տարբերվում է հարևան մերիդիանայի բեկումից:



Նկ. 22.8.

Պատկերը, որը ստացվում է աստիգմատիկ աչքի ցանցաթաղանթի վրա (a): Աչքի ակնաբյուրեղի  $C_1$  կորի ուղղահայաց լարումը տարբերվում է  $C_2$  կորի հորիզոնական լարումից: Այդ թերությունը շտկվում է ցրող ցիլինդրային ոսպնյակի օգնությամբ (b):

Աստիգմատիզմը կարող է գլխացավերի առաջացման պատճառ դառնալ և աղոտ տեսողություն առաջացնել, հատկապես երկար ժամանակ ընթերցելիս: Աստիգմատիզմը շտկվում է ցիլինդրային ոսպնյակի օգնությամբ՝ սֆերիկ ոսպնյակի փոխարեն: Մասնավորապես նշենք, որ ակնոցի ոսպնյակների կորության ուղղությունը պետք է համընկնի աչքի ակնաբյուրեղի կորությանը: Հետոբար, եթե աստիգմատիկ ոսպնյակը աչքի համեմատ փոխում է իր դիրքը, ապա անհրաժեշտ է միջոցներ ձեռնարկել, որ այն վերադառնա իր տեղը, քանի որ միանգամայն անհրաժեշտ է, որ համապատասխան կորությունները համընկնեն:

**Տեսողության վերականգնումը**

Նորագույն տեխնոլոգիաները թույլ են տալիս լուծել աչքի տարբեր պաթոլոգիաների դեպքում, տեսողության շտկման և տեսողական համակարգի ֆունկցիաների վերականգնման հետ կապված բազմաթիվ խնդիրներ: Ակնաբուժության մեջ կիրառվող ամենավերջին մեթոդներից է տեսողության լազերային շտկումը, որը թույլ է տալիս չկրել ակնոց և օպտիկական լինզաներ: Մասնավորապես հատուկ սարքի օգնությամբ ներգործում են աչքի եղջերաթաղանթի վրա: Հիվանդության որոշակի ձևից կախված՝ վիրաբույժը ձգտում է շտկել տեսողական օրգանների արատները:

Վիրահատության ժամանակ ակնավիրարույժը հանում է եղջերաթաղանթի վերին շերտը, այնուհետև լազերի օգնությամբ հեռացվում է եղջերաթաղանթի ներքին մասը, որից հետո դրվում է վերին շերտը: Լազերային շտկմամբ կատարվող վիրահատությունը ընթանում է առանց ընդհանուր անզգայացման, որը նվազեցնում է վնասակար ներգործությունն օրգանիզմի վրա: Հիվանդը զգալի անհարմարություններ չի զգում, ինչպես լազերային շտկման ժամանակ, այնպես էլ գործընթացի ավարտից հետո: Սովորական դեպքերում տեսողության սրությունը վերականգնվում է անմիջապես, իսկ աշխատունակությունը՝ մի քանի օր անց:

**Թեստային օրինակներ**

1. Որքա՞ն է անդրադարձման անկյունը, եթե անկման անկյունը  $74^\circ$  է:

- ա)  $174^\circ$ ,                      բ)  $16^\circ$ ,                      գ)  $74^\circ$ ,                      դ)  $106^\circ$

2. Ճառագայթը վակուումից ընկնում է  $\sqrt{3}$  բացարձակ բեկման ցուցիչ ունեցող մակերևութին: Ինչքա՞ն է անկման անկյունը, եթե բեկման անկյունը  $30^\circ$  է, իսկ վակուումում բացարձակ բեկման ցուցիչը՝ 1:

- ա)  $30^\circ$ ,                      բ)  $45^\circ$ ,                      գ)  $60^\circ$ ,                      դ)  $90^\circ$

3. Քանի՞ անգամ կմեծանա ճառագայթի տարածման արագությունը երկու միջավայրերի սահմանից անցնելիս, եթե առաջին միջավայրի բեկման ցուցիչը 1,25 անգամ մեծ է երկրորդից:

- ա) 1,                      բ) 1,25,                      գ) 1,5,                      դ) ճիշտ պատասխան չկա

4. Ճառագայթն անցնում է երկու միջավայրերի բաժանման սահմանով: Որքա՞ն է առաջին միջավայրում ճառագայթի տարածման արագությունը, եթե երկրորդում այն  $2.5\bar{E}10^8$  մ/վ է: Առաջին միջավայրում բեկման ցուցիչը 5 անգամ անգամ մեծ է երկրորդում միջավայրում բեկման ցուցիչից:

- ա)  $5\bar{E} 10^8$  մ/վ,                      բ)  $5\bar{E} 10^7$  մ/վ,  
գ)  $7.5\bar{E} 10^7$  մ/վ,                      դ)  $7.5\bar{E} 10^8$  մ/վ

5. Հետևյալ բանաձևերից ո՞րն է սխալ.

ա)  $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ ,                      բ)  $F = \frac{1}{D}$ ,                      գ)  $\frac{1}{d} = \frac{1}{f} - D$ ,                      դ)  $F = \frac{d \cdot f}{d + f}$

6. Առարկայի և հավաքող ոսպնյակի հեռավորությունը 0,25 մ է, իսկ ոսպնյակի կիզակետային հեռավորությունը՝ 0,1մ: Ինչի՞ է հավասար ոսպնյակի և պատկերի միջև հեռավորությունը:

- ա) 0,15,                      բ)  $3/5$ ,                      գ)  $1/6$ ,                      դ) 0,35,

7. Ինչպե՞ս կփոխվի պատկերի գծային չափերը՝  $h'$ , եթե ոսպնյակը փոխարինենք 50%-ով մեծ գծային խոշորացումով ոսպնյակով:

- ա) կմեծանա 2 անգամ                      բ) կփոքրանա 2 անգամ  
գ) կմեծանա 1,5 անգամ                      դ) կփոքրանա 1,5 անգամ

8. Որո՞նք են հիմնական տեսողական ֆունկցիաները.

1. կենտրոնական տեսողություն

2. ծայրամասային տեսողություն

3. կետային տեսողություն

4. գունային տեսողություն

ա) միայն 1,2,3 բ) միայն 1,3,4 գ) միայն 2,3,4 դ) միայն 1,2,4

**9. Ինչպե՞ս է փոխվում բբի տրամագիծը կախված լուսավորության մեծացումից:**

ա) փոքրանում է բ) մեծանում է

գ) մնում է անփոփոխ դ) բոլոր պատասխանները սխալ են

**10. Ցուպիկներում լույսի ընկալման համար  $n$  ը սպիտակուցն է պատասխանատու.**

ա)յոդոպսին, բ) հեմոգլոբին, գ) ռոդոպսին, դ) տրանսդուցին

**11. Ալիքի երկարության  $n$  ը տիրություն է կլանվում յոդոպսին սպիտակուցը.**

ա) կարճ բ) միջին գ) երկար դ) բոլորը ճիշտ են

**12. Տարբեր պայծառություններ ունեցող լույսին հարմարվելու աչքի կարողությունն անվանում են՝**

1. տեսողության սրություն 2. բեկում 3. հարմարում 4. պրեսբիոպիա

ա) միայն 1,4 բ) միայն 3 գ) միայն 4 դ) միայն 2,3

**13. Եթե հանգիստ վիճակում աչքի կիզակետը գտնվում է ցանցաթաղանթից առաջ, ապա աչքը՝**

ա) կարճատես է, բ) հեռատես է, գ) աստիգմատիկ է, դ) բոլորը ճիշտ են

**14. Հեռատեսությունը շտկելու համար օգտագործում են հետևյալ ոսպնյակները՝**

1. հավաքող 2. ցրող 3. երկուռուցիկ 4. երկգոգավոր

ա) միայն 1,3 բ) միայն 2,3 գ) միայն 1,4 դ) միայն 2,4

**15. Կարճատեսության հիվանդության ժամանակ՝**

1. վնասվում է աչքի հատակի լուսազգայուն ապարատը

2. միավոր մակերեսի վրա պակասում է 22իկների քանակը

3. միավոր մակերեսի վրա ավելանում է 22իկների քանակը

4. մեծանում է տեսողության համար պատասխանատու նյարդային բջիջների միջև եղած հեռավորությունը

ա) միայն 1,3,4 բ) միայն 2,4 գ) միայն 1,2,4 դ) միայն 1,3

**16. Աստիգնատիզմը կախված է՝**

ա) եղջերաթաղանթի սխալ կորության հետ

բ) ակնաբյուրեղից մինչև ցանցաթաղանթ հեռավորության խախտման հետ

գ) ակնաբյուրեղի սխալ կորության հետ

դ) ցանցաթաղանթի սխալ կորության հետ

**Պատասխաններ**

1.գ 2.ա 3.դ 4.բ 5.գ 6.գ 7.գ 8.դ 9.ա

10.գ 11.դ 12.բ 13.ա 14.ա 15.գ 16.ա

**ԳԼՈՒԽ 7. ԱՆՏՈՐՈՇՄԱՆ ՈՐՈՇ ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ**

**ՍԱՐՔԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՄԿՉԲՈՒՆՔՆԵՐԸ**

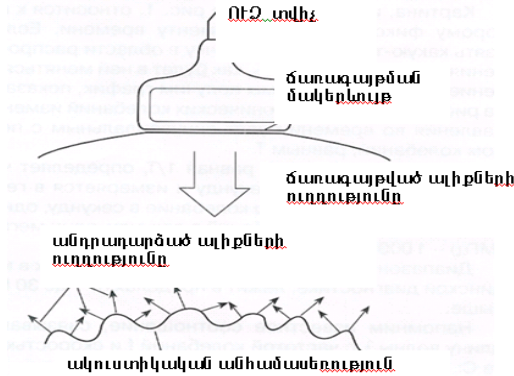
(Յու. Բաբայան, Ք. Եղիազարյան, Ա. Թադևոսյան, Վ. Հովհաննիսյան)

Այսօր անհնար է պատկերացնել բժշկական հաստատությունը առանց ֆիզիկական սարքերի և սարքավորումների:

Բուժման պրոցեսի կարևոր գործընթացներից է հիվանդության ախտորոշումը, որը ենթադրում է հիվանդի հետազոտումը գերժամանակակից սարքերով:

### **23. Ուլտրաձայնային ախտորոշման ֆիզիկական սկզբունքները և մեթոդները**

Մեր ականջը որպես ձայն ընկալում է 16 Հց-ից մինչև 20 000Հց հաճախությամբ ալիքները: Ձայնի առավելագույն հաճախությունը (20 Կհց) գերազանցող հաճախությամբ ալիքներն անվանում են **ուլտրաձայն**: Ուլտրաձայնն ակուստիկական ալիք է: Մարդու ականջով չընկալվող այս ալիքները կարող են օգտագործվել մարմնի հյուսվածքների աչքին անտեսանելի շերտերը տեսանելի դարձնելու համար: Ակուստիկական ալիքները մասնիկների մեխանիկական տատանումներ են, որոնք տարածվում են առաձգական միջավայրում: Նյութի երեք ազդեցատային վիճակներում էլ գոյություն ունեն ձայնային կամ ակուստիկական ալիքներ, որոնց տարածման ժամանակ տեղափոխվում է էներգիա: Հետևաբար ուլտրաձայնը կարող է տարածվել բոլոր տիպի կենսաբանական հյուսվածքներով, քանի որ վերջիններս՝ կամ պինդ մարմիններ են՝ ոսկրային հյուսվածքներ, աղային կուտակումներ, կամ հեղուկ միջավայր՝ փափուկ հյուսվածքներ, որոնց 90%-ը ջուր է, կամ էլ այնպիսի հյուսվածքներ, որոնք ներառում են գազային միջավայր՝ թոքերը, ստամոքսը, աղիքները: Ելնելով այս հանգամանքից՝ ուլտրաձայնը օգտագործվում է բժշկության մեջ ախտորոշման և թերապևտիկ նպատակներով: Բժշկական ախտորոշման մեջ օգտագործվող ուլտրաձայնային ալիքների հաճախության տիրույթն ընկած է 1-ից մինչև 30 ՄՀց: Հիվանդի մարմնին հավող ուլտրաձայնային տվիչի աշխատող մակերեւվույթի տատանումները փոխանցվում են կենսաբանական հյուսվածքներին, որի արդյունքում միջավայրի մասնիկները նույնպես սկսում են տատանվել իրենց հավասարակշռության դիրքի շուրջ՝ առաջ բերելով տվիչից քիչ հեռու գտնվող հարևան մասնիկների տեղաշարժ: Այսպես տատանումները (ալիքները) տարածվում են կենսաբանական հյուսվածքների ավելի խոր շերտերը (նկար 23.1.):

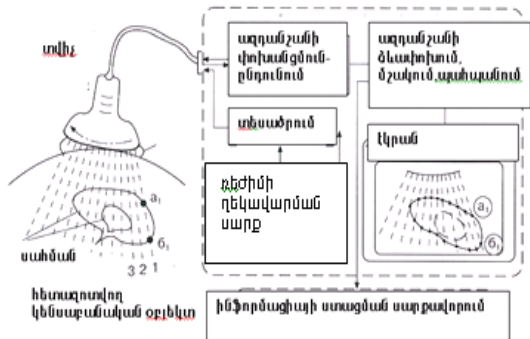


Նկ. 23.1.

Մարքերում օգտագործվում է օրգանների, դրանց կառուցվածքների մասին ինֆորմացիայի ստացման անդրաձայնային տեղորոշման սկզբունքը, որի ժամանակ տվիչից ճառագայթված ակուստիկական ազդանշանները, անդրադառնալով կենսաբանական միջավայրի անհամասեռություններից, նորից ընդունվում են տվիչի կողմից՝ էկրանի վրա տալով **ուլտրաձայնային պատկեր**:

**Մարքի նկարագիրը**

Ընդհանուր առմամբ ուլտրաձայնային սարքում ակուստիկական երկչափական պատկերի ստացման սխեմատիկական մեխանիզմը ներկայացված է ստորև բերված նկարում (նկար 23.2.): Տվիչը ապահովում է ուլտրաձայնային ազդանշանների ճառագայթումը որոշակի ուղղություններով և այդ ուղղություններից



և այդ ուղղություններից

ներից անդրադարձված էխո-ազդանշանների ընդունումը: Մարքի օտեսագրման ղեկավարման քաթինը պատասխանատու է ճառագայթի տեղակայման համար տվյալ տվիչի դիրքում: Ազդանշանների



□փոխանցման-ընդունման□ մասը ձևավորում է կարճ էլեկտրական իմպուլս, որը փոխանցվում է տվիչին: Տվիչում էլեկտրական իմպուլսը ձևափոխվում է զոնդավորող ակուստիկական իմպուլսի՝ ընթացող առանցքի ուղղությամբ: Չոնդավորող իմպուլսը կենսաբանական հյուսվածքում շարժվում է այնպիսի արագությամբ, որի արժեքը մոտ է ջրում ձայնի արագությանը: Տվիչը □փոխանցող-ընդունող□ սարքվածքի հետ միասին ճառագայթումից անմիջապես հետո փոխանցման ռեժիմից անցնում է ազդանշանների ընդունման ռեժիմին: Եթե զոնդավորող իմպուլսի ճանապարհին հանդիպում են ակուստիկական խոչընդոտներ, ապա իմպուլսի հզորության մի մասը էխո-ազդանշանների տեսքով անդրադարձվում է տարբեր ուղղություններով, նաև դեպի տվիչ: Ուլտրաձայնային ճառագայթի տիրույթում անհամասեռություններից առաջ եկող էխո-ազդանշաններն ընդունվում են տվիչի կողմից, ձևափոխվում են էլեկտրական իմպուլսների և □փոխանցման-ընդունման□ սարքում անցնում են ազդանշանների □ձևափոխման-մշակման-պահպանման□ մաս, ձևավորվում են այնպիսի ազդանշաններ, որոնք կարտապատկերվեն մոնիտորին: Էխո-ազդանշանները պատկերվում են պայծառ նշագծերի տեսքով: Այն պայծառությունը, որով անդրադարձվում է էխո-ազդանշաններից յուրաքանչյուրը, համեմատական է կլանված էխո-ազդանշանի լայնության: Արդյունքում ձևավորվում է պայծառ պատկեր, որտեղից էլ հենց անվանումը **Բ-ռեժիմ** (*brightness-պայծառություն*): Օգտագործվում է ռեժիմի երկրորդ անվանումը 2D-ռեժիմ (*two-dimensional - երկչափ*):

**Կիրառությունները**

Ուլտրաձայնը կիրառվում է բժշկության գրեթե բոլոր ոլորտներում:

Մանկաբարձության ոլորտում ուլտրաձայնային հետազոտությունները մեծ կիրառություն ունեն: Դրանք հիմնականում ուսումնասիրում են 4 կարևոր հարցեր.

- Ընկերքի տեղի հստակ որոշում, որն առաջնային տեղ է զբաղեցում մանկաբարձության մեջ:

- Պտղի աճի գնահատում, ըստ մի քանի պարամետրերի՝ գլխի տրամագծի, կրծքավանդակի կամ փորի, քանի որ այս չափերի չնչին փոփոխությունները կարող են ախտորոշիչ լինել:

• Վաղ հասակում անոմալիաների հայտնաբերում, որն օգնում է հայտնաբերել այնպիսի դեֆեկտներ, ինչպիսիքն են պտղի թերզարգացումը, մահը, անէնցեֆելիան (լրիվ բացակայությունը), հիդրոցեֆելիան (ջրագլխություն), ողնաշարային դեֆեկտներ, որոնք գրեթե անհնար է հայտնաբերել բիրոքրմիական եղանակներով,

• Պտղի վերջավորությունների, արյունատար անոթների և սրտի շարժումների հետազոտություն:

Աչքի փոքր չափեր ունենալու պատճառով ակնաբուժության ոլորտում նույնպես կատարվում են ուլտրաձայնային հետազոտություններ: Ուլտրաձայնը հատկապես հարմար է աչքի ճշգրիտ չափերը որոշելու, աչքի պաթոլոգիաների և անոմալ կառուցվածքների հետազոտման համար, երբ դրանք անթափանց են: Քանի որ ուլտրաձայնի միջոցով կարելի է ախտորոշել աչքի հետևի տիրույթը՝ օրբիտան, ուստի ուլտրաձայնը հիմնական եղանակներից մեկն է այդ տիրույթում պաթոլոգիաներն ուսումնասիրելու համար:

Ուլտրաձայնը կիրառում են նաև ներքին օրգանները հետազոտելու ժամանակ: Այն կիրառվում է հիմնականում որովայնի շրջանում անոմալ անատոմիական կառուցվածքները և հյուսվածքները հայտնաբերելու համար: Խնդիրն այսպիսին է. կա ինչ-որ գոյացություն, պետք է պարզել դրա բարորակ կամ չարորակ լինելը: Լյարդի և երիկամի դեպքում, բացի հիմնական խնդրից կան նաև երկրորդականները՝ հիվանդությունների, լեղաձորանների անանցանելիության, լեղապարկում, երիկամում քարերի հայտնաբերում, լյարդի ցիռոզի հետազոտությունները:

Ուլտրաձայնային մեթոդները լայն կիրառություն ունեն նաև սրտի և հարակից խոշոր անոթների հետազոտություններում:

Բազում փորձեր են կատարվել մարդու ուղեղը ուլտրաձայնով նկարելու ուղղությամբ: Գանգի ոսկորները, լինելով եռաշերտ, լավ կլանում են այդ ճառագայթերը: Ուստի փորձերը այդ ուղղությամբ լավ արդյունքների չհանգեցրին: Մակայն պտղի կամ նորածնի դեռևս չձևավորված գանգոսկրը ակուստիկական տեսանկյունից արգելք չէ: Այդ է պատճառը, որ ուլտրաձայնային հետազոտություններն այստեղ ավելի հաճախ են կիրառվում:

Ուլտրաձայնը կիրառում են նաև թերապիայում և վիրաբուժության մեջ: Ուլտրաձայնի օգնությամբ կարելի է տաքացնել խորքում գտնվող հյուսվածքները՝ այդպիսով շատ դեպքերում լինելով բուժման շարունակությունը: Ուլտրաձայնի միջոցով կարելի է մեծացնել կոլագեն պարունակող հյուսվածքների առաձգականությունը: Քանի որ հողերը պարուրված են մի շարք փափուկ հյուսվածքներով և մկաններով, ուստի

ուլտրաձայնի միջոցով տաքացմամբ դրա շարժողունակության մեծացումը լավագույն եղանակն է:

Վերջերս կատարվել է գլխուղեղի մոտ ինը վիրահատություն, որոնց ժամանակ անհրաժեշտություն չի եղել օգտագործել ո՛չ ցավազրկող դեղամիջոցներ և ո՛չ էլ՝ վիրահատական դասակ: Դրանց փոխարեն ամեն ինչ կատարվել է ֆոկուսացված ուլտրաձայնի միջոցով: Մարքավորումը գլխարկ է, որին ամրացված է մոտ 1000 ուլտրաձայնային տվիչներ, որոնք ֆոկուսացվում են մեկական: Այդ տվիչները ֆոկուսացվում են գլխուղեղի կոնկրետ մի կետում՝ բարձրացնելով այդ հատվածի (մոտավորապես բրնձի չափ հատվածի) ջերմաստիճանը մինչև 49 աստիճան: Այս նոր տեխնոլոգիան առանձնահատուկ է նրանով, որ հնարավոր է ուղեղի խորքերը հասնել առանց վիրահատաման միջամտության և ունենալ մեծ ճշտություն: Այն հիմա փորձում են կիրառել մի շարք հիվանդությունների՝ կրծքագեղձի ուռուցքի և ուռուցքի այլ տեսակների, Պարկենսոնի հիվանդության դեպքերում: Արդեն արվել են լյարդի, ողնուղեղի, երիկամների և աչքերի այսպիսի վիրահատություններ:

Ֆիզերթերապիայում ուլտրաձայնի տարածված կիրառումներից է հյուսվածքների ռեգեներացիայի և առողջացման պրոցեսների արագացումը: Ապացուցված է, որ ուլտրաձայնը բավականին արագացնում է կոլագենի ֆիբրոբլաստի սինթեզը ինչպես *in vitro*, այնպես էլ՝ *in vivo* պայմաններում: Ուլտրաձայնը կարող է նաև արագացնել այտուցների ներծծման պրոցեսը:

Ուլտրաձայնը կիրառություն ունի նաև ստոմատոլոգիայում:

1955 թվականին առաջին անգամ Ցիններն առաջարկեց ուլտրաձայնը կիրառել ատամնաքարերը հեռացնելու համար: Այժմ ակտիվ փորձարկումներ են կատարվում ուլտրաձայնի օգնությամբ ատամների արմատախոռոչները մշակելու ուղղությամբ: Ուլտրաձայնային վիրահատական գործիքները՝ հերձադանակը, շեղբը և այլն, վաղուց են կիրառվում ստոմատոլոգիայում:

Ուլտրաձայնի ինտենսիվ տատանումներ առաջացնելու և միկրոօրգանիզմների համար դրա մահացու լինելու հատկությունից ելնելով՝ ուլտրաձայնը այժմ կիրառում են նաև բժշկական սարքավորումները ախտահանելու համար:

Ուլտրաձայնը կիրառում են նաև ֆարմակալոգիայում: Դրա միջոցով հնարավորություն է ընձեռվում արագացնելու մի շարք ֆիզիկաքիմիական պրոցեսներ:

Կատարված փորձերի արդյունքում մի շարք հակաբորբոքային դեղամիջոցներում ուլտրաձայնի ազդեցությամբ մեծանում է դրանց

հակաբորբոքային ակտիվությունը (բենզիլպենիցիլին, ստրեպտոմիցին, տետրացիկլին, մոնոմիցին և այլն):

Դեռևս 1928 թվականին ապացուցվել է, որ լուծույթները, էմուլսիաները, սուսպենզիաները ուլտրաձայնով մշակվելիս որոշ ժամանակ մնում են ստերիլ (մանրէազերծված):

Այսպիսով, ուլտրաձայնն առանձնահատուկ տեղ ունի ժամանակակից բժշկության մեջ և լայնորեն կիրառվում է: Սակայն սխալ կլինի մտածել, որ մի երևույթ, որն ունի այսքան դրական ազդեցություններ, չունի ոչ մի քաղաքական ազդեցություն:

Ֆիզիկական պրոցեսները, որոնք պայմանավորված են ՈւՁ-ի ազդեցությամբ, կենսաբանական օբյեկտներում առաջացնում են հետևյալ հիմնական էֆեկտները՝

- միկրովիբրացիա բջջային և միջբջջային մակարդակում,
- մոլեկուլների քայքայում,
- կենսաբանական թաղանթների վերակառուցում և վնասում, թաղանթի թափանցելիության փոփոխում,
- ջերմային ազդեցություն,
- բջջի և միկրոօրգանիզմների քայքայում:

#### **24. ՌԵՆՏԳԵՆԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆ**

##### **Ռենտգենյան ճառագայթների ֆիզիկան**

Ռենտգենյան ճառագայթները թափանցում են սովորական լույսի համար անթափանց մարմինների միջով: Այս խոր թափանցելիությունը պայմանավորված է ճառագայթների կարճ ալիքի երկարությամբ ( $10^{-8}$ - $10^{-12}$  մ): Ռենտգենյան ճառագայթների կլանման աստիճանը համեմատական է նյութի խտությանը, ուստի դրանց միջոցով կարելի է ստանալ մարդու տարբեր օրգանների և մասերի լուսանկարները (նկար 24.1.): Այդ լուսանկարներում լավ տարբերվում են կմախքի ոսկրերը և փափուկ հյուս վածքների տարբեր վերասերումների տեղերը:



Ռենտգենյան ճառագայթները հայտնաբերել է 1895թ. Վ. Ռենտգենը:

##### **Ռենտգենյան ճառագայթների առաջացումը**

XIX դարի վերջին ֆիզիկոսների ուշադրությունը գրավել էր փոքր ճնշման տակ տեղի ունեցող գազապարպումը: Այդ պայմաններում գազապարպիչ խողովակում առաջանում էին արագաշարժ էլեկտրոններ: Ռենտգենը նկատեց, որ խողովակի լուսանկարչական թիթեղը ճառագայթահարվում է (անգամ այն դեպքում, երբ այն փաթաթված է սև թղթով): Երբ նա ձեռքը դնում էր խողովակի և թիթեղի միջև, թիթեղը երևակվելուց հետո նրա վրա նկատվում էր իր ձեռքի ոսկորների մութ ստվերները: Այս փորձերի արդյունքում Ռենտգենը եկավ այն եզրակացության, որ խողովակը պարպման ընթացքում ինչ-որ ճառագայթում է արձակում, որն ուժեղ թափանցելու հատկություն ունի: Այդ ճառագայթները նա անվանեց X ճառագայթներ կամ ռենտգենյան ճառագայթներ:

Ռենտգենը նկատեց, որ նոր ճառագայթումը հայտնվում է այնտեղ, որտեղ կատոդային ճառագայթները (որոնք արագընթաց էլեկտրոններ են) բխվում են խողովակի ապակե պատին: Հետագա փորձերը ցույց տվեցին, որ **X-ճառագայթները** ծագում են ցանկացած խոչընդոտով, օրինակ՝ մետաղե էլեկտրոդներով արգելակելիս: Ռենտգենյան ճառագայթները ներգործում են լուսանկարչական թիթեղի վրա, որևէ նյութից նկատելիորեն չեն անդրադառնում, չեն բեկվում, առաջացնում են օդի իոնացում: Որոշակի նյութերի դեպքում ռենտգենյան ճառագայթները կարող են առաջացնել լուսարձակում (ֆլուորեսցենստում): Այս երևույթը օգտագործվում է բժշկական ախտորոշման մեջ ռենտգենադիտման և ռենտգենագրության ժամանակ: Բժշկական ֆոտոժապավենները կիրառվում են ուժեղացնող էկրանների համատեղությամբ, որոնց կազմության մեջ մտնում են ռենտգենայումիտֆորներ, որոնք լուսարձակում են ռենտգենյան ճառագայթման ազդեցությամբ: Բնական չափերով պատկերի ստացումը կոչվում է ռենտգենագրություն: Ֆլուորագրության (флюорография) ժամանակ պատկերը ստացվում է փոքրացված չափերով:

**Ռենտգենյան ճառագայթման փոխազդեցությունը նյութի հետ**

Ռենտգենյան ճառագայթները կարող են թափանցել նյութի միջով, ընդ որում, տարբեր նյութեր տարբեր չափերով են կլանում դրանք: Այս երևույթն է ընկած ռենտգենագրության հիմքում: Ռենտգենյան ճառագայթների ինտենսիվությունը ցուցչային կերպով նվազում է՝

$$I = I_0 e^{-kd},$$

որտեղ  $I_0$ -ն ընկնող ճառագայթման հզորությունն է,  $d$ -ն՝ կլանող շերտի հաստությունը,  $k$ -ն՝ թուլացման զանգվածային գործակիցը: Բժշկության մեջ ախտորոշելու նպատակով օգտագործում են 60-120 ԿՁ էներգիայով ֆոտոններ:

### Գենսարանական ազդեցությունը

Ռենտգենյան ճառագայթումը իոնիզացնող ճառագայթում է: Այն ազդում է կենդանի օրգանիզմների հյուսվածքների վրա և կարող է ճառագայթային հիվանդության, ճառագայթային այրվածքների, չարորակ ուռուցքների առաջացման պատճառ լինել: Հետազոտությունների համաձայն՝ քաղցկեղի դեպքերի 0,6%-ը պատճառ է ռենտգենյան ճառագայթման, այսինքն՝ մոտավորապես տարեկան 124,000-հիվանդներից 700-ի շրջանում քաղցկեղի պատճառ է եղել ռենտգենյան ճառագայթումը: Այս ամենի պատճառով ուղղակի անհրաժեշտ է ռենտգենատեխնոլոգիաներով աշխատանքի ժամանակ պահպանել անվտանգության կանոնները: Ճառագայթումը ուղիղ համեմատական է կլանված չափաբաժնին: Ռենտգենյան ճառագայթումը մուտագեն գործոն է:

### **Արդյո՞ք ռենտգենյան ճառագայթները անվտանգ են մարդու համար, թե՞ ոչ:**

Դեռևս Հիպոկրատն է ասել, որ աշխարհում ամեն ինչ կարող է լինել ինչպես թույն, այնպես էլ դեղորայք: Ամեն ինչ չափաբաժնի մեջ է: Պրոֆիլակտիկ նպատակների համար անհրաժեշտ հետազոտություններն են՝ կրծքավանդակի ռենտգենագրությունը և մամոգրաֆիան: Մովորաբար անվտանգ են համարվում տարիներ կուտակված ռենտգենագրության հետազոտությունները, իսկ մնացած դեպքերում միայն բժշկի նշանակմամբ:

Որոշ հիվանդությունների, մասնավորապես չարորակ գոյացությունները բուժելու նպատակով կիրառվում է ռենտգենաթերապիայի մեթոդը: Այս մեթոդում ռենտգենյան ճառագայթների ընտրողական դոզայով հնարավոր է դառնում ճնշել կամ դադարեցնել պաթոլոգիկ օրգանների ախտահարված բջիջների աճը:

## **25. ԼԱԶԵՐՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅՈՒՆԸ ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ ԲԺՇԿՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ**

Լազերը (անգլերեն հապավում է LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* թարգմանաբար նշանակում է լույսի ուժեղացում ինդուկցիոն ճառագայթման միջոցով) օպտիկական քվանտային գեներատոր է, որը լուսային, էլեկտրական, ջերմային կամ քիմիական էներգիան փոխակերպում է կոհերենտ, միագույն, բնեռացված լուսային էներգիայի: Լազերի աշխատանքի հիմքում ընկած է հարկադրական

մակածված ճառագայթման երևույթը: Այս երևույթի ուսումնասիրման գործում մեծ ներդրում է ունեցել Էյնշտեյնը: Էյնշտեյնի <<ճառագայթման քվանտային տեսության>> էությունն այն է, որ ( հաճախությամբ տատանվող մոլեկուլը կամ ատոմը էլեկտրամագնիսական դաշտի ազդեցությամբ կարող է.

1. Անցնել ավելի ցածր էներգետիկ մակարդակից ավելի բարձր էներգետիկ մակարդակ՝ կլանելով  $E_2 - E_1 = h\nu$  էներգիայով ֆոտոն (նկար 25.1. ա):

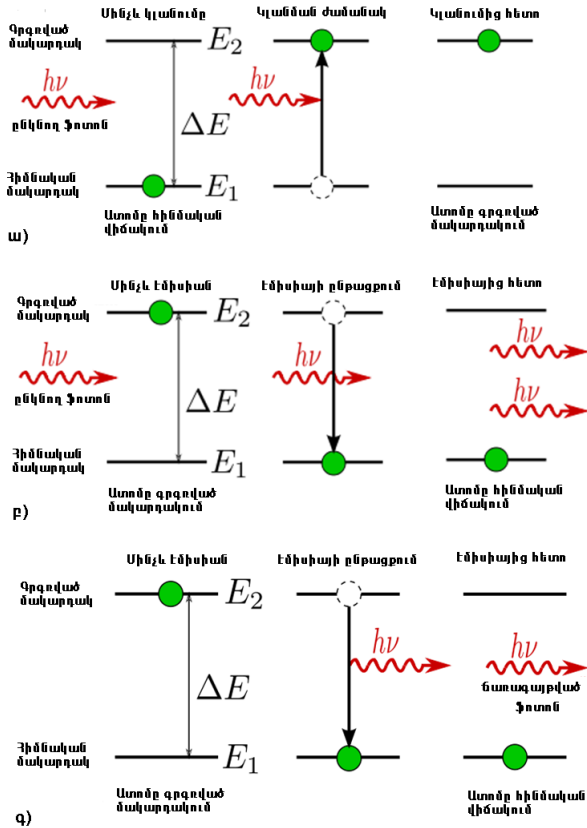
2. Անցնել ավելի բարձր էներգետիկ մակարդակից ավելի ցածր էներգետիկ մակարդակ՝ ճառագայթելով  $E_2 - E_1 = h\nu$  էներգիայով ֆոտոն (նկար 25.1. բ):

3. Արտաքին դաշտի ազդեցության բացակայության դեպքում հնարավոր է մոլեկուլի կամ ատոմի ինքնաբերաբար անցումը վերին էներգետիկ մակարդակից ավելի ցածր էներգետիկ մակարդակի՝ ճառագայթելով  $E_2 - E_1 = h\nu$  էներգիայով ֆոտոն (նկար 25.1. գ):

Նկար 25.1. ա-ին համապատասխանող երևույթը ընդունված է անվանել ֆոտոնի կլանում, բ-ում՝ ֆոտոնի հարկադրական ճառագայթում կամ հարկադրական էմիսիա, իսկ գ-ում՝ ֆոտոնի սպոնտան ճառագայթում կամ ինքնաբերաբար էմիսիա:

Հարկադրական ճառագայթման հատկություններն էապես տարբերվում են սպոնտան ճառագայթման հատկություններից: Ի տարբերություն սպոնտան ճառագայթման, հարկադրական ճառագայթման ժամանակ սկզբնական և հարկադրական ճառագայթների հաճախությունը և բևեռացումը համընկնում են, իսկ ճառագայթման հոսքը տարածվում է նույն ուղղությամբ ինչ-որ սկզբնական գրգռող դաշտը: Այսինքն՝ հարկադրական հոսքը կոհերենտ է գրգռող հոսքին, հետևաբար և տեղի է ունենում լույսի ուժեղացում:

Հավանականությունը, որ գրգռված ատոմում պատահական ֆոտոնը կառաջացնի հարկադրական ճառագայթում, հավասար է չգրգռված ատոմի կողմից այդ նույն ֆոտոնի կլանման հավանականությանը: Այդ իսկ պատճառով լույսի ուժեղացման համար անհրաժեշտ է, որ գրգռված վիճակում գտնվող ատոմների քանակն ավելի շատ լինի չգրգռված վիճակում գտնվող ատոմների քանակից:

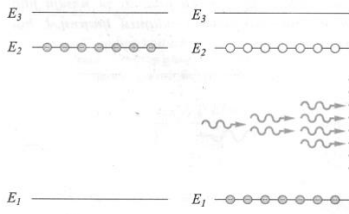


Նկ. 25.1. Ֆոտոնի կլանման և ճառագայթման երևույթի պատկերավոր նկարագրությունը. ա) Ֆոտոնի կլանում, բ) Ֆոտոնի հարկադրական ճառագայթում, գ) Ֆոտոնի սպոնտան ճառագայթում:

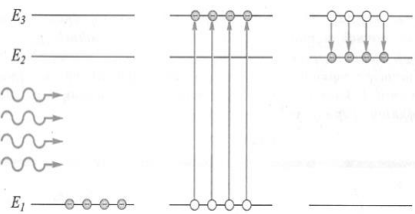
Այսինքն պետք է առաջացնել գերբնակեցվածության վիճակ: Իսկ որպեսզի ապահովվի այդպիսի վիճակ, բավարար չէ միայն 2 էներգետիկ մակարդակ ունեցող միջավայր: Այդ իսկ պատճառով լազերներում օգտագործում են տարբեր տեսակի՝ օպտիկական, էլեկտրական, քիմիական ակտիվ միջավայրեր, որոնք ունեն երկուսից ավելի էներգետիկ մակարդակներ: Այդպիսի մակարդակ ունի աուտակի բյուրեղում ( $Al_2O_3$ ) խառնուրդի ձևով առկա քրոմի ատոմը (նկար 25.2.): Բացի  $E_1$  էներգիայով հիմնական մակարդակից, այն ունի ևս երկու գրգռված մակարդակներ: Եթե լույսի ազդեցությամբ ատոմը գրգռվում է, այսինքն՝ կլանելով էներգիա  $E_1$  էներգետիկ մակարդակից անցնում է  $E_3$  էներգետիկ



մակարդակ, ապա մոտ  $10^{-8}$  վ անց այն անցնում է  $E_2$  էներգետիկ մակարդակ:



Նկ.25.2.



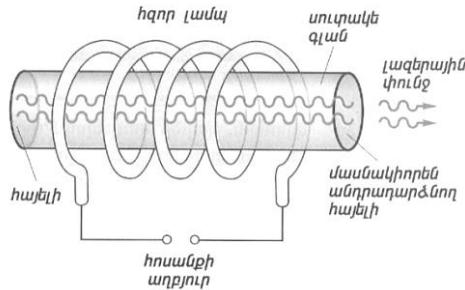
Նկ. 25.3.

$E_3$  էներգիայով մակարդակից  $E_2$  էներգիայով մակարդակ անցնելիս լույս չի արձակվում: Էներգիաների այդ տարբերությունը հաղորդվում է բյուրեղին, որից բյուրեղը տաքանում է: Եթե բյուրեղն անընդհատ ճառագայթենք, ապա  $E_2$  էներգետիկ մակարդակում կունենանք մեծ քանակությամբ բնակեցված ատոմներ: Իսկ եթե  $h\nu$  էներգիայով մեկ ֆոտոն հայտնվի բյուրեղում, ապա ատոմներից մեկը հարկադրված կճառագայթի նմանատիպ ֆոտոն: Այնուհետև այդ երկու ֆոտոնը հարկադրում են ևս երկու ատոմի ճառագայթել և այսպես շարունակ: Այսպիսով, լույսն ուժեղանում է, ընդ որում բոլոր ֆոտոնները ունենում են նույն հաճախությունը, նույն փուլը, բևեռացումը: Ստացվում է լույսի ուժեղ կոհերենտ փունջ (նկար 25.3.): Որպեսզի լազերներում ապահովվի ֆոտոնների անընդհատ հոսք, անհրաժեշտ է ստեղծել հակադարձ դրական կապ: Այդ նպատակով լազերի ակտիվ միջավայրը տեղադրում են օպտիկական ռեզոնատորում: Պարզագույն դեպքում օպտիկական ռեզոնատորը 2 հայելիներից բաղկացած համակարգ է, որտեղ հայելիներից, մեկը կիսաթափանց է: Լույսի փունջը, բազմաթիվ անգամ անդրադառնալով հայելիներից անցնում է ռեզոնատորով՝ առաջացնելով հարկադրական անցումներ: Հայելիների յուրահաստուկ դասավորվածության շնորհիվ պահպանվում են միայն այն ֆոտոնները, որոնց շարժման ուղղությունը համընկնում է ռեզոնատորի օպտիկական առանցքի ուղղության հետ: Այսպիսով, լազերային ճառագայթը գրեթե միագույն ճառագայթ է, ունի շատ փոքր ցրման անկյուն և խիստ որոշակի բևեռացում: Վերջին պայմանը ապահովելու համար կիրառվում են տարբեր տեսակի բևեռացուցիչներ:

Լազերի կառուցվածքը

Յուրաքանչյուր լազեր բաղկացած է հետևյալ հիմնական մասերից՝ ակտիվ միջավայր, էներգիայի աղբյուր և օպտիկական ռեզոնատոր (նկար

25.4.): Վերջինս կարող է բացակայել միայն այն դեպքում, երբ լազերն աշխատում է որպես ուժեղացուցիչ: Լազերի աշխատանքի մեջ յուրաքանչյուր մաս ունի իր որոշակի ֆունկցիան.



Նկ. 25. 4.

**Էներգիայի աղբյուր:** Որպես Էներգիայի աղբյուր կարող են հանդիսանալ իմպուլսային լամպը, պայթուցիկ նյութը, քիմիական ռեակցիան, այլ լազերը: Էներգիայի աղբյուրի ընտրությունը խիստ կախված է ակտիվ միջավայրի ընտրությունից:

Ակտիվ միջավայր: Պայմանավորված նրանով թե ինչ երկարության ալիք է անհրաժեշտ ստանալ լազերի միջոցով, օգտագործում են տարբեր տեսակի ակտիվ միջավայրեր: Ներկայումս որպես ակտիվ միջավայր օգտագործում են նյութի բոլոր ազդեցատային վիճակները՝ պինդ, հեղուկ, գազային և նույնիսկ պլազմային:

**Լազերի ներգործությունը հյուսվածքի վրա**

Լազերի ազդեցության սպեկտրը կենսաբանական հյուսվածքների վրա տարածվում է հյուսվածքի ֆունկցիաների փոփոխությունից մինչև շոգեհարում: Լազերի ազդեցությունը հյուսվածքների վրա հիմնականում իրականացվում է նրա ջերմային էֆեկտներով՝ կոագուլել (մակարդել) և շոգեհարել: Լազերներն օգտագործվում են ոչ միայն որպես ջերմության աղբյուրներ, այլև գոնդեր, որոնք կարող են ղեկավարել բջջի ֆունկցիաներն առանց կողմնակի տոքսիկ էֆեկտների:

Երբ լազերի ճառագայթը հասնում է հյուսվածքին, նրա էներգիան կարող է **կլանվել, ցրվել, անդրադարձվել և փոխանցվել:**

Լազերի և հյուսվածքի ցանկացած փոխազդեցության ժամանակ այս չորս երևույթներն էլ ինչ-որ չափով կատարվում են, որոնցից ամենակարևորը կլանումն է: **Կլանումը** կախված է հյուսվածքում կենսապոլիմերների կլանող խմբերի պարունակությունից: Օրինակ՝ CO<sub>2</sub>-լազերի էներգիան կլանվում է մարմնի փափուկ հյուսվածքների կողմից: Սա պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ CO<sub>2</sub>-լազերին համա-

պատասխանող ալիքի երկարությունը լավ է կլանվում ջրի մոլեկուլների կողմից, իսկ փափուկ հյուսվածքի մոտավորապես 80%-ը ջուր է: Ի տարբերություն փափուկ հյուսվածքների՝ CO<sub>2</sub>-լազերի էներգիան վատ է կլանվում ոսկրային հյուսվածքի կողմից (նրանում ջրի մոլեկուլների քիչ պարունակության հետևանքով):



Նկ. 25.5.

Ցրման ժամանակ լազերի ճառագայթի էներգիան չի կլանվում մակերևույթի կողմից, այլ պատահական ձևով բաշխվում է խոր շերտերին: Անդրադարձման դեպքում լազերի լույսը անդրադառնում է առանց վնասելու հյուսվածքը, քանի որ ճառագայթման ուղղությունը փոխվում է հյուսվածքի մակերևույթի վրա: Փոխանցման ժամանակ լազերից ճառագայթված էներգիան անցնում է մակերևույթային շերտերից ավելի խոր տեղեկայված շերտերին՝ առանց վնասելու միջանկյալ շերտերը:

Լազերի  $W$  էներգիայի խտությունը հավասար է  $P$  ճառագայթի հզորության խտության և այն  $t$  ժամանակամիջոցի արտադրյալին, որի ընթացքում լազերը ներգործել է հյուսվածքի վրա:

$$w = P \cdot t ;$$

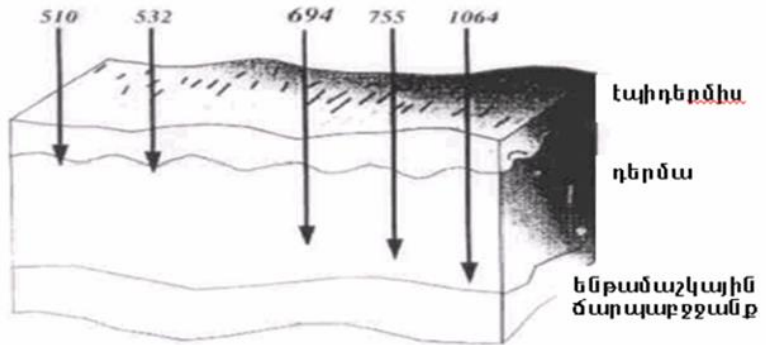
Ճառագայթման հզորության խտությունը հավասար է  $N$  ճառագայթման հզորության հարաբերությունը լազերային ճառագայթի  $S$  լայնական հատույթի մակերեսին (բծի մակերեսին).

$$P = \frac{N}{S} ;$$

Լազերի ազդեցությունը հյուսվածքի վրա պայմանավորված է 3 գործոններով՝ հյուսվածքի կլանելիության ունակությամբ, լազերի ճառագայթած էլեկտրամագնիսական ալիքի երկարությամբ (որքան մեծ է ալիքի երկարությունը, այնքան ավելի խորն է թափանցում, նկար 25.6.), լազերի էներգիայի խտությամբ:

Անդերսոնը և Պարիշը 1981թ. առաջ քաշեցին ընտրողական ֆոտոթերապիա հասկացությունը: Այն մաշկի կենսապոլիմերների կլանող

խմբերի վրա լազերային լույսի ընտրողական ազդեցությունն է: Օրինակ՝ էպիդերմիսի պիգմենտը՝ մելանինը, և արյան կարմիր պիգմենտը՝ հեմոգլոբինը, կլանում են միայն որոշակի ալիքի երկարություն ունեցող ճառագայթներ: Մելանինը ինտենսիվ կլանում է կապտականաչավուն տիրույթում գտնվող ալիքները: Հեմոգլոբինի կլանման առավելագույն արժեքին համապատասխանում է 578նմ ալիքի երկարությունը: 578նմ ալիքի երկարություն ունեցող ճառագայթները լավ են թափանցում մելանինի միջով (քիչ են կլանվում), ինչի շնորհիվ ճառագայթունը հասնում է հեմոգլոբինին:



Նկ. 25.6. Լազերի ճառագայթած էլեկտրամագնիսական ալիքի թափանցելիության կախվածությունը ալիքի երկարությունից

Ընտրողական ֆոտոթերապի պրոցեսում կարևոր դեր է կատարում ջուրը, որը հյուսվածքի գլխավոր բաղկացուցիչն է:

**Լազերների տեսակները**

**CO<sub>2</sub>-լազեր:** Լազերի ճառագայթած ալիքի երկարությունը 10,6 մկմ է, որը գտնվում է էլեկտրամագնիսական ճառագայթման սպեկտրի ինֆրակարմիր տիրույթում: CO<sub>2</sub>-լազերի կիրառության ժամանակ պահանջվում է ուղղորդող հեղիում-նեոնային լազեր, որպեսզի վիրաբույժը տեսնի ներգործության տիրույթը: CO<sub>2</sub>-լազերի հներգիան լավ է կլանվում հյուսվածքում գտնվող ջրի մոլեկուլների կողմից: Ալիքի փոքր երկարության և ճառագայթների նվազագույն ցրման պատճառով արդյունքները մակերևութային բնույթ են կրում: CO<sub>2</sub>-լազերն ավելի հաճախ կիրառվում է լոռու հատվածում հետազոտություններ կատարելու համար:

**Լազեր այլումին - իտրիումային նեոդիմով նոնաքարով (Nd:YAG).**

1,064 մկմ ալիքի երկարությամբ սպեկտրի անտեսանելի, ինֆրակարմիր տիրույթի ալիք է (պահանջում է ուղղորդող հեղիում-նեոնային լազեր): Ակտիվ միջավայրը ալյումին – իտրիումային նեոդիմով նոնաքարն է: Nd:YAG-լազերի էներգիան առավել լավ է կլանվում պիգմենտացված հյուսվածքի կողմից, այն անցնում է մակերևութային շերտերի միջով և հասնում է խոր շերտեր: Nd:YAG-լազերի էներգիայի ցրման չափն անհամեմատ մեծ է CO<sub>2</sub>-լազերից: Հետևաբար այս լազերը համապատասխանում է խոր շերտերում գտնվող անոթների կոագուլմանը՝ թերմիկ ազդեցությամբ անոթների լուսանցքների փակմանը (կոագուլման շերմաստիճանը՝ 60°, առավելագույն խորությունը՝ 3մմ):

Կիրառվում է բերանի շուրջ գտնվող մազանոթային և կավերնոզ գոյացությունների, հեմանգիոմայի (արյունանոթուռուցքի), լիմֆանգիոմայի, բնածին զարկերակային գոյացությունների բուժման համար:

Nd:YAG-լազերի էներգիայի խոր ներթափանցումն ունի նաև բացասական հետևանք՝ հետվիրահատական սպիավորումը: Nd:YAG-լազերը հպումային ռեժիմում փոխում է հպվող մակերևութի ֆիզիկական հատկությունները, մասնավորապես ճառագայթման կլանելիությունը: Հպումային ծայրապանակը՝ որպես ջերմային հերձադանակ՝ միաժամանակ կտրող-հատող, էլեկտրակոագուլող ֆունկցիաներով անմիջապես փոխազդում է մաշկի հետ: Կիրառվում է մաշկի և մկանախյուսվածքի անջատման համար:

**Արգոնային (Ar) լազեր.** բաց է թողնում 341-1029նմ երկարությամբ ալիքներ: Հեմոգլոբինը լավ է կլանում այս լազերի էներգիան, և հետևաբար դա է պատճառը, որ այն լավ է կլանվում մաշկի անոթային նորագոյացությունների կողմից:

**Կալիում-տիտանիլ-ֆոսֆորային (ԿՏՖ) լազեր.** այն Nd:YAG-լազերն է, որի էներգիան անցնում է ԿՏՖ-ի բյուրեղով: Վերջինիս հաշվին էլ ԿՏՖ-լազերից դուրս եկող ալիքի հաճախությունը կրկնապատկվում է (ալիքի երկարությունը 2 անգամ նվազում է): Այն ճառագայթում է կանաչ լույս, որի ալիքի երկարությունը 532 նմ է, և որն էլ համապատասխանում է հեմոգլոբինի կլանման առավելագույն արժեքին: Էներգիան փոխանցվում է մանրաթելով: Չհպվող ռեժիմում լազերը կոագուլում և գոլորշիացնում է: Կիսահպվող ռեժիմում մանրաթելի ծայրը հագիվ թե հպվում է հյուսվածքին՝ դառնալով կտրող-հատող գործիք: Էներգիայի մեծացման դեպքում լազերը կիրառվում է որպես ջերմային դանակ, իսկ փոքրացնելիս՝ կոագուլող սարք:

**Լազեր՝ ներկանյութի վրա.** առաջին բժշկական լազերն է, որը կիրառվել է մաշկի անոթային բարորակ նորագոյացությունները բուժելու համար:

Այն գրգռվում է իմպուլսային լամպով և ճառագայթում է 585նմ երկարությամբ տեսանելի ալիքներ, որոնք համապատասխանում են օքսիհեմոգլոբինի արտաբնական երրորդ պիկի հետ: Վերջինիս հետևանքն է հեմոգլոբինի բարձր կլանելիությունը: Այստեղ նաև կարևոր հանգամանք է մյուս  $\square$ մրցակից  $\square$  քրոմոֆորների փոքր կլանելիությունը և փոքր ցրումը ենթամաշկում (էպիդերմիսում) և դերմայում (մաշկում): Որպես լազերային միջավայր ծառայում է ռոդամին ներկանյութը, որն օպտիկապես գրգռվում է իմպուլսային լամպով, իսկ ճառագայթման համակարգը մանրաթելային օպտիկական կրիչն է: Լազերի ծայրապանակն ունի փոփոխվող ռադիոակտիվ համակարգ, որը թույլ է տալիս ստեղծել 3, 5, 7, 10 մմ տրամագծով բծեր: Լազերը ճառագայթում է 450 մվ պարբերությամբ: Այս մեծությունը ընտրվել է լայնացած անոթների ջերմային ռեյաքսացիայի ժամանակին համապատասխան. այս անոթները հայտնաբերվում են մաշկի անոթային բարորակ նորագոյացությունների ժամանակ:

**Լազեր՝ պղնձի գոլորշու վրա.** ճառագայթում է երկու տարբեր երկարություն ունեցող էլեկտրամագնիսական ալիքներ՝ 512 նմ երկարությամբ իմպուլսային կանաչ ալիք և 578նմ երկարությամբ իմպուլսային դեղին ալիք: Լազերային միջավայրը պղինձն է, որը գրգռվում է էլեկտրականությամբ: Մանրաթելային համակարգը էներգիան փոխանցում է ծայրապանակ. բժի չափը փոփոխվում է 150-1000 մկմ: Լազերի դեղին լույսն օգտագործվում է դեմքի անոթային բարորակ նորագոյացությունները բուժելու համար, իսկ կանաչը՝ պիգմենտային գոյացությունները բուժելու համար:

**Լազեր՝ ներկանյութի վրա չմարող ալիքով.** ճառագայթում է, տեսանելի սպեկտրում, 577նմ երկարությամբ դեղին լուսային ալիք: Ներկանյութը գրգռվում է արգոնային լազերով: Արտանետման համակարգը մանրաթելային օպտիկական է: ճառագայթների ապակիզակետման միջոցով ստացվում են տարբեր չափերի բծեր: Այս լազերը ևս համապատասխանում է դեմքի անոթային բարորակ նորագոյացությունների բուժման համար:

**Er-երբիումային լազեր.** լազերի ճառագայթած էլեկտրամագնիսական ալիքի երկարությունը 2940 նմ է և շատ ուժեղ կլանվում է հյուսվածքային ջրի կողմից (12 անգամ մեծ է համեմատած  $\text{CO}_2$ -լազերի հետ): ճառագայթումը սպեկտրի ինֆրակարմիր տիրույթում է, անտեսանելի է աչքին և հետևաբար այս լազերի հետ կիրառվում է ուղղորդող տեսանելի լույս: Էներգիան գրգռվում է իմպուլսային լամպով, լազերը բաց է թողնում 200-300մկվ տևողությամբ մակրոիմպուլսներ, որոնք բաղկացած են բազ-

մաթիվ միկրոփմալուսներից: Այս համակարգին նաև կցվում է սկանավորող հարմարանք՝ հյուսվածքը արագ և հստակ հեռացնելու համար:

**Սուտակե լազեր.** լազերի ճառագայթած էլեկտրամագնիսական ալիքի երկարությունը 694նմ է: Լազերը կարող է առաջացնել տեսանելի սպեկտրում կարճատև, հզոր, կարմիր ճառագայթում: Լազերի ներքին կառուցվածքում առկա փականի միջոցով ստացվում են կարճ իմպուլսներ: Լազերի էներգիան ներթափանցում է հյուսվածքի խոր շերտեր (1մմ-ից խորը) և լավ է կլանվում մելանինի կողմից, վատ՝ ջրի կողմից: Այն օգտագործվում է լազերային մազահանության (էպիլյացիայի) ժամանակ՝ մազային ֆոլիկուլները տաքացնելու համար, ինչպես նաև տարբեր դաջվածքներ հեռացնելու համար:

**Ալեքսանդրիտային լազեր.** գրգռվում է իմպուլսային լամպով, ճառագայթած ալիքի երկարությունը 755նմ է: Սպեկտրի կարմիր տիրույթում գտնվող այս ալիքը տեսանելի չէ և պահանջում է ուղղորդող ճառագայթ: Այն կլանվում է դաջվածքների համար օգտագործվող կապույտ և սև պիգմենտների կողմից, նաև մելանինի կողմից, չի կլանվում հեմոգլոբինի կողմից: Ալեքսանդրիտային լազերը կոմպակտ է և լույսը փոխանցվում է ճկուն լուսատարով: Խորը շերտեր ներթափանցելով՝ էներգիան օգտագործվում է մազերը հեռացնելու և դաջվածքներով հյուսվածքային հատվածները վերականգնելու համար: Բժի չափը 7-12մմ է:

**Դիոդային լազեր.** մանրաթելային օպտիկական սարքավորումներով դիոդների կցորդումը գերհաղորդիչ նյութերի վրա նպաստեց տարբեր երկարությամբ ալիքների հարկադրական ճառագայթմանը՝ էմիսիային:

Դիոդային լազերները կարող են 50% արդյունավետությամբ էլեկտրական էներգիան փոխանցել լույսի: Այդ էֆեկտիվությունը պայմանավորված է ջերմության քիչ կորստով:

## 26. ՄԻՋՈՒԿԱՅԻՆ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՌԵԶՈՆԱՆՍ

Արտաքին մագնիսական դաշտում գտնվող ոչ զրոյական սպինով միջուկների կողմից էլեկտրամագնիսական էներգիայի ռեզոնանսային ընտրողական կլանումը, որը պայմանավորված է մագնիսական մոմենտների կողմնորոշմամբ, կոչվում է միջուկային մագնիսական ռեզոնանս (ՄՄՌ): Միջուկային մագնիսական ռեզոնանսի հիմքում ընկած են կիսամաքողջ սպին ունեցող նուկլոններից բաղկացած միջուկների մագնիսական հատկությունները:

Տարրական մասնիկներն օժտված են սպինով: Սպինը (ինչպես զանգվածը, լիցքը) մասնիկների հատկությունները բնութագրող ֆիզիկական մեծություններից մեկն է: Այն քանակապես բնութագրվում է  $s$  քվանտային սպինային թվով, օրինակ՝ պրոտոնի, նեյտրոնի, էլեկտրոնի համար այն հավասար է  $1/2$ -ի: Մասնիկների սպինները որոշակի ընտրված ուղղության նկատմամբ (այն անվանում են նաև առավելություն ունեցող ուղղություն) կամայականորեն դասավորվել չեն կարող, այլ կարող են ընդունել որոշակի արժեքներ, ընդ որում, այդ արժեքների քանակը հավասար է  $2s+1$ -ի: Մասնիկների սպինների ուղղությունները պատկերավոր բացատրելու համար այն պատկերում են վեկտորապես. օրինակ՝ եթե մասնիկը գտնվում է մագնիսական դաշտում, ապա (  $()$  գրառումը նշանակում է, որ մասնիկի սպինի ուղղությունը համուղղված (հակուղղված) է դաշտի ուղղությանը (նկար 26.1.): Այսպիսով, եթե մագնիսական դաշտում տեղադրենք, օրինակ, նուկլոն (պրոտոն կամ նեյտրոն), ապա նրա սպինը դաշտի ուղղության նկատմամբ կարող է դասավորվել կա՛մ զուգահեռ, կա՛մ հակազուգահեռ (տվյալ դեպքում առավելություն ունեցող ուղղությունը համընկնում է մագնիսական դաշտի ուղղությանը ), քանի որ պրոտոնի համար  $2s+1=2$ , ուստի պրոտոնի սպինը կարող է դասավորվել միայն 2 ձևով: Եթե ( մագնիսական դիպոլով մասնիկը գտնվում է  $\mathbf{B}$  ինդուկցիայով մագնիսական դաշտում, ապա այն օժտված է  $E$  էներգիայով, որը հավասար է.

$$E = -(\vec{\mu} \cdot \vec{B}) = -\frac{h}{2\pi} \gamma s B,$$

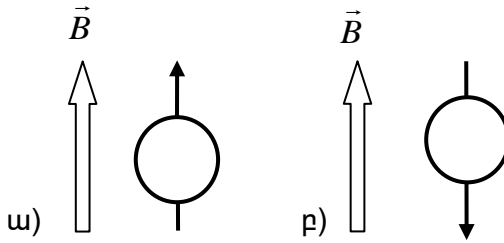
որտեղ ( $-$ ն անվանում են գեոմագնիսական հարաբերություն,  $h$  -ը՝ Պլանկի հաստատուն ( $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  ՋԷվ): Քանի որ նուկլոնը դաշտի ուղղությամբ դասավորվում է 2 ձևով, ապա կստանանք  $E$  էներգիայի երկու հնարավոր արժեքներ, ընդ որում, եթե դաշտի և նուկլոնի սպինի ուղղությունները համուղղված (հակուղղված) են, ապա ընդունում են, որ  $s=1/2$  ( $s=-1/2$ ), որտեղից  $E$  էներգիայի համար կստանանք հետևյալ արտահայտությունները.

$$E_1 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{h}{2\pi} \gamma B$$

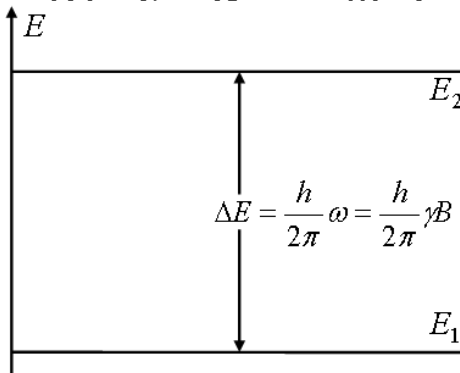
$$E_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{2\pi} \gamma B,$$



այսինքն՝  $E_1$  էներգետիկ մակարդակից  $E_2$  էներգետիկ մակարդակ անցնելու համար նուկլոնին անհրաժեշտ է հաղորդել  $\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{h}{2\pi} \gamma \mathcal{B}$  էներգիա (նկար 26.2): Քանի որ ( հաճախությամբ էլեկտրամագնիսական քվանտի էներգիան հավասար է  $\frac{h}{2\pi} \omega$ , ապա այդ էներգիայով էլեկտրամագնիսական քվանտներով ճառագայթելիս  $E_1$  էներգետիկ մակարդակից անցում կլինի  $E_2$  էներգետիկ մակարդակին : Այդ հաճախությամբ կարելի է գտնել հետևյալ հավասարությունից՝  $\frac{h}{2\pi} \omega = \frac{h}{2\pi} \gamma \mathcal{B}$ , որտեղից  $\omega = \gamma \mathcal{B}$ , որն անվանում են ՄՄՌ-ի հիմնական հավասարում:



Նկ. 26.1. Մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի և նուկլոնի սպինի դասավորվածությունները. ա) համուղված, բ) հակուղված.



Նկ. 26.2. Էներգետիկ մակարդակների տարբերությունը:

Այսպիսով, ՄՄՌ-ն հաստատուն մագնիսական դաշտում գտնվող միջուկների կողմից էլեկտրամագնիսական էներգիայի կլանումն է, որի ժամանակ ավելի ցածր էներգետիկ վիճակից անցում է կատարվում ավելի բարձր էներգետիկ վիճակի, որին հաջորդում է անցում սկզբնական վիճակի՝ նույն քանակի էներգիայի ճառագայթմամբ: ՄՄՌ -ի երևույթը առաջին անգամ միմյանցից անկախ հայտնաբերել են Ֆելիքս Բլոխը և Էդվար Պերսելը 1946թ., որի համար 1952թ.-ին նրանք ստացել են Նոբելյան մրցանակ:

Միջուկի մագնիսական մոմենտը մագնիսական դաշտում զուգահեռ կամ հակազուգահեռ չէ մագնիսական դաշտի ուղղությանը, այլ կատարում է կոնական պտույտ մագնիսական դաշտի ուղղության շուրջ: Այդ երևույթն ավելի լավ պատկերացնելու համար այն կարելի է համեմատել հողի շարժման հետ:

### **ՄՄՌ շերտագրիչ**

Ներկայումս անհնար է պատկերացնել ժամանակակից բժշկությունն առանց հետազոտման նորագույն մեթոդների: Ժամանակակից մեթոդների թվին է պատկանում ՄՄՌ շերտագրիչներով (ՄՄՌՇ) հետազոտման մեթոդը: Մեթոդի հիմքում այն փաստն է, որ կենտ թվով նուկլոններով միջուկներն ունեն մագնիսական մոմենտ, այսինքն՝ մագնիսական դիպոլ են: Այդպիսի ատոմներից է նաև ջրածնի ատոմը, որը թույլ է տալիս բժշկության մեջ կիրառել ՄՄՌ-ի երևույթը: Այս երևույթն ի հայտ է գալիս նյութի վրա միաժամանակ հաստատուն մագնիսական և փոփոխական ռադիոհաճախային տիրույթի էլեկտրամագնիսական դաշտերի կիրառմամբ: Հաստատուն մագնիսական դաշտի ազդեցության հետևանքով միջուկի սպինները դասավորվում են դաշտի ուղղությամբ՝ զուգահեռ կամ հակազուգահեռ: Իսկ փոփոխական էլեկտրամագնիսական դաշտի ազդեցության հետևանքով, այսինքն՝ հաճախության տարբեր արժեքների դեպքում, միջուկները կլանում են ռեզոնանսային էներգիան: Այս պրոցեսը գրանցվում է գերզգայուն ընդունիչների կողմից, որոնք այդ ճառագայթումը վերածում են տեսանելի պատկերի: Իսկ քանի որ մարդու տարբեր օրգաններ պարունակում են տարբեր քանակի ջուր (ոսկոր՝ 12%, ուղեղի գորշ նյութ՝ 83%), ապա որոշակի օրգանների մագնիսական ռեզոնանսային տվյալների միջոցով կարելի է ստանալ ճշգրիտ պրոյեկցիոն պատկերներ: Պատկերի հստակության աստիճանը կախված է կիրառված արտաքին դաշտի ինդուկցիայի մեծությունից, որքան մեծ է մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի արժեքը, այնքան մեծ թվով միջուկների սպիններ

կդասավորվեն դաշտի ուղղությամբ, այսինքն՝ ավելի մեծ թվով միջուկներ կմասնակցեն միջուկային մագնիսական ռեզոնանսի պրոցեսին, հետևաբար պատկերն ավելի հստակ կստացվի:

### **ՄՄՌՇ-ի կիրառությունը**

ՄՄՌՇ-ն առավել լավ է պատկերում գլխուղեղի, ողնաշարի որոշակի հատվածները, նյարդային համակարգը: Այդ պատճառով այն շատ է կիրառվում նյարդային համակարգերի օնկոլոգիական պրոցեսները ուսումնասիրելու համար: Բազմաթիվ հիվանդություններ կարելի է հայտնաբերել ՄՄՌՇ-ի մեթոդի միջոցով՝ սիրտ-անոթային համակարգերի, կրծքավանդակի, ավշային հանգույցի բորբոքային, դիստրոֆիկական (սնուցախանգարման) և ուռուցքային ախտահարումը:

### **ՄՄՌՇ-ի առավելությունները.**

1. Հնարավորություն է տալիս փոխարինելու ռենտգենյան ճառագայթումը ռադիոալիքային ճառագայթմամբ, այսինքն՝ հնարավորություն է տալիս հետազոտելու նաև հղիներին և երեխաներին: Բացի դրանից այլևս անհրաժեշտ չէ պաշտպանել մարդկանց և շրջակա միջավայրը ռենտգենյան ճառագայթման վնասակար ազդեցությունից:
  2. Կյանքի համար կարևոր իզոտոպների (հատկապես ջրածնի) նկատմամբ մեծ զգայունությունը, որը հնարավորություն է տալիս լավ նկարագրելու ջրածին (ջուր) պարունակող օրգանները:
  3. Զգայունությունը տարբեր քիմիական կապերի նկատմամբ, որն ապահովում է պատկերի ճշգրտությունը:
  4. Հնարավորություն է տալիս բավական մեծ ճշտությամբ ստանալու արյունատար համակարգի պատկերը:
  5. Պատկերի հետազոտման ճշգրտությունը հնարավորություն է տալիս դիտել պատկերները միլիմետրի ճշտությամբ:
  6. Հնարավորություն է տալիս ստանալու կտրվածքի լայնական և երկայնական հատույթի պատկերները:
- Ինչպես ցանկացած այլ մեթոդ ՄՄՌՇ-ն ունի նաև թերություններ.

1. Դժվար է ստանալ բավական մեծ ինտուկցիա ունեցող մագնիսական դաշտեր:
2. Օրգանի պատկերը ստանալու համար օրգանիզմը երկար ժամանակ պետք է գտնվի մագնիսական դաշտում: Մակայն ցանկացած շարժում կարող է նպաստել պատկերի աղավաղման, որն էլ սրտի և թոքերի հետազոտման դժվարացման պատճառ է դառնում:
3. Որոշակի հիվանդություններ (օրինակ՝ կլաստրոֆոբիա) ունեցող հիվանդների հետազոտությունը հնարավոր չէ իրականացնել:

4. Մետաղական իրեր (օրինակ՝ արկի բեկոր) կամ արհեստական օրգաններ ունեցող հիվանդների հետազոտությունն արգելվում է: Սակայն վերը թվարկված թերությունները ժամանակի ընթացքում կարող են լուծվել: Ներկայումս մշակված է նոր մեթոդ, համաձայն որի՝ օրգանիզմը մագնիսական դաշտում տեղադրելու փոխարեն օրգանիզմ են ներմուծում հատուկ մագնիսական նանոմասնիկներ, որոնք հնարավորություն է տալիս կիրառելու շերտագրման մեթոդը նաև կլաստրոֆոբիայով հիվանդների դեպքում: Մեթոդի էությունն այն է, որ հիվանդի օրգանիզմ ներմուծված նանոմասնիկներն արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցության հետևանքով ճառագայթում են էլեկտրամագնիսական ալիքներ: Այդ ալիքների բնույթը կախված է նրանից, թե ինչ միջավայրում են գտնվում այդ մասնիկները: Այսպիսով, ուսումնասիրելով այդ նանոմասնիկների ճառագայթումը կարելի է գաղափար կազմել այն միջավայրի մասին, որտեղ դրանք գտնվում են: Այս մեթոդով կարելի է ստանալ սրտի և թոքերի եռաչափ պատկերներ՝ իրական ժամանակի ռեժիմում: Այս մեթոդը հնարավորություն է տալիս ուսումնասիրելու նաև քաղցկեղը՝ առաջացման նախնական շրջանում, ինչպես նաև ստուգելու, թե որքանով է արդյունավետ ազդում քիմիաթերապիան օրգանիզմի վրա:

## 27. ԲԺՇԿԱԿԱՆ ՍԱՐՔԱՎՈՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀՈՒՍԱԿՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ցանկացած սարքավորման հուսալիությունը այդ սարքավորման որակական հատկություններից մեկն է: Սարքավորման հատկությունները գնահատվում են մի շարք որակական բնութագրերով, որոնք մտնում են տեխնիկական պայմանների մեջ: Տեխնիկական սարքավորման հիմնական բնութագրերից է նրա ճշտությունը, որն ունի սխալի որոշակի չափ: Սխալի այդ չափի գերազանցումը սարքավորումը դարձնում է ոչ պիտանի:

Սարքավորման հուսալիությունը այն հատկությունն է, որի դեպքում պահանջվող ամբողջ ժամանակամիջոցի ընթացքում այն պահպանում է իր բոլոր պարամետրները աշխատանքի համար թույլատրելի սահմաններում: Այսպիսով, հուսալիության էությունն է պահպանել իր շահագործման հատկությունները ողջ աշխատանքի ընթացքում: Հուսալիության հատկությունը չափազանց կարևոր է հատկապես բժշկական սարքավորումների համար, քանի որ դրանց անխափան աշխատանքից է կախված մարդու առողջությունը, երբեմն նաև կյանքը: Հետազոտելով

հիվանդին՝ բժիշկը պետք է համոզված լինի, որ տվյալ սարքավորման ցուցմունքերը ճիշտ են, այլապես կարող է նշանակել սխալ բուժում:

Հուսալիությունը ընդհանրացված տերմին է: Հուսալիությունը պայմանավորված է անխափանելիությամբ, վերանորոգման ընդունակությամբ, սարքավորման պահպանելիությամբ, նրա մասերի երկարակեցությամբ:

Պարզաբանենք այդ տերմինները.

Երբ սարքավորումը կատարում է տվյալ ֆունկցիան՝ պահպանելով պարամետրերը իր համար նախատեսված պայմաններում, ապա այն աշխատունակ է: Եթե համակարգը դուրս է եկել շարքից կամ եթե համակարգը բնութագրող հիմնական պարամետրերից գոնե մեկը գերազանցել է իր համար նախատեսված թույլատրելի սահմանը, ապա այդ երևույթը անվանում են սարքի խափանում: Այսպիսով, խափանում նշանակում է աշխատունակության խախտում:

Անխափանության հատկությունն նշանակում է սարքավորման աշխատունակության պահպանում (առանց ընդհատումների) տվյալ ժամանակահատվածի ընթացքում: Օրինակ՝ արհեստական արյունաշրջանառության սարքավորումը պետք է անխափան աշխատի ամբողջ պրոցեսի ընթացքում:

Հուսալիության տեսության մեջ բոլոր սարքավորումները բաժանում են վերանորոգվողների և չվերանորոգվողների: Եթե սարքավորումը թույլատրում է խափանման հետևանքով առաջացող ֆունկցիոնալ հատկությունների վերականգնում, ապա այն անվանում են վերանորոգվող: Հակառակ դեպքում սարքավորումն անվանում են չվերանորոգվող: Բժշկական սարքավորումների և գործիքների հիմնական մասը վերանորոգվող են:

Երկարակեցություն անվանում են սարքավորման (աշխատանքի թույլատրելի սահմաններում) աշխատունակության պահպանման հատկությունը, որի ընթացքում այն պետք է վերանորոգվի և անցնի տեխնիկական գնում:

Ինչպես վերը նշվեց, հուսալիության հատկություններից է նաև սարքավորման պահպանելիությունը, որը պայմանավորված է նրա շահագործման հատկությունների պահպանմամբ: Բժշկական սարքավորումների հիմնական մասը նախատեսված է պահպանել չոր և տաքացվող վայրերում: Այլ վայրերում պահելը, օրինակ՝ կտրուկ փոփոխվող ջերմաստիճանի և օդի խոնավության պայմաններում, նպաստում է սարքավորման կոռազիային և աշխատունակության վատացմանը:

Մարքավորման հուսալիության վրա ազդում են բազմաթիվ գործոններ (այն ստեղծող անձնակազմի պատրաստվածությունը, անձնակազմի տեխնիկական հագեցվածությունը, շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանը, օդի խոնավությունը, սանիտարական պայմանները և այլն): Հետևաբար խափանման երևույթն ունի պատահական բնույթ, և նրա առաջացման պատահարը կարելի է բնութագրել որպես պատահական պատահար: Այդ պատճառով հուսալիության քանակական բնութագրման համար օգտվում են հավանականությունների տեսության և մաթեմատիկական ստատիստիկայի տարրերից:

**Հուսալիության ցուցանիշները**

Հուսալիության տեսության մեջ կիրառվում են 5 տեսակի ցուցանիշներ, որոնցից յուրաքանչյուրը բնութագրում է սարքավորման գործունեության որևէ ուղղություն: Նշենք դրանցից մի քանիսը.

**1. Անխափանության ցուցանիշ**

Անխափանության ցուցանիշներից են.

ա) *Անխափան աշխատանքի  $P(t)$  հավանականությունը*, որը սահմանվում է հետևյալ բանաձևով.

$$P(t)=1-F(t),$$

որտեղ  $t$ -ն սարքավորման անխափան աշխատանքի ժամանակն է,  $F(t)$ -ն  $t$  պատահական մեծության բաշխման ֆունկցիան է: Պրակտիկայում  $P(t)$  ցուցիչի գնահատումը տրվում է՝ ելնելով փորձարկումների արդյունքներից, այսինքն՝

$$P(t) = \frac{N - n}{N},$$

որտեղ  $N$ -ը փորձարկվող սարքավորումների ընդհանուր քանակն է,  $n$ -ը սարքավորումների այն քանակն է, որոնք մինչև  $t$  ժամանակը խափանվել են:

բ) *Խափանման  $Q(t)$  հավանականությունը*, որը թվապես հավասար է  $F(t)$  ֆունկցիայի արժեքին: Պրակտիկայում այս ցուցիչի գնահատումը տրվում է հետևյալ բանաձևով.

$$Q(t) = \frac{n}{N}:$$

գ) *Խափանման  $f(t)$  հաճախությունը*, որը ցույց է տալիս չվերանորոգվող սարքավորումների մասը, որոնք խափանվել են միավոր ժամանակում՝ համեմատած ընդհանուր սարքավորումների թվի.

$$f(t) = \frac{n}{N \cdot \Delta t},$$

որտեղ  $\Delta t$ -ն այն ժամանակահատվածն է, որի ընթացքում դիտվում է  $n$  խափանում:

դ)  $\Lambda(t)$  խափանումների հոսքի պարամետրը, որը ցույց է տալիս վերականգնվող սարքավորումների քանակը, որոնք խափանվել են միավոր ժամանակում՝ սկսած որոշակի  $t_0$  ժամանակից: Այն սահմանվում է հետևյալ բանաձևով.

$$\Lambda(t) = \frac{\Delta n}{\Sigma \cdot \Delta t}$$

որտեղ  $\Delta n$ -ը ֆիքսված խափանումների ընդհանուր քանակն է,  $\Sigma \cdot \Delta t$ -ն հետազոտվող ժամանակահատվածում վերականգնվող սարքավորումների ընդհանուր քանակն է:

ե)  $\lambda(t)$  խափանման ինտեսիվությունը, որը ցույց է տալիս չվերականգնվող սարքավորումների քանակը, որոնք խափանվել են միավոր ժամանակահատվածում՝ սկսած որոշակի  $t_0$  ժամանակից: Այն սահմանվում է հետևյալ բանաձևով.

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n}{[N - n(t_0)] \cdot \Delta t},$$

որտեղ  $\Delta n$ -ը  $\Delta t$  ժամանակահատվածում խափանված սարքավորումների քանակն է,  $n(t_0)$ -ն՝ մինչև  $t_0$  պահը խափանված սարքավորումների քանակը:

## **2. Երկարակեցության ցուցանիշ**

Երկարակեցության ցուցանիշներն են.

ա) *Ծառայողական ժամանակը*, որը չափվում է սարքավորման շահագործման օրացուցային ժամանակով, մինչև որոշակի սահմանային վիճակի հասնելը կամ մինչև դուրսգրումը:

բ) *Սարքավորման ռեսուրսը*, որը հավասար է մինչև կրիտիկական վիճակի հասնելը կատարված բոլոր վերանորոգումների քանակին:

գ) *Շահագործման երաշխիքային ժամկետը*՝ համաձայնեցված արտադրողի և պատվիրատուի միջև: Այն ժամանակահատվածն է, որի ընթացքում արտադրողը պետք է վերանորոգի շարքից դուրս եկած սարքավորումը, եթե պահպանվել են սարքավորման օգտագործման կանոնները:

## **3. Պահպանելիության ցուցանիշ**

Պահպանելիության ցուցանիշը պահպանելիության ժամանակն է, որը սարքավորման՝ շահագործման պայմանները պահպանած օրացուցային ժամանակն է:

**Տեխնիկական սարքավորումների հուսալիության գնահատման հիմունքները**

Ավելի քան մեկ տարրից բաղկացած սարքավորումների հուսալիության գնահատման հիմնական էությունն այն է, որ տարրերից յուրաքանչյուրի շարքից դուրս գալը հանգեցնում է սարքավորման շարքից դուրս գալուն: Եթե սարքավորումը բաղկացած է  $n$  տարրից, ընդ որում որոշակի  $t$  ժամանակահատվածում  $i$ -րդ տարրի շարքից դուրս գալու հավանականությունը հավասար է  $P_i(t)$ -ի, ապա ըստ հավանականությունների բազմապատկման թեորեմի՝ այդ նույն ժամանակահատվածում սարքավորման շարքից դուրս գալու  $P(t)$  հավանականությունը կորոշվի՝

$$P(t) = P_1(t)P_2(t)\dots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t),$$

ընդ որում, բացառվում է երկու կամ ավելի տարրերի միարժամանակյա խափանումը: Եթե դիտարկենք  $Q(t)$  խափանման հավանականությունը և համապատասխանաբար տարրերի  $q_i(t)$  խափանման հավանականությունը, ապա  $Q(t)$  հավանականության համար կստանանք.

$$Q(t) = 1 - [1 - q_1(t)][1 - q_2(t)]\dots[1 - q_n(t)]:$$

Բերված բանաձևերը թույլ են տալիս հաշվել սարքավորման հուսալիության ցուցանիշը՝ ելնելով այն կազմող տարրերի հուսալիության ցուցանիշներից: Հուսալիության ցուցանիշի մեծությունը պետք է տրվի այն ժամանակի համար, որի համար այն ստացվել է, քանի որ այն կախված է դիտարկվող ժամանակի երկարությունից:

Ժամանակի ցանկացած պահի համար տեղի ունի  $P_i < 1$  արտահայտությունը, որտեղից հետևում է, որ սարքավորման անխափանման աշխատելու հավանականությունը փոքր է նրա տարրերից ցանկացածի անխափան աշխատելու հավանականությունից: Սարքավորման կամ նրա տարրերի անխափան աշխատելու հավանականությունը, բացի բաշխման ֆունկցիայից և խտությունից կարող է տրվել նաև  $\lambda(t)$  պարամետրով, որը կոչվում է խափանման ինտենսիվություն: Խափանման ինտենսիվությունը  $f(t)$  բաշխման խտությունից և  $P(t)$  բաշխման ֆունկցիայից կախված է հետևյալ առնչությամբ.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}:$$

Գրաֆիկորեն պատկերված  $\lambda(t)$ -ն կրում է օլյամդա-բնութագրիչ օձանվանումը: Բոլոր տարրերի համար ամենատիպիկ օլյամդա-բնութագրիչը պատկերված է 27.1. նկարում: Գրաֆիկը բաղկացած է 3



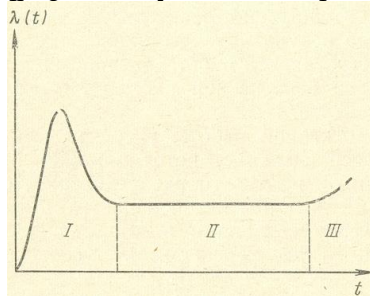
հիմնական մասերից, որոնք բնութագրում են աշխատանքի տարբեր փուլերը:

Աշխատանքի առաջին փուլը սովորաբար անվանում են նախաաշխատանքային փուլ: Այդ ընթացքում սարքավորումը միացնելուց անմիջապես հետո դիտվում է խափանման ինտենսիվության կտրուկ աճ, որը դանդաղ նվազում է մինչև երկրորդ փուլի սկիզբը: Խափանման ինտենսիվության մեծ լինելը բացատրվում է նրանով, որ այդ ընթացքում անորակ տարրերը շարքից դուրս են եկել:

Երկրորդ փուլը, որը ամենաերկարատևն է, բնութագրվում է լյանդա-բնութագրիչի գրեթե հաստատուն լինելով: Այս փուլը տարրերի նորմալ շահագործման փուլն է:

Երրորդ փուլը բնութագրվում է տարրերի խափանման ինտենսիվության նոր աճով, որը պայմանավորված է դրանց մաշվածությամբ և հնանալով: Այդ պատճառով սարքավորման շահագործման ժամանակ պետք չէ սպասել երրորդ փուլի սկսվելուն: Պետք է փոխել շարքից դուրս եկող տարրերը:

Առաջին փուլում նույնպես չպետք է թույլ տալ սարքավորման շահագործումը: Այդ պատճառով այն պետք է գործարկել հատուկ ստենդների վրա: Այդ պրոցեսն անվանում են նախնական օմարգում:



Նկ. 27.1. Տիպիկ լյանդա-բնութագրիչի տեսքը:

### Հուսալիության հաշվարկումը բժշկական սարքավորումների արտադրելու ժամանակ

Ինչպես արդեն նշվել է, հուսալիությունը կապված է սարքավորման անխափանելիության, վերանորոգելու հնարավորության, պահպանելիության և նրա մասերի երկարակեցության հետ: Բժշկական սարքավորումների կարևորագույն հատկություններից է նրանց անխափան աշխատանքը և երկարակեցությունը: Այս հատկությունները պետք է պահպանվեն սարքավորումն արտադրելու ժամանակ: Բժշկական սարքա-

վորումների մեծամասնությունն ունի բարդ կառուցվածք, որի մանրամասն նկարագիրը դուրս է ծրագրի շրջանակներից: Այդ պատճառով մենք կդիտարկենք այն հիմնական դատողությունները, որոնք գծագրողը և արտադրողը պետք է հաշվի առնեն սարքավորումն արտադրելու ժամանակ: Գծագրելիս առաջին հերթին պետք է հաշվի առնվեն սարքավորման խափանման օրինաչափությունները ժամանակի ընթացքում: Եթե այդ օրինաչափությունները հայտնի են, ապա սարքավորման հետագա հաշվարկները և կապերի աշխատունակության ստուգումը հեշտ է իրականացնել:

Սարքավորման՝ շարքից դուրս գալու պատահարը (խափանումը) պատահական պատահարներից է: Այն ժամանակահատվածը, երբ սարքավորումը կխափանվի, կարելի է գուշակել միայն որոշակի հավանականությամբ: Այսպիսով, եթե հայտնի է սարքավորման անխափան աշխատանքի ժամանակի բաշխումը (բաշխման ֆունկցիան կամ խտությունը), ապա արտադրողն ունի այն ամենը, ինչն անհրաժեշտ է սարքավորման հուսալիությունը հաշվելու համար:

Ընդունված է խափանումները բաժանել երկու տեսակի՝ հանկարծակի և աստիճանաբար: Սարքավորման մասերի հանկարծակի խափանումները նույնպես կատարվում են աստիճանաբար, ֆիզիկաքիմիական պրոցեսների արդյունքում: Խափանումները մասերի մաշվածության կամ բաղկացուցիչ մասերի հին լինելու արդյունք են: Բժշկական սարքավորումների մեծ մասի վրա գործադրվող ծանրաբեռնվածությունը քիչ է, այդ պատճառով հանկարծակի և աստիճանաբար խափանումների հավանակությունը, որոնք կապված են ծանրաբեռնվածության հետ, բավական փոքր է: Մակայն դա չի նշանակում, որ այն կարելի է անտեսել:

Ընդհանուր դեպքում անխափան աշխատելու հավանականությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}, \quad (27.1.)$$

որտեղ  $\lambda(t)$ -ն խափանման ինտենսիվությունն է: Խափանման ինտենսիվության չափման միավորն է ժամ<sup>-1</sup>, այսինքն՝ մեկ ժամում խափանումների քանակը: Եթե  $\lambda = \text{const}$ , ապա ինտեգրելով (27.1.) արտահայտությունը՝ կստանանք.

$$P(t) = e^{-\lambda t} : \quad (27.2.)$$

N տարրերից կազմված սարքավորման անխափան աշխատելու հավանականությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$P(t) = e^{-t \sum_{i=1}^N \lambda_i} = e^{-\frac{t}{T}}, \quad (27.3.)$$

որտեղ  $t$ -ն սարքավորման անդադար աշխատանքի ժամանակն է,  $\lambda_i$ -ն  $i$ -րդ տարրի խափանման ինտենսիվությունն է,  $T = \left( \sum_{i=1}^N \lambda_i \right)^{-1}$ -ն սարքավորման

անխափան աշխատելու միջին ժամանակն է,  $N$ -ը՝ տարրերի քանակը սարքավորման մեջ: (27.3.) բանաձևով նախապես հաշվում են նոր սարքավորման հուսալիությունը: Աստիճանաբար խափանումների բաշխման խտությունն ավելի հաճախ ենթարկվում է նորմալ բաշխման օրենքին: Հաշվի առնելով հանկարծակի և աստիճանաբար խափանումները՝ սարքավորման անխափան աշխատելու հավանականությունը կորոշվի հետևյալ արտահայտությամբ.

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t), \quad (27.4.)$$

որտեղ  $P_1(t)$ -ն և  $P_2(t)$ -ն անխափան աշխատելու հավանականությունն է հանկարծակի և աստիճանաբար խափանումների համար: Ենթադրելով, որ մաշվածությամբ պայմանավորված խափանումների հավանականությունը տրվում է նորմալ բաշխմամբ՝ անխափան աշխատանքի հավանականության համար կունենանք հետևյալ արտահայտությունը.

$$P_2(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt, \quad (27.5.)$$

որտեղից հանկարծակի և աստիճանաբար անխափան աշխատանքի հավանականության համար կստանանք.

$$P(t) = e^{-\lambda t} \cdot P_2(t): \quad (27.6.)$$

Նկար 27.2-ում պատկերված է  $P(t)$  ֆունկցիայի գրաֆիկը երբ անխափան աշխատանքի  $T$  գումարային միջին ժամանակը փոքր է մաշվածության դեպքում անխափան աշխատանքի միջին ժամանակից (( մաթեմատիկական սպասումից), այսինքն՝  $T < ($ : Նկարից երևում է, որ մինչև հայտնի  $T_1$  ժամանակը  $P(t)$  ֆունկցիայի գրաֆիկը համընկնում է ցուցչային ֆունկցիայի գրաֆիկին: Միայն  $t > T_1$ -ի դեպքում է  $P(t)$ -ի արժեքները ընկած էքսպոնենցիալ բաշխվածության կորից ներքև:

Ամբողջական սարքավորման համար կարող ենք գրել.

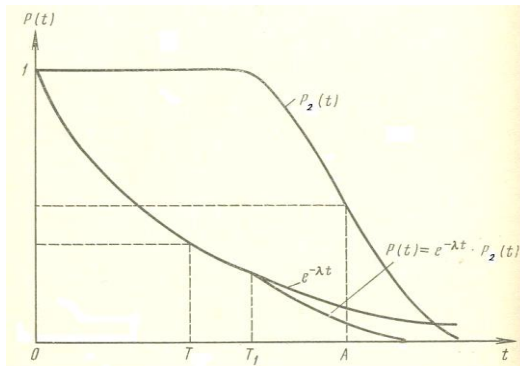
$$P(t) = e^{-\sum_{i=1}^N \lambda_i t} \cdot \prod_{i=1}^N P_{2i}(t): \quad (27.7.)$$

Ինչպես արդեն նշվել է, բժշկական սարքավորումներում մաշվածությամբ պայմանավորված խափանումները բավականին հաճախ են լինում և պետք է հաշվի առնվեն մեխանիկական հանգույցների ստեղծման

Ժամանակ: Վերջինս պետք է ներմուծել այնպես, որ ապահովվի տրված  $R$  երկարակեցությունը՝ էլնելով հետևյալ արտահայտությունից.

$$R < \mu - (3 \div 4)\sigma: \quad (27.8.)$$

Կարևոր հանգույցներում պետք է պահպանվի  $R < \mu - 4\sigma$  առնչությունը, կամ մտցվում են պահեստային տարրեր: Պահեստային տարրերը այն սարքերն են, որոնք պետք է կատարեն հիմնական տարրի ֆունկցիան, եթե այն խափանվել է: Օրինակ՝ արհեստական արյունաշրջանառության սարքավորման մեջ պոմպի խափանումից խուսափելու համար մտցվում է մեխանիկական պահեստային համակարգը:



Սկ. 27.2. Հուսալիության կորերը հանկարծակի և մաշվածությամբ խափանման համար և նրանց համադրումը:

**Համակարգչային շերտագրի հուսալիության ցուցանիշների հաշվարկը**

Ընդհանուր դեպքում համակարգչային շերտագիրը նախագծելու ժամանակ հուսալիությունը գնահատվում է անխափանության և երկարակեցության ցուցանիշներով: Սարքավորման անխափանության նորմավորված ցուցանիշներն են անխափան աշխատանքի հավանականությունը, մինչև առաջին խափանումն ընկած միջին ժամանակահատվածը և խափանման ինտեսիվությունը: Երկարակեցության հիմնական ցուցանիշներն են աշխատանքի միջին ժամանակահատվածը և միջին ռեսուրսը: Հուսալիության ցուցանիշները գնահատելու ժամանակ ենթադրվում է՝ որ

- տարրերը կարող են գտնվել երկու վիճակներում՝ աշխատունակ և ոչ աշխատունակ,
- անխափան աշխատանքի հավանականության ֆունկցիան ենթարկվում է ցուցային օրենքին:

Խափանման ինտեսիվությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$\lambda = K_1 \cdot K_2 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i,$$

որտեղ  $K_1$  գործակիցը հաշվի է առնում սարքավորման մեջ առաձգականության առկայությունը ( $K_1=0,85$ , եթե առաձգական է, և  $K_1=1$ , եթե ոչ առաձգական է),  $K_2$  գործակիցը հաշվի է առնում սարքավորման սպասարկման որակը ( $K_2=1$  կենցաղային սարքավորումների համար,  $K_2=0,5$  արտադրատեխնիկական սարքավորումների համար),  $\lambda_i$ -ն  $i$ -րդ տիպի մասի շահագործման խափանման ինտեսիվությունն է,  $n$ -ը սարքավորման մեջ տարբեր տիպի մասերի քանակն է: Աղյուսակ 27.1-ում ներկայացված են համակարգչային շերտագրի մեջ մտնող ռադիոէլեմենտների տեսակները, քանակը և խափանման ինտեսիվությունները:

Անվանումը	Տեսակը	Քանակը	$\lambda \cdot 10^{-6}$ ժամ <sup>-1</sup>	$\lambda \cdot 10^{-6}$ ժամ <sup>-1</sup>
1. Միկրոսխեմաներ	K140YD25A	2	4,2	8,4
	K142EH5A	1	4,2	4,2
	K1113PB1A	1	4,2	4,2
	KP1533JH1	1	4,2	4,2
2. Ռեզիստորներ	МЛТ	5	0,01	0,05
	СП-5	1	0,01	0,01
3. Դիոդներ	АЛ336В	1	0,5	0,5
	Д18	1	0,5	0,5
	2С166В	2	0,5	1
4. Կոնդեաստորներ	КМ-5	1	0,8	0,8
5. Անջատիչ	П2К	1	5,2	5,2
6. Զոդում		80	0,01	0,8
7. Լարեր				

Աղյուսակ 27.1. Ռադիոէլեմենտների խափանման ինտեսիվությունները:

Եթե  $K_1=1$  և  $K_2=1$ , ապա լրիվ ինտեսիվության համար կստանանք.

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 29.86 \cdot 10^{-6} \text{ ժամ}^{-1}:$$

Հետևաբար խափանման միջին ժամանակը հավասար կլինի՝

$$T = \frac{1}{\lambda} = 33489 \text{ ժամ}:$$

### Թեստային օրինակներ

**1. Սարքավորման հուսալիությունը պայմանավորված չէ նրա՝**

- ա) անխափանելիությամբ
- բ) վերանորոգման հնարավորությամբ
- գ) խափանելիությամբ
- դ) պահպանելիությամբ

**2. Սարքավորման հուսալիությունը պայմանավորված է նրա՝**

- 1) անխափանելիությամբ, վերանորոգման հնարավորությամբ
  - 2) պահպանելիությամբ, մասերի երկարակեցությամբ
  - 3) խափանելիությամբ, վերանորոգման հնարավորությամբ
  - 4) մասերի երկարակեցությամբ, մաշվածությամբ
- ա) միայն 1, 2    բ) միայն 2, 3    գ) միայն 1, 4    դ) միայն 4

**3. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում անխափան աշխատանքի P(t) հավանականությունը.**

ա)  $P(t) = \frac{n-N}{N}$ ,    բ)  $P(t) = \frac{N-n}{N}$ ,    գ)  $P(t) = \frac{n-N}{n}$ ,    դ)  $P(t) = \frac{N-n}{n}$

**4. Ինչի՞նչ է հավասար սարքավորման խափանման ինտենսիվությունը, եթե հայտնի են f(t) բաշխման խտությունը և P(t) բաշխման ֆունկցիան:**

ա)  $\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$ ,    բ)  $\lambda(t) = f(t) \cdot P(t)$ ,    գ)  $\lambda(t) = \frac{P(t)}{f(t)}$ ,    դ)  $\lambda(t) = f(t) \cdot (1 - P(t))$

**5. Ո՞ր բանաձևով չի որոշվում n տարրից բաղկացած սարքավորման՝ շարքից դուրս գալու P(t) հավանականությունը, եթե q(t)-ն տարրերի խափանման հավանականությունն է.**

ա)  $P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t)$   
 բ)  $P(t) = 1 - [1 - q_1(t)][1 - q_2(t)] \dots [1 - q_n(t)]$   
 գ)  $P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t)$   
 դ)  $P(t) = [1 - q_1(t)][1 - q_2(t)] \dots [1 - q_n(t)]$

**6. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում n տարրից բաղկացած սարքավորման խափանման ինտենսիվությունը.**

ա)  $\lambda = \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i \right)^{-1}$ ,    բ)  $\lambda = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i}$ ,    գ)  $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \dots \cdot \lambda_n$ ,    դ)  $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$

**7. Հուսալիության տեսության մեջ բոլոր սարքավորումները բաժանում են՝**

- ա) վերանորոգվողների և չվերանորոգվողների
- բ) վերանորոգվողների և խափանվածների
- գ) անխափանների և չվերանորոգվողների
- դ) անխափանների և վերանորոգվողների:

**8. Խափանումներն ըստ տեսակի լինում են՝**

- 1) հանկարծակի
- 2) անմիջապես

3) աստիճանաբար

4) կրկնվող

ա) միայն 2, 3    բ) միայն 1, 4    գ) միայն 3, 4    դ) միայն 1, 3

**9. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում սարքավորման անխափան աշխատելու հավանականությունը.**

ա)  $P(t) = e^{-\lambda(t)}$ ,    բ)  $P(t) = \int_0^t \lambda(t)dt$ ,    գ)  $P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$ ,    դ)  $P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(0)dt}$

**10. Հետևյալ արտահայտություններից ո՞րն է սխալ.**

ա)  $P(t) = \exp\left\{-\int_0^t \lambda(t)dt\right\}$                       բ)  $P(t) = \frac{N-n}{N}$

գ)  $P(t) = \exp\{-\lambda(t)\}$                       դ)  $Q(t) = 1 - [1 - q_1(t)][1 - q_2(t)] \dots [1 - q_n(t)]$

**11. Ի՞նչ են անվանում սարքավորման շարքից դուրս գալու երևույթը.**

ա) մերժում

բ) անաշխատունակություն

գ) աշխատունակություն

դ) խափանում

**12. Այն սարքավորումը, որը կատարում է տվյալ ֆունկցիան՝ պահպանելով պարամետրերը իր համար նախատեսված պայմաններում, անվանվում է՝**

ա) խափանված

բ) աշխատունակ

գ) վերանորոգվող

դ) չվերանորոգվող

**13. Ընդհանուր դեպքում, ո՞ր ցուցանիշներով է բնութագրվում համակարգչային շերտագրի հուսալիությունը.**

ա) անխափանություն և երկարակեցություն

բ) պահպանելիություն և երկարակեցություն

գ) պահպանելիություն և անխափանություն

դ) միայն անխափանություն

**14. Սարքավորման խափանման ինտենսիվությունը հավասար է  $\lambda = 4 \cdot 10^{-3}$  ժամ<sup>-1</sup>: Ինչի՞ է հավասար անխափան աշխատանքի հավանականությունը, եթե  $t=500$  ժամ:**

ա) 0,476,

բ) 0,734,

գ) 0,136,

դ) 0,271

**15. Սարքավորումը բաղկացած է երկու տարրերից, որոնց խափանման ինտենսիվությունները համապատասխանաբար հավասար են  $\lambda_1 = 3 \cdot 10^{-3}$  ժամ<sup>-1</sup> և  $\lambda_2 = 2 \cdot 10^{-3}$  ժամ<sup>-1</sup>: Ինչի՞ է հավասար մինչև խափանում միջին ժամանակը:**

ա) 20,

բ) 200,

գ) 1000,

դ) 50

**Պատասխաններ**

- 1.գ    2.ա    3.բ    4.ա    5.բ    6.դ    7.ա    8.դ    9.դ
- 10.գ    11.դ    12.բ    13.ա    14.գ    15.բ

## Հավելված

### 1. Միավորների միջազգային համակարգի հիմնական միավորները

Ֆիզիկական մեծությունը	Միավորը ՄՀ-ում	Նշանը
երկարություն	մետր	մ
զանգված	կիլոգրամ	կգ
ժամանակ	վայրկյան	վ
հոսանքի ուժ	ամպեր	Ա
բացարձակ ջերմաստիճան	կելվին	Կ
նյութի քանակ	մոլ	մոլ
լույսի ուժ	կանդելա	կդ

### 2. Միավորների միջազգային համակարգի ածանցյալ միավորները

Ֆիզիկական մեծությունը	Նշանը	Միավորը ՄՀ-ում	Տարրը	ՄՀ հիմնական միավորներով	Բանաձևը
արագություն	v	...	...	մ/վ	$v = \frac{dS}{dt}$ ; $[v] = \frac{մ}{վ}$
արագացում	a	...	...	մ/վ <sup>2</sup>	$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2}$ ; $[a] = \frac{մ}{վ^2}$
ուժ	F	նյուտոն	Ն	կգմ/վ <sup>2</sup>	$F = ma$ ; $[F] = կգմ/վ^2$
ճնշում	P	պասկալ	Պա	կգ/մվ <sup>2</sup>	$P = \frac{F}{S}$ ; $[P] = \frac{Ն}{մ^2}$
աշխատանք	A	ջոուլ	Ջ	կգմ <sup>2</sup> /վ <sup>2</sup>	$A = FS \cos \alpha$ ; $[A] = Նմ$
էներգիա	E	ջոուլ	Ջ	կգմ <sup>2</sup> /վ <sup>2</sup>	$E = A$
ջերմության քանակ	Q	ջոուլ	Ջ	կգմ <sup>2</sup> /վ <sup>2</sup>	$Q = A$
հզորություն	N	վատտ	Վտ	կգմ <sup>2</sup> /վ <sup>3</sup>	$N = \frac{A}{t}$ ; $[N] = \frac{Ջ}{վ}$
իմպուլս	P	...	...	կգմ/վ	$P = mv$ ; $[P] = կգմ/վ$
անկյուն	$\alpha$	ռադիան	ռադ	...	...
հաճախություն	$\nu$	հերց	Հց	վ <sup>-1</sup>	$\nu = \frac{1}{t}$ ; $[\nu] = \frac{1}{վ}$
ջերմունակություն	C	...	...	մ <sup>2</sup> /վ <sup>2</sup>	$C = \frac{Q}{m}$ ; $[C] = Ջ/կգ$
տեսակարար ջերմունակություն	c	...	...	մ <sup>2</sup> /վ <sup>2</sup> Կ	$c = \frac{Q}{m\Delta T}$ ; $[c] = Ջ/կգԿ$
լիցք	q	կուլոն	Կլ	Ավ	$q = It$ ; $[q] = Ավ$
դիպոլ մոմենտ	$\mu$	...	Կլմ	Ավմ	$\mu = qL$ ; $[\mu] = Կլմ$



Էլեկտրական դաշտի լարվածություն	E	վոլտ-մետր	Վ/մ	կգմ/Ավ <sup>3</sup>	$E = \frac{F}{q}$ ; $[E] = \frac{\text{Ն}}{\text{Ավ}}$
ԷԼՇՈՒ-ի լարում	$\mathcal{E}$ , u	վոլտ	Վ	կգմ <sup>2</sup> /Ավ <sup>3</sup>	$u = Ed$ ; $[u] = \frac{\text{Ն}}{\text{Ավ}} \cdot \text{մ}$
ունակություն	c	ֆարադ	Ֆ	Ա <sup>2</sup> վ <sup>4</sup> /կգմ <sup>2</sup>	$c = \frac{q}{u}$ ; $[c] = \frac{\text{Ավ}}{\text{Վ}} = \text{Ֆ}$
դիմադրություն	R	օմ	Օմ	կգմ <sup>2</sup> /Ա <sup>2</sup> վ <sup>3</sup>	$R = \frac{U}{I}$ ; $[R] = \frac{\text{Վ}}{\text{Ա}} = \text{Օմ}$
Էլեկտրաստատիկ հաստատուն	$\epsilon_0$	Ֆարադ-մետր	Ֆ/մ	Ա <sup>2</sup> վ <sup>4</sup> /կգմ <sup>3</sup>	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ; $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi F} \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ; $[\epsilon_0] = \frac{\text{Ավ}^2}{\text{Նմ}^2}$

**3. Միավորների տասնորդական և տասնապատիկ մասերը ստանալու համար օգտագործվող նախածանցները և արտադրիչները**

Արտադրիչ	Նախածանցը		
	Անվանումը	Նշանը	
		Հայերեն	Միջազգային
1 000 000 000 000 000 000=10 <sup>18</sup>	Էկսա	Է	E
1 000 000 000 000 000 =10 <sup>15</sup>	պետա	Պ	P
1 000 000 000 000 =10 <sup>12</sup>	տերա	S	T
1 000 000 000 =10 <sup>9</sup>	գիգա	Գ	G
1 000 000 =10 <sup>6</sup>	մեգա	Մ	M
1 000 =10 <sup>3</sup>	կիլո	կ	k
100 =10 <sup>2</sup>	հեկտո	հ	h
10 =10 <sup>1</sup>	դեկա	դա	da
0,1 =10 <sup>-1</sup>	դեցի	դ	d
0,01 =10 <sup>-2</sup>	սանտի	ս	c
0,001 =10 <sup>-3</sup>	միլի	մ	m
0,000 001 =10 <sup>-6</sup>	միկրո	մկ	$\mu$
0,000 000 001 =10 <sup>-9</sup>	նանո	ն	n
0,000 000 000 001 =10 <sup>-12</sup>	պիկո	պ	p
0,000 000 000 000 001 =10 <sup>-15</sup>	ֆեմտո	ֆ	f
0,000 000 000 000 000 001 =10 <sup>-18</sup>	ատտո	ա	a

10<sup>-10</sup>մ=1անկստրեմ (A °)

**4. Հիմնական ֆիզիկական հաստատունները**

Գրավիտացիոն հաստատուն..... G 6,67E10<sup>-11</sup> Նմ<sup>2</sup>/կգ<sup>2</sup>

Ավոգադրոյի հաստատուն.....	$N_A$	$6,02\bar{E}10^{23}$ մոլ <sup>-1</sup>
Ունիվերսալ գազային հաստատուն.....	$R$	8,314 Ջ/Կմոլ
Բոլցմանի հաստատուն.....	$k$	$1,380\bar{E}10^{-23}$ Ջ/Կ
Էլեկտրոնի լիցքը.....	$e$	$1,602\bar{E}10^{-19}$ Կլ
Էլեկտրոնի դադարի զանգվածը.....	$m_e$	$9,11\bar{E}10^{-31}$ կգ
Էլեկտրական հաստատուն.....	$\varepsilon_0$	$8,85\bar{E}10^{-12}$ Ֆ/մ
Մագնիսական հաստատուն .....	$\mu_0$	$1,257\bar{E}10^{-6}$ Հն/մ
Լույսի արագությունը վակուումում .....	$c$	$2,998\bar{E}10^8$ մ/վ
Պլանկի հաստատուն .....	$h$	$6,62\bar{E}10^{-34}$ Ջվ
Նեյտրոնի դադարի զանգվածը.....	$m_n$	$1,675\bar{E}10^{-27}$ կգ
Պրոտոնի դադարի զանգվածը.....	$m_p$	$1,672\bar{E}10^{-27}$ կգ
Ազատ անկման արագացում.....	$g$	9,807 մ/վ <sup>2</sup>
Իդեալական գազի մոլային ծավալը նորմալ պայմաններում.....	$V_0$	$22,42\bar{E}10^{-3}$ մ <sup>3</sup> /մոլ
Ֆարադեյի թիվ.....	$F$	$9,648\bar{E}10^4$ Կլ/մոլ
Զանգվածի ատոմային միավոր.....	զ.ա.մ.	$1,66\bar{E}10^{-27}$ կգ
Նորմալ մթնոլորտային ճնշում.....	$P$	$10^5$ Պա

## Բովանդակություն

### ԳԼՈՒԽ 1. ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՀԱՄԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Մոլեկուլային կինետիկ տեսություն, նրա հիմնական դրույթները: Միջմոլեկուլային փոխազդեցություններ, վանդերվալյան փոխազ- դեցության ուժերը (Յու. Բաբայան) .....	3
2. Նյութի ագրեգատային վիճակները (Յու. Բաբայան).....	8
3. Ջրի կառուցվածքը, նրա ֆիզիկաքիմիական հատկությունները (Յու. Բաբայան).....	12
4. Փոխանցման երևույթներ (Յու. Բաբայան).....	19
5. Հեղուկների մակերևութային լարվածություն, լարման գործակից (Յու. Բաբայան).....	27
6. Թերմոդինամիկայի տարրերը (Յու. Բաբայան).....	32
ԳԼՈՒԽ 2. ԿԵՆՍԱՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄ	
7. Ֆարմակակինետիկական մոդել (Յու. Բաբայան) .....	46
8. Պոպուլյացիայի թվաքանակի աճի մաթեմատիկական մոդելները (Յու. Բաբայան) .....	49
ԳԼՈՒԽ 3. ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ԿԵՆՍԱՖԻԶԻԿԱ	
9. Կենսապոլիմերների կառուցվածքը և ֆիզիկական հատկությունները (Յու. Բաբայան) .....	57
ԳԼՈՒԽ 4. ՎԵՐՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ԿԵՆՍԱՖԻԶԻԿԱ	
10. Կենսաթաղանթների կառուցվածքն ու ֆիզիկական հատկությունները: Բջջաթաղանթային մոդելներ (Գ. Փոթիկյան, Յու. Բաբայան).....	68
11. Նյութերի տեղափոխման երևույթները բջջաթաղանթով (Յու. Բաբայան).....	73
12. Ակտիվ տեղափոխություն (Գ. Փոթիկյան, Հ. Գևորգյան).....	78
13. Կենսակենսակրթական պոտենցիալներ (Գ. Փոթիկյան, Հ. Գևորգյան).....	80
ԳԼՈՒԽ 5. ՕՐԳԱՆՆԵՐԻ և ՀՅՈՒՍՎԱԾՔՆԵՐԻ ԿԵՆՍԱՖԻԶԻԿԱ	
14. Օրգանների էլեկտրական ակտիվությունը (Յու. Բաբայան).....	88
15. Արյան շրջանառության համակարգի կենսաֆիզիկա (Յու. Բաբայան, Հ. Մնգրյան).....	99
16. Մկանային կծկման կենսաֆիզիկա (Յու. Բաբայան).....	113
ԳԼՈՒԽ 6. ԲԱՐԴ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԿԵՆՍԱՖԻԶԻԿԱ	

17. Զերմային ճառագայթում (Յու. Բաբայան).....	124
18. Արևի ճառագայթումը.....	128
19. Մարդը և շրջապատող միջավայրի ֆիզիկական դաշտերը (Ա.Թադևոսյան, Յու.Բաբայան).....	132
20. Բնական և արհեստական ռադիոակտիվություն (Ք.Եղիազարյան, Յու.Բաբայան).....	142
21. Ակուստիկա: Ինֆրաձայն և ուլտրաձայն: Դրանց կիրառությունը բժշկության մեջ (Ա.Կոբեկյան, Յու.Բաբայան).....	149
22. Տեսողություն: Աչք (Գ.Փոթիկյան).....	168
ԳԼՈՒԽ 7. ԱԽՏՈՐՈՇԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ ՈՐՈՇ ՍԱՐՔԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՍԿՋԲՈՒՆՔՆԵՐԸ (Յու. Բաբայան, Ք.Եղիազարյան, Ա.Թադևոսյան, Վ.Հովհաննիսյան)	
23. Ուլտրաձայնային ախտորոշման ֆիզիկական սկզբունքները և մեթոդները..	182
24. Ռենտգենագրություն.....	187
25. Լազերների կիրառությունը ժամանակակից բժշկության մեջ.....	189
26. Միջուկային մագնիսական ռեզոնանս.....	197
27. Բժշկական սարքավորումների հուսալիությունը .....	201

## **Օգտագործված գրականության ցանկ**

1. Антонов В.Ф. и др. ,Биофизика, М., 2006
2. Ремизов А.Н. и др. ,Медицинская и биологическая физика М., 2003
3. Рубин А.Б. ,Биофизика Т.1, М., 1999
4. Самойлов В.О. ,Медицинская биофизика, 2007
5. Сивухин Д.В. ,Общий курс физики Т. 2, 1990
6. Франк-Каменецкий ,Век ДНК М., 2004
7. Костюк П.Г. и др. ,Биофизика М. 1988
8. Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике. Том 1 //под ред. Митькова В.В. - М.: Видар, 1996
9. Նիլս Բոբ: Ատոմային ֆիզիկան և մարդկային իմացությունը: Երևան, Հայպետհրատ, 1963: