

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ  
ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ  
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ԾԱՐՏԱՐԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ  
(ՊՈԼԻՏԵԿՆԻԿ)**

*Էլեկտրատեխնիկական ֆակուլտետ  
Էլեկտրական մեքենաների և  
ապարատների ամբիոն*

**Ն Յ ՈՒ Թ Ա Գ Ի Տ ՈՒ Թ Յ ՈՒ Ն**

Ուսումնական ձեռնարկ

**ԵՐԵՎԱՆ  
ԾԱՐՏԱՐԱԳԻՏ  
2011**

ՀՏԴ 620.22 (075.8)  
ԳՄԴ 30.3 g 73  
Ն 820

Դրատարակվում է Հայաստանի պետական ճար-  
տարագիտական համալսարանի 20.12.2008թ.  
գիտական խորհրդի միստում հաստատված  
2009թ. հրատարակչական պլանի համաձայն

Կազմողներ՝ Ե.Խ.Մարտիկյան, Ե.Վ.Կուրողինյան, Մ.Ս.Թովմասյան  
Գրախոսներ՝

«ԱՐՆԻԻԿՊ» ՓԲԸ գլխավոր տնօրեն,  
տ.գ.դ.՝ Գ. Պ. Ղազանչյան,

ԷՄԱ ամբիոնի դոցենտ՝

Լ.Գ.Աթարելյան

Ն 820 Այսուհետություն: Ուսումնական ձեռնարկ/ Կազմ.՝ Ե.Խ.Մարտիկյան,  
Ե.Վ.Կուրողինյան, Մ.Ս.Թովմասյան; ՀՊՃ.- Եր.: ճարտարագետ,  
2011.- 156էջ:

«Այսուհետություն» առարկայի ուսումնական ձեռնարկը նախատեսված է՝  
Ելեկտրատեխնիկական, Էներգետիկայի, Ռատիոտեխնիկայի և կապի համակարգերի,  
Քոնֆյուրերային համակարգերի և ինֆորմատիկայի, Կիբեռնետիկայի ֆակուլտետների  
ուսանողների համար:

ՀՏԴ 620.22 (075.8)  
ԳՄԴ 30.3 g 73

ISBN 978-9939-55-662-8

© ճԱՐՏԱՐԱԳԵՏ, 2011  
© Մարտիկյան Ե.Խ., 2011  
© Կուրողինյան Ե.Վ., 2011  
© Թովմասյան Մ.Ս., 2011

## ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Նախաբան .....	5
Ներածություն .....	6
ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐ .....	
1 ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿԱԿԱՆ ԲԱՆԱԳՈՒՄ .....	9
1.1 Դիէլեկտիկը էլեկտրական դաշտում .....	9
1.2 Դիէլեկտրիկների բևեռացումը և դիէլեկտրիկական քափանցելիությունը .....	10
1.3 Բևեռացնան հիմնական տեսակները .....	14
1.4 Դիէլեկտրիկական քափանցելիության կախումը տարրեր գործոններից .....	21
2 ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿԱԿԱՆ ԷԼԵԿՏՐԱՎԱՐՈՐՈՏԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ .....	30
2.1 Յիմնական հասկացություններ .....	30
2.2 Գազերի էլեկտրահաղորդականությունը .....	33
2.3 Ջեղուկ դիէլեկտրիկների էլեկտրահաղորդականությունը .....	36
2.4 Պինդ դիէլեկտրիկների էլեկտրահաղորդականությունը .....	38
2.5 Կարծր դիէլեկտրիկների մակերևույթային էլեկտրահաղորդականությունը .....	41
3. ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿԱԿԱՆ ԿՈՐՈՒՍՆԵՐ .....	43
3.1 Յիմնական հասկացություններ .....	43
3.2 Դիէլեկտրիկական կորուստների տեսակները .....	46
3.3 Դիէլեկտրիկական կորուստների հզորության և կորուստներ անկյան տաճանքնի կախումը տարրեր գործոններից .....	52
4. ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿԱԿԱՆ ԾԱԿՈՒՄԸ .....	55
4.1 Դիէլեկտրիկների էլեկտրական ամրության որոշումը .....	55
4.2 Գազերի ծակում .....	56
4.3 Ջեղուկ դիէլեկտրիկների ծակումը .....	64
4.4 Կարծր դիէլեկտրիկների ծակումը .....	66
5 ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿԱԿԱՆ ԶԵՐԱՎՅԻՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ .....	71
6 ԷԼԵԿՏՐԱՄԵԿՈՒՄԸ ՆՅՈՒԹԵՐ .....	74
6.1 Գազային դիէլեկտրիկներ .....	74
6.2 Ջեղուկ դիէլեկտրիկներ .....	75

6.3	Խեժեր.....	78
6.4	Կերամիկական նյութեր .....	82
6.5	Փայլարդ և նյութեր նրա հիման վրա .....	84
6.6	Շերտավոր պլաստիկատներ.....	85
6.7	Լաքագործվածքներ .....	86
6.8	Թղթե դիէլեկտրիկներ .....	86
7	ԱԿՏԻՎ ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿՆԵՐ .....	88
7.1	Սեգմետուլեկտրիկներ .....	88
7.2	Պիեզոէլեկտրիկներ .....	93
7.3	Պիրոէլեկտրիկներ .....	96
7.4	Քվանտային էլեկտրոնիկայի նյութեր .....	97
	ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐ.....	101
8.	Ընդհանուր տեղեկություններ մագնիսացման տեսության մասին .....	101
8.1	Ուզերֆորդի և Բորի ատոմի մոդելները .....	101
8.2	Նյութերի մագնիսական վիճակների տեսակները.....	105
8.3	Ընդհանուր տեղեկություն ֆերոմագնիսականության մասին .....	108
8.4	Մագնիսացման կորերը .....	112
8.5	Դիստերեզիսի օղակ .....	117
8.6	Կորուստները մագնիսական նյութերում .....	119
8.7	Ցածր հաճախության մագնիսափափուկ նյութեր .....	120
8.8	Բարձր հաճախության մագնիսափափուկ նյութեր .....	123
8.9	Մագնիսակոշտ նյութեր .....	125
	ԴԱՐՈՂԻՉՆԵՐ .....	128
9.1	Դաղորդիչների տեսակները .....	128
9.2	Դաղորդիչների հիմնական հատկությունները .....	129
9.3	Բարձր հաղորդման նյութեր .....	136
9.4	Դժվարահալ մետաղներ .....	139
9.5	Բարձր դիմադրության հաճախալույթներ .....	141
9.6	Գերհաղորդիչներ և կրիոհաղորդիչներ .....	142
	ԿԻՍԱՐԱՐՈՂԻՉ ՆՅՈՒԹԵՐ .....	146
10.1	Ընդհանուր տեղեկություններ կիսահաղորդիչ նյութերի վերաբերյալ .....	146
	ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ .....	154

## ՆԱԽԱԲԱՆ

Նոր տեխնոլոգիաները և ավելի խստացված պահանջները էլեկտրատեխնիկական, ռադիոտեխնիկական, էլեկտրոնային և այլ սարքավորումների նկատմանք, թելադրում են օգտագործվող նյութերի ինչպես որակի, այնպես էլ հատկությունների բարելավում և նոր նյութերի ստեղծում:

«Նյութագիտություն» ուսումնական ձեռնարկն ընդգրկում է օգտագործվող նյութերի մեծ խումբ, որտեղ տեղ են գտել դիէլեկտրիկները, կիսահաղորդիչները, հաղորդիչները, գեր հաղորդիչները և հիպերհաղորդիչները, մագնիսական նյութերը, ակտիվ դիէլեկտրիկները: Չեռնարկում համառոտ բերված են նյութերի էլեկտրաֆիզիկական հատկությունները, դրանց կախվածությունը էլեկտրամագնիսական դաշտից, ջերմաստիճանից և այլ գործոններից, նյութերի նկարագրությունը և ստացման տեխնոլոգիան:

«Նյութագիտություն» ուսումնական ձեռնարկը նախատեսված է ՀՊԵԴ էլեկտրատեխնիկական, էներգետիկայի, ռադիոտեխնիկայի և կապի համակարգերի, քոմիջութերային համակարգերի և ինֆորմատիկայի, կիբեռնետիկայի ֆակուլտետների ուսանողների համար:

## ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Ելեկտրառադիոնյութերը անհրաժեշտ են լարեր, կարելներ, ալիքատարներ, անտենաներ, մեկուսիչներ, կոնդեսատորներ, մեկուսիչներ, ռեզիստորներ, ինդուկտիվության կոնդեր, տրանսֆորմատորներ, էլեկտրաշարժիչներ և գեներատորներ, դիոդներ, տրանզիստորներ, էլեկտրոնային լամպեր, էլեկտրամեխանիկական փոխակերպիչներ, լազերներ և մագերներ, լուսի ընդունիչներ պատրաստելու համար: Դրանց հատկություններից կախված է սարքի էլեկտրական սխեմայի աշխատանքը՝ գեներացումը, հաղորդումը, ուղղումը, էլեկտրական հոսանքի ուժեղացումն ու մոդուլացումը, էլեկտրական մեկուսացման ստեղծումը և այլն:

Ելեկտրական դաշտի նկատմամբ նյութի հիմնական հատկությունը էլեկտրահաղորդականությունն է, այսինքն՝ հաստատուն (չփոփոխվող ժամանակից) էլեկտրական լարման ազդեցության տակ էլեկտրական հոսանք հաղորդելու ընդունակությունը: Եթե նյութը գտնվում է Ե լարվածությամբ էլեկտրական դաշտում, ապա նյութում եղած ազատ լիցքավորված մասնիկները՝ լիցքակիրները,  $F=qE$ , (որտեղ  $q$ -ն նաև նաև լիցքն է) ուժի ազդեցության տակ ձեռք են բերում արագացում  $E$  վեկտորի ուղղությամբ(զ դրական լիցք ունեցող լիցքակիրների համար) կամ (զ բացասական լիցքով կրիչների համար): Այս ձևով տարածության մեջ առաջացող էլեկտրական լիցքերի կարգավորված (ի տարբերություն շերմային քառայինի) շարժումը հենց էլեկտրական հոսանքն է նյութում:

Այս դեպքում, եթե նյութում գոյություն ունեն միայն մեկ տեսակի ազատ լիցքակիրներ, հոսանքի խտությունը  $J$ -ն, այսինքն՝ այն էլեկտրական լիցքը, որը տեղափոխվում է միավոր ժամանակում միավոր մակերեսով, ուղղահայաց է  $E$ -ին,

$$\mathbf{J} = q\mathbf{Nv}_t , \quad (\text{Ա.1})$$

որտեղ  $N$ -ը նյութում ազատ լիցքակիրների քանակն է միավոր ծավալում (կրիչների կոնցենտրացիան) մ<sup>-3</sup>,  $v_t$  -ն կրիչների կարգավորված շարժման միջին արագությունն է, որն առաջացել է էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ: Սովորաբար  $N_t$  արագությունը համեմատական է  $E$  լարվածությանը

$$\mathbf{v}_t = \mu \mathbf{E} , \quad (1.2)$$

որտեղ  $\mu$ -ը համեմատականության գործակիցն է,  $\sigma^2/(\rho \square \psi_t)$ , որը կոչվում է *լիցքակիրմերի շարժունակություն*:

Յաշվի առնելով (1.2)-ը (1.1) հավասարումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ՝

$$\mathbf{J} = \gamma \mathbf{E} = \frac{\mathbf{E}}{\rho} , \quad (1.3)$$

որտեղ  $\gamma = qN\mu$  տեսակարար էլեկտրական հաղորդականությունն է,  $U/m$ ,  $\square = 1/\gamma$  տեսակարար էլեկտրական դիմադրությունն է,  $O\mu\cdot m$ :

Տեսակարար հաղորդականությունը և տեսակարար դիմադրությունը որոշում են նյութում հոսանքի խտությունը տրված էլեկտրական դաշտի լարվածության դեպքում, այսինքն՝ քանակապես բնութագրում են էլեկտրահաղորդականության երևույթը:

յ և  $\square$  պարամետրերը որոշում են նյութում էլեկտրական էներգիայի ցրումը: Յամաձայն Զոռվլ-Լենցի օրենքի դիֆերենցիալ ձևի,  $E$  լարվածությանը էլեկտրական դաշտի էներգիան (Վտ/ $m^3$ ), միավոր ժամանակում և նյութի միավոր ծավալում վերափոխվում է ջերմության,

$$\rho = \gamma E^2 = \frac{E^2}{\rho} : \quad (1.4)$$

Տարբեր էլեկտրառադիոնյութերի  $\gamma$ -ի և  $\square$ -ի արժեքները խիստ տարբեր են: Գերհաղորդման վիճակում նյութերի տեսակարար դիմադրությունը գործնականում հավասար է զրոյի, իսկ նույն գագերում ձգտում է անվերջության: Եթե դիտարկումը սահմանափակվի նույնիսկ միայն պինդ մարմիններով, որոնք գտնվում են նորմալ պայմաններում, ապա  $\square$ -ի արժեքները ընդգրկում են  $25$  կարգ՝  $\approx 10^{-8}$   $O\mu\square m$ -ից լավագույն մետաղական հաղորդիչների համար (պղինձ, արծաթ, այումին) մինչև  $\approx 10^{17}$   $O\mu\square m$  լավագույն դիէլեկտրիկների համար (որոշ պոլիմերներ):

Դիէլեկտրիկները բարձր տեսակարար դիմադրությամբ նյու-

թեր են և օգտագործվում են, հատկապես, որպես էլեկտրամեկուսիչ նյութեր: Այս դեպքում դրանք նախատեսվում են արգելելու հասանքի անցնանը տվյալ սարքի աշխատանքի համար անցանկալի ուղիներով: Կոնդեսատորներում դիէլեկտրիկ նյութերը ծառայում են՝ տրված ունակությունը ստեղծելու համար:

Ակտիվ դիէլեկտրիկները տարբերվում են սովորական դիէլեկտրիկներից (էլեկտրամեկուսիչ նյութերից) նրանով, որ էլեկտրական սխեմայի աշխատանքին ակտիվ մասնակցություն են ունենում, համապատասխան մասերում ծառայում են գեներացման՝ ուժեղացման, մոդուլացման, էլեկտրական ազդանշանների կերպափոխման համար: Ակտիվ դիէլեկտրիկներին պատկանում են լազերների ու մազերների համար նյութերը, սեգմետո-, պիեզո- և պիերուլեկտրիները, էլեկտրաօպտիկական ու ոչ գծային օպտիկական նյութերը, էլեկտրենոները և այլն: Մագնիսական նյութերը, ի տարբերություն ոչ մագնիսայինների (որոնք գործնականորեն մագնիսացվածություն ձեռք չեն բերում մագնիսական դաշտում տեղավորելիս), օժտված են մագնիսանալու ընդունակությամբ, իսկ որոշ մասը պահպանում է իր մագնիսացվածությունը նաև մագնիսական դաշտը վերացնելուց հետո: Մագնիսական նյութերից պատրաստում են ինդուկտիվության կոճերի և տրանսֆորմատորի միջուկներ, մագնիսական հիշող համասարքեր, հաստատում մագնիսներ և այլն:

Դաղորդիչ նյութերը ծառայում են՝ էլեկտրական հոսանքն անցկացնելու համար: Դրանք, որպես կանոն, օժտված են շատ փոքր կամ տրված տեսակարար դիմադրությամբ: Դրանց պատկանում են մի կողմից՝ գերհաղորդիչ և կրիոհաղորդիչ նյութերը, որոնց □-ն ցածր ջերմաստիճանում անչափ փոքր է, իսկ մյուս կողմից՝ մեծ դիմադրության նյութերը, որոնք օգտագործվում են ռեզիստորներ և էլեկտրատաքացման տարրեր պատրաստելու համար:

Կրիոհաղորդիչ նյութերը տեխնիկայում օգտագործում են այն դեպքերում, երբ անհրաժեշտ է լարման, ջերմաստիճանի, լուսավորվածության և այլ գործոններով դեկավարել հաղորդականությունը: Այդ նյութերից պատրաստում են դիոդներ, տրանզիստորներ,

թերմիստորներ, ֆոտոռեզիստորներ և այլ կիսահաղորդչային սարքեր:

## ԱՌԱՋԻՆ ՄԱՍ

### ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐ

#### 1. ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿԱԿԱՆ ԲԱԵՌԱՑՈՒՄ

##### 1.1. Դիէլեկտրիկը էլեկտրական դաշտում

Էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ դիէլեկտրիկում տեղի ունեցող կարևորագույն պրոցեսներից է բևեռացումը: Այս առաջական կապված լիցքերի սահմանափակ շեղումն է կամ դիպոլային մոլեկուլների կողմնորոշումը էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ: Դիէլեկտրիկում բևեռացման պրոցեսը բնութագրվում է հարաբերական դիէլեկտրիկական թափանցելիությամբ՝ ε և դիէլեկտրիկական կորուստների անկյան տաճանապահությամբ՝ tgδ :

Բոլոր տեխնիկական դիէլեկտրիկներում գոյություն ունեն որոշ քանակով ազատ լիցքեր, և էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ տեղի է ունենում այդ լիցքերի շարժումը դաշտի ուղղությամբ: Դիէլեկտրիկում առաջանում են շատ փոքր մեծությամբ հոսանքներ, որոնք կոչվում են անցողիկ կամ միջանցիկ հոսանքներ (i<sub>0</sub>), և անցնում են դիէլեկտրիկի ծավալով և մակերևույթով: Այս երևույթը դիէլեկտրիկում բնութագրվում է տեսակարար ծավալային դիմադրությամբ՝ ρ<sub>0</sub> (Օհմ□մ) և տեսակարար մակերևութային դիմադրությամբ՝ ρ<sub>s</sub> (Օհմ):

Դիէլեկտրիկները կարող են օգտագործվել լարման որոշակի արժեքների ժամանակ, որից բարձրի դեպքում տեղի է ունենում դիէլեկտրիկի ծակում, այսինքն՝ դիէլեկտրիկը կորցնում է իր էլեկտրամեկուսչային հատկությունները: Դիէլեկտրիկների այս երևույթը բնութագրվում է էլեկտրական ամրության մեծությամբ՝ E<sub>0</sub> (Վ/մ), որը ցույց է տալիս նյութի առանց քայլայման, աշխատելու ունակությունը կիրառված լարման տակ:

$$E_{\delta} = \frac{U_{\delta}}{h},$$

որտեղ  $U_{\delta}$ -ն դիէլեկտրիկի ծակման լարումն է (ՄՎ),

$h$  – ը՝ դիէլեկտրիկի հաստությունը (մ),

Գրականության մեջ հանդիպում է նաև Միջազգային համակարգին չհամապատասխանող տեսք՝ կՎ/մմ: 1 ՄՎ/մ = 1կՎ/մմ:

## **1.2. Դիէլեկտրիկների բևեռացումը և դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը**

Ելեկտրական դաշտի ազդեցության տակ դիէլեկտրիկում ընթանում են բևեռացման պրոցեսներ:

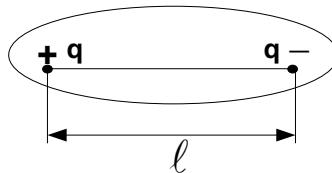
Ելեկտրական դաշտը հանելուց հետո, շեղված լիցքերը ձգտում են վերադառնալ իրենց նախնական վիճակին: Բևեռային դիէլեկտրիկում էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ տեղի է ունենում դիպոլային մոլեկուլների կողմնորոշում դաշտի ուղղությամբ: Ելեկտրական դաշտը հանելուց հետո մոլեկուլների ջերմային շարժման հետևանքով տեղի է ունենում դիպոլների անկանոն վերադասավորում:

Ըստ բևեռացման, դիէլեկտրիկները բաժանվում են երկու խմբի՝ բևեռային, որոնք ունեն մշտական գործող դիպոլային մոմենտ և ոչ բևեռային, որտեղ դիպոլային մոմենտները բացակայում են:

Եթե որևէ մոլեկուլում բոլոր դրական լիցքերը փոխարինենք մեկ գումարային դրական կետային լիցքով, և այն տեղադրվի դրական լիցքերի ծանրության կենտրոնում, կատարելով նույնապիսի գումարում և տեղադրում բացասական լիցքերի հետ, ապա այդ գումարային կետային լիցքերը տարածության մեջ կարող են իրար հետ չհանդիպնել կամ համընկնել: Եթե լիցքերի ծանրության կենտրոնները համընկնում են, դիէլեկտրիկը կոչվում է ոչ բևեռա-

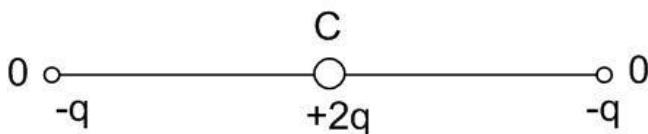
յին, հակառակ դեպքում՝ բևեռային մշտական գործող հաստատուն էլեկտրական մոմենտով՝

$$M = q \cdot \ell :$$

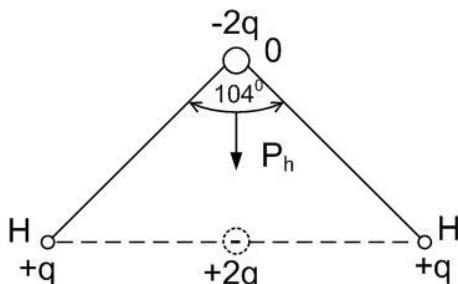


Օրինակ՝

Ածխածնի երկօքսիդ՝  $\text{CO}_2$  - ոչ բևեռային



Զուր՝  $\text{H}_2\text{O}$  - բևեռային



Դիէլեկտրիկի բևեռացման ժամանակ, եթե այն տեղադրված է երկու շրջադիրների միջև, դրական լիցքերը կուտակվում են բացասական C վրա և հակառակը: Այս դեպքում մենք ունենք հարթ կոնդենսատոր: Դիէլեկտրիկում առաջանում է  $E_0$  ներքին դաշտ, որն ուղղված է արտաքին  $E_{\text{արտ}}$  դաշտին հակառակ, այսինքն՝ ցանկացած դիէլեկտրիկ էլեկտրական դաշտում կարելի է պատկերացնել որպես հարթ կոնդենսատոր (նկ.1.1):

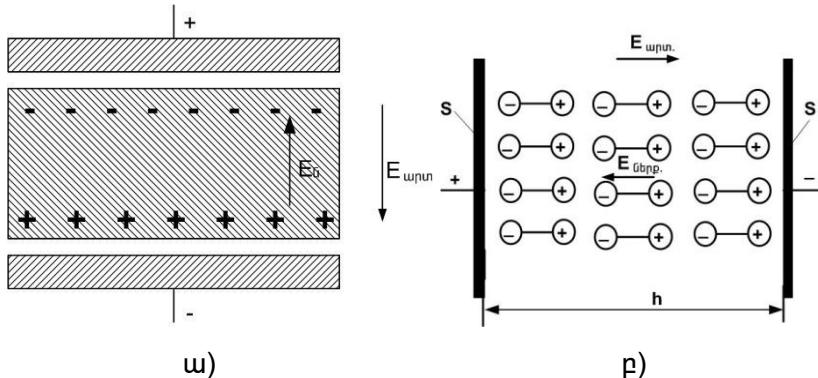
Այդպիսի կոնդենսատորի թիթեղների վրա կուտակված լիցքերի քանակը՝

$$Q = C \cdot U , \quad (1.1)$$

որտեղ  $U$  - ն շրջադիրների կիրառված լարումն է, (Վ)

$C$  - ն ունակությունն է, (Փ)

$Q$  - ն լիցքերի քանակն է շրջադիրների վրա, (Կ):



(ա)

(բ)

Նկ. 1.1. Դիէլեկտրիկում լիցքերի դասավորությունը էլեկտրական լարման ազդեցության տակ.

(ա) ոչ բևեռային, (բ) բևեռային դիէլեկտրիկում:

$$Q = Q_0 + Q_n , \quad (1.2)$$

որտեղ  $Q_0$ -ն լիցքերի քանակն է շրջադիրների վրա, երբ դրանց միջև վակուում է:

$Q_n$ -ն լիցքերի քանակն է շրջադիրների վրա՝ պայմանավորված դիէլեկտրիկի բևեռացումով,

Հարաբերական դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը՝  $\epsilon$  -ը, դիէլեկտրիկի կարևորագույն բնութագրերից է: Այն ցույց է տալիս, թե դիէլեկտրիկի առկայության դեպքում քանի անգամ է մեծանում կուտակված լիցքերի քանակը կոնդենսատորի շրջադիրների վրա

համեմատ այն լիցքերի քանակի, երբ շրջադիրների միջև վակուում է բոլոր հավասար պայմանների դեպքում (կիրառված լարում, շրջադիրների միջև եղած հեռավորություն, շրջադիրների մակերես և այլ):

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_0} = \frac{C}{C_0}$$

կամ (1.3)

$$\varepsilon = \frac{(Q_0 + Q_n)}{Q_0} = 1 + \frac{Q_n}{Q_0},$$

որտեղ  $C_0$ -ն կոնդենսատորի ունակությունն է վակուումի դեպքում,

$C$ -ն կոնդենսատորի ունակությունն է դիէլեկտրիկի առկայության դեպքում:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon_0},$$

որտեղ  $\varepsilon$ -ը հարաբերական դիէլեկտրիկական թափանցելիությունն է,

$\varepsilon'$ -ը բացարձակ դիէլեկտրիկական թափանցելիությունն է ( $\varepsilon > 1$ ),

$\varepsilon_0$ -ն նյութի էլեկտրական հաստատումն է

$$(\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ ф/м}):$$

Ինչպես երևում է (1.3) արտահայտությունից, դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը 1-ից մեծ է ( $\varepsilon > 1$ ), իսկ 1-ի հավասար է վակուումի դեպքում ( $\varepsilon = 1$ ):

### 1.3. Բևեռացման հիմնական տեսակները

Ինչպես նշված էր, դիելեկտրիկները բաժանվում են երկու խմբի՝

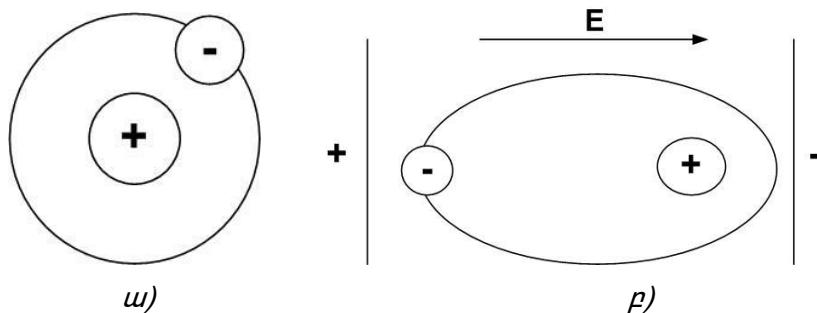
- **բևեռային,** որոնք ունեն մշտական գործող դիպոլային մոմենտներ,  $\varepsilon > 3$ ,
- **ոչ բևեռային,** որոնք դիպոլային մոմենտներ չունեն,  $\varepsilon \approx 2 \div 2.5$ ,

Ելեկտրական դաշտի ազդեցության տակ դիելեկտրիկում դիտվում է բևեռացման երկու հիմնական տեսակ՝

1. **ակնթարթային,** որը կատարվում է առանց դիելեկտրիկական կորուստների: Այն կարող է լինել
  - ա) էլեկտրոնային,
  - բ) իոնային
2. **դարադարական** կամ **ռելաքսային**, որը կատարվում է զգակի դիելեկտրիկական կորուստներով և կարող է լինել
  - ա) դիպոլառելաքսային,
  - բ) իոնառելաքսային,
  - գ) էլեկտրոնառելաքսային,
  - դ) տարաշարժային (միգրացիոն) կամ միջշերտային,
  - ե) ինքնակամ (սպոնտան):

#### ա) Էլեկտրոնային բևեռացում:

Այն դրականորեն լիցքավորված միջուկի նկատմամբ էլեկտրոնների ուղեծրի առաձգական շեղումն է և դեֆորմացիան, որը հաստատվում է  $10^{-14} \dots 10^{-15}$  վայրկյանում (նկ.1.2): Էլեկտրոնային բևեռացումը դիտվում է բոլոր դիելեկտրիկներում առանց էներգիայի կորուստների:



Նկ.1.2. Էլեկտրոնային թևեռացում

ա) Էլեկտրական դաշտը բացակայում է, բ) Էլեկտրական դաշտն առկա է:

Մաքրուր էլեկտրոնային թևեռացման դեպքում թափանցիկ դիէլեկտրիկների դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը՝  $\varepsilon \approx n^2$ , որտեղ  $n$ -ը լույսի բեկման ցուցիչն է՝

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\mu \varepsilon},$$

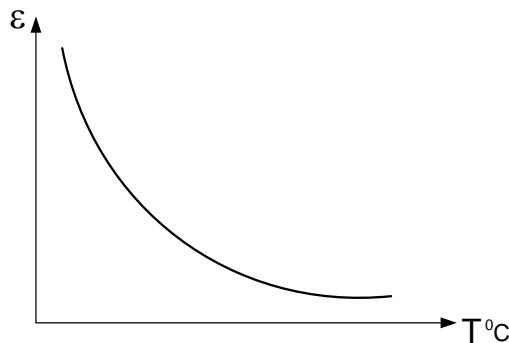
$$\mu \approx 1, \quad \varepsilon \approx n^2,$$

որտեղ  $c$  – ն լույսի արագությունն է վակուումում,

$v$  – ն՝ էլեկտրամագնիսական ալիքի արագությունը,

$\mu$  -ն՝ հարաբերական մագնիսական թափանցելիությունը:

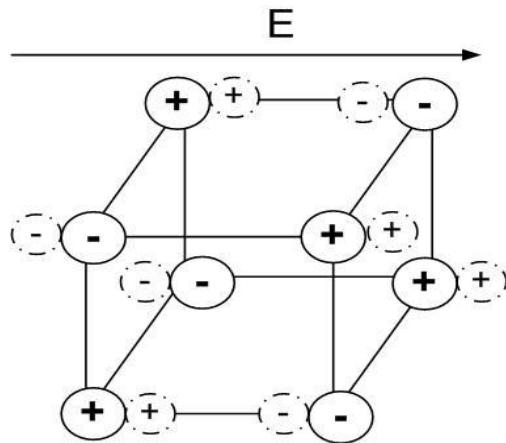
Զերմաստիճանի բարձրացումից տեղի է ունենում դիէլեկտրիկի զերմային ընդհարծակում, միավոր ծավալում մոլեկուլների քանակը, հետևաբար և թևեռացման աստիճանը նվազում են, և  $\varepsilon$ -ը փոփրանում է (նկ.1.3):



Նկ. 1.3.  $\varepsilon - \text{ի}$  կախումը ջերմաստիճանից միայն էլեկտրոնային բևեռացման ժամանակ

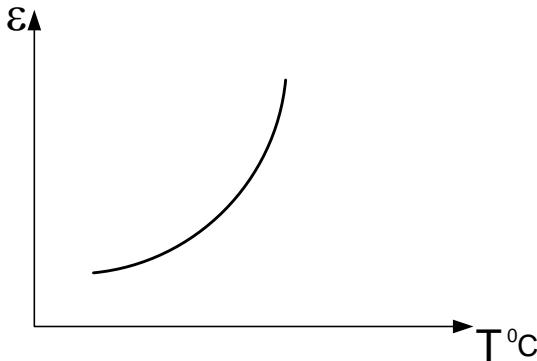
**բ) Իոնային բևեռացում:**

Այն տեղի է ունենում իոնային կառուցվածքով կարծր դիէլեկտրիկում և տարանում լիցքերով իոնների՝ իրար նկատմամբ առաձգական շեղումն է (Նկ.1.4): Բևեռացումը կատարվում է  $10^{-12}...10^{-13}$  վայրկյանում, առանց կորուստների:



Նկ. 1.4. Իոնային բևեռացում

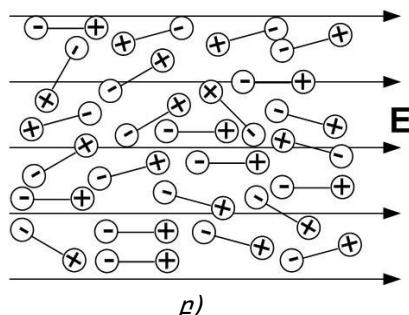
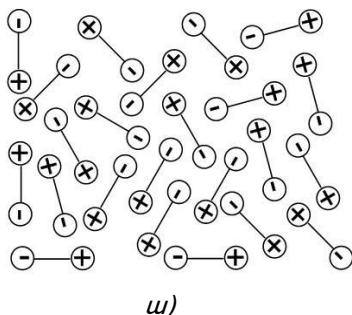
Զերմաստիճանի բարձրացումից հոնների միջև առաձգական կապերը թուլանում են, բնեռացման աստիճանը աճում է,  $\varepsilon$ -ի արժեքը մեծանում է (նկ.1.5):



Նկ. 1.5.  $\varepsilon$ -ի կախումը ջերմաստիճանից հոնային բնեռացման ժամանակ

**գ) Դիպոլառելաքսային բնեռացում:**

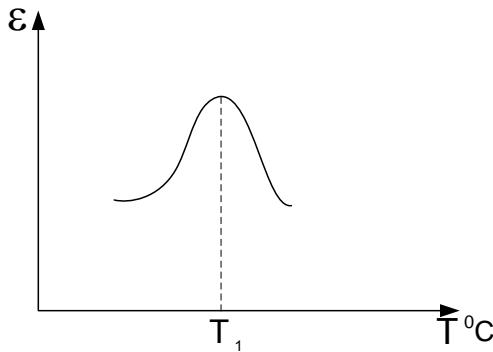
Այս բնեռացումը բնորոշ է բնեռային դիպոլեկտրիկներին, այն դիպոլային մոլեկուլների շեղումն է էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ և պայմանավորված է կապված մոլեկուլների ջերմային շարժման հետ (նկ.1.6):



Նկ. 1.6. Դիպոլների կողմնորոշումը էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ.

ա) Էլեկտրական դաշտի բացակայության դեպքում, բ) Էլեկտրական դաշտի առկայության դեպքում:

Ելեկտրական դաշտի բացակայության դեպքում դիպոլները չերմային շարժման մեջ են: Ելեկտրական դաշտ կիրառելիս բոլոր դիպոլները շեղվում են դաշտի ուղղությամբ, առաջացնելով բևեռացման մեջ էֆեկտ: Ձերմաստիճանի բարձրացումից միջնոլեկուլային կապերը բուլանում են, դիպոլները սկսում են ավելի հեշտ կողմնորոշվել դաշտի ուղղությամբ, բևեռացման աստիճանն աճում է, ε-ը մեծանում է՝ հասնելով առավելագույն արժեքի: Սակայն ջերմաստիճանի հետագա աճի դեպքում մոլեկուլների ջերմային շարժումը մեծանում է և խոչընդոտում բևեռացմանը, բևեռացման աստիճանը նվազում է, համապատասխանաբար փոքրանում է նրանց կողմնորոշումը դաշտի ուղղությամբ,  $\varepsilon$ -ը փոքրանում է (նկ.1.7):



Նկ.1.7.  $\varepsilon$ -ի կախումը ջերմաստիճանից դիպոլառելաքսային բևեռացման ժամանակ

Դիպոլների կողմնորոշումը դաշտի ուղղությամբ պահանջում է հաղթահարել որոշակի դիմադրություն՝ պայմանավորված դիպոլների միջև գործող շվման ուժերով, այդ պատճառով դիպոլառելաքսային բևեռացումն ընթանում է էներգիայի կորուստներով:

Բարձր հաճախության դեպքում դիպոլները չեն հասցնում հետևել դաշտի փոփոխմանը, և  $\varepsilon$ -ը նվազում է: Այն ժամանակահատվածը, որի ընթացքում բևեռացված դիպոլների քանակը դաշտը հեռացնելուց հետո նվազում է  $e$  ( $e = 2,73$ ) անգամ,

կոչվում է *ռելաքսացիայի ժամանակ՝*  $\tau_0$ : Դիպոլառելաքսային բևեռացումը կատարվում է  $10^{-6}...10^{-10}$  վրկ.:

#### **դ) Իոնառելաքսային բևեռացում:**

Դիտվում է անօրգանական ապակիների և բևեռային կառուցվածք ունեցող որոշ նյութերի մոտ որոնք ունեն իոնների ոչ խիտ դասավորություն: Թույլ կապված իոնները ջերմային շարժման ժամանակ ձեռք են բերում լրացուցիչ շարժում դաշտի ուղղությամբ: Դաշտը հանելուց հետո բևեռացումը նվազում է էքսպոնենտի օրենքով, սակայն ջերմաստիճանի բարձրացումից բևեռացման ինտենսիվությունը մեծանում է:

#### **Ե) Էլեկտրոնառելաքսային բևեռացում:**

Այս բևեռացումն առաջանում է հավելյալ էլեկտրոնների և խորոշների ջերմային շարժման արդյունքում: Էլեկտրոնառելաքսային բևեռացումը հատուկ է բարձր բեկման գործակից և էլեկտրոնային հաղորդականություն ունեցող դիէլեկտրիկներին (տիտանի երկօքսիդի  $TiO_2$ , միորինմի  $Nb^{+5}$ , կալցիումի  $Ca^{+2}$ , բարիումի  $Ba^{+2}$  իոնների խառնուրդներով): Այս բևեռացման ժամանակ նկատվում է  $\varepsilon$ -ի բարձր արժեք և ջերմաստիճանից կախված  $\varepsilon$ -ի առավելագույն արժեք: Հաճախությունից կախված  $\varepsilon$ -ը նվազում է:

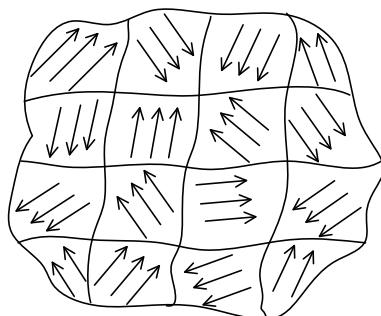
#### **գ) Տարաշարժային (միգրացիոն) կամ միջշերտային բևեռացում:**

Այս բևեռացումը լրացուցիչ բևեռացման տեսակ է, որը կատարվում է անհամասեռ կառուցվածքով կարծր դիէլեկտրիկներում, որոնց մեջ գոյություն ունեն հաղորդչային կամ կիսահաղորդչային ներամուծվածքներ: Բևեռացումը կատարվում է հաստատում լարման կամ ցածր հաճախության փոփոխական լարման ժամանակ և ընթանում է էներգիայի զգալի կորուստներով: Էլեկտրական դաշտ կիրառելիս հաղորդչային կամ կիսահաղորդչային ներամուծվածքներում տեղի են ունենում ազատ լիցքերի տեղաշարժ դեպի այս ներամուծվածքի սահմանը, և բաժանման սահմանում առաջանում է ազատ լիցքերի տեղային կուտակում (տեղային բևեռացում):

Այդպիսի բևեռացումը կոչվում է տարաշարժային (միգրացիոն): Շերտավոր դիէլեկտրիկներում տեղի է ունենում շերտերի սահմանին դանդաղ շարժվող տարրեր նշանի լիցքերի կուտակում, այդպիսի բևեռացումը կոչվում է միջշերտային բևեռացում:

**թ) Ինքնակամ (սպոնտան) բևեռացում:** Այն դիտվում է բյուրեղային կառուցվածքով կարծր դիէլեկտրիկներում, որոնց մեջ կան դոմեններ (մակրոսկոպիկ տիրույթներ):

Դոմենում էլեկտրական մոմենտները ուղղված են միմյանց զուգահեռ, սակայն յուրաքանչյուր դոմեն ունի դաշտի իր արդյունարար ուղղվածությունը: Էլեկտրական դաշտի բացակայության ժամանակ նյութի գումարային մոմենտը հավասար է զրոյի  $\sum M = 0$  (Ակ.1.8):

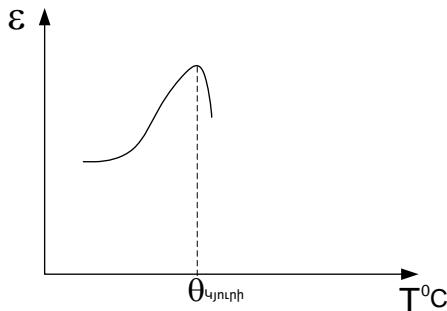


Ակ.1.8. Պինդ դիէլեկտրիկների դոմենային կառուցվածքը

Էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ դոմենների մոմենտները շեղվում են դաշտի ուղղությամբ՝ առաջացնելով ուժգին բևեռացում: Այսպիսի դիէլեկտրիկներում դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը՝  $\epsilon = 1000...10000$  է:

Ինքնակամ բևեռացումը բնութագրվում է բևեռացման հագեցումով, այսինքն էլեկտրական դաշտի լարվածության որոշակի արժեքի դեպքում, բևեռացուման աստիճանը չի աճում: Ինքնակամ բևեռացումը կախված է ջերմաստիճանից և ունի առավելագույն արժեք: Այսինքն՝ ջերմաստիճանի որոշակի արժեքների դեպ-

քում ( $\theta_{\text{կյուրի}}$ ), տեղի է ունենում նյութի դոմենային կառուցվածքի ջերմային քայլայում, բևեռացումը վերանում է, այդ ջերմաստիճանը կոչվում է Կյուրիի ջերմաստիճան կամ Կյուրիի կետ՝  $\theta_{\text{կյուրի}}$  (Նկ.1.9):



Նկ.1.9.  $\varepsilon$  – ի կախումը ջերմաստիճանից ինքնակամ բևեռացման ժամանակ

#### 1.4. Դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը տարրեր գործոններից

ա) դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը ջերմաստիճանից և ճնշումից:

ε-ի կախումը ջերմաստիճանից բնութագրվում է դիէլեկտրիկական թափանցելիության ջերմաստիճանային գործակցով՝

$$TKe = a_e = \frac{1}{e} \times \frac{de}{dT} \quad (\text{Կ}^{-1}), \quad (1.4)$$

որտեղ  $T$ -ն բացարձակ ջերմաստիճանն է, որը ցույց է տալիս  $\varepsilon$ -ի հարաբերական փոփոխությունը, երբ ջերմաստիճանը բարձրանում է մեկ աստիճանով:

Ոչ բևեռային դիէլեկտրիկներում ջերմաստիճանը բևեռացման արդյունքում վրա անմիջականորեն չի ազդում: Մոլեկուլների էլեկտրոնային բևեռացվածությունը ջերմաստիճանից կախված չէ, սակայն ջերմաստիճանը բարձրացնելիս նյութի ջերմային ընդարձակման

պատճառով բևեռացվող մոլեկուլների քանակը միավոր ծավալում փոքրանում է, հետևաբար  $\text{TK}\varepsilon$ -ը բացասական է: Ոչ բևեռային գազերի համար  $\text{TK}\varepsilon$ -ը որոշվում է հետևյալ բանաձևով

$$\text{TK}\varepsilon = -\frac{\varepsilon - 1}{T} \quad (\text{Կ}^{-1}) \quad (1.5)$$

Օդի համար  $T=20^{\circ}\text{C}$  – ի դեպքում՝

$$\text{TK}\varepsilon = -\frac{1,00058 - 1}{293} = -2 \cdot 10^{-6} \quad (\text{Կ}^{-1}) \quad (1.6)$$

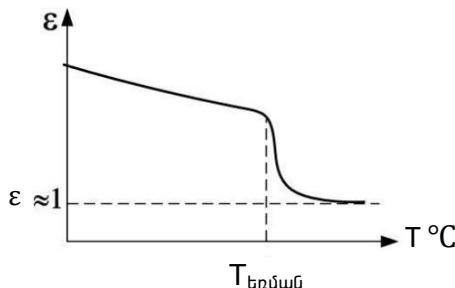
ճնշումից կախված՝

$$\Delta K\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{d\varepsilon}{dP} \quad (\text{Պա}^{-1}) \quad (1.7)$$

$\Delta K\varepsilon$  -ն դիէլեկտրիկական թափանցելիության ճնշման գործակիցն է, ցույց է տալիս  $\varepsilon$ -ի հարաբերական փոփոխությունը ճնշումը մեկ միավորով բարձրացնան դեպքում:

Դիէլեկտրիկների վրա ազդող ճնշումը մեծացնելիս նյութի խտությունը՝ հետևաբար մասնիկների քանակը նյութի միավոր ծավալուն աճում է, և –ի արժեքը մեծանում է:

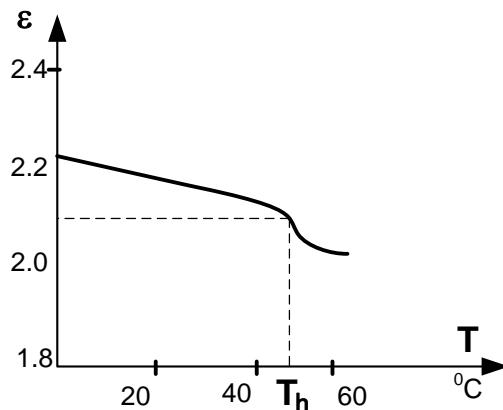
▪ Ոչ բևեռային հեղուկ դիէլեկտրիկների համար դիէլեկտրիկական թափանցելիության՝  $\varepsilon$ -ի կախումը ջերմաստիճանից ունի հետևյալ տեսքը (նկ.1.10):



Նկ. 1.10. Ոչ բևեռային հեղուկ դիէլեկտրիկների դիէլեկտրիկական թափանցելիության՝  $\varepsilon$ -ի կախումը ջերմաստիճանից

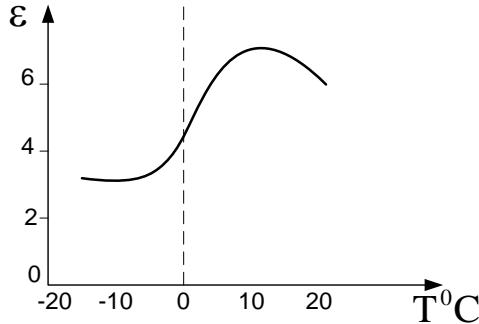
ε-ը կախված ջերմաստիճանից նվազում է, քանի որ ջերմային ընդարձակման ժամանակ մոլեկուլների քանակը միավոր ծավալում փոքրանում է: Եռանան ջերմաստիճանում  $T_{\text{եռան}}$  հեղուկը անցնում է գազային վիճակի, ε-ի արժեքը կտրուկ փոքրանում է:

- Ոչ բևեռային պինդ դիէլեկտրիկուների համար դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը ջերմաստիճանից փոփոխվում է նույն օրինաչափությամբ, ինչպես ոչ բևեռային հեղուկներինը: ε-ի կտրուկ փոքրացումը պարագինի համար բացատրվում է ֆազային անցումով պինդ մարմնից հեղուկի, որը պայմանավորված է ծավալի և խտության թոփչային փոփոխությամբ (նկ.1.11):



Նկ.1.11. Ոչ բևեռային պինդ դիէլեկտրիկուների դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը ջերմաստիճանից պարագինի համար

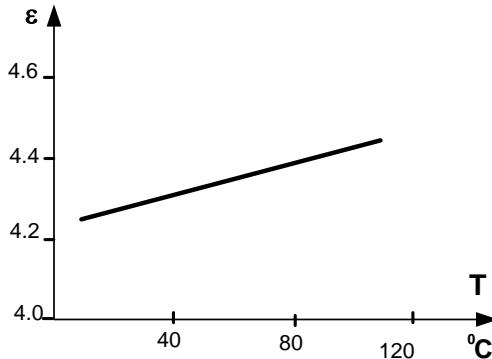
- Բևեռային դիէլեկտրիկուներում դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը ջերմաստիճանից ավելի բարդ տեսք ունի, քանի որ, դրանց մոտ դիտվում են ռելաքսային բևեռացումներ: Օրինակ՝ հեղուկ բևեռային դիէլեկտրիկ սովոլի ( $C_{12}H_5Cl_5$ ) համար ε-ի կախումը ջերմաստիճանից, ունի հետևյալ տեսքը (նկ. 1.12):



**Ակ. 1.12.**  $\varepsilon$ -ի կախումը ջերմաստիճանից բևեռային դիէլեկտրիկ սովորի համար

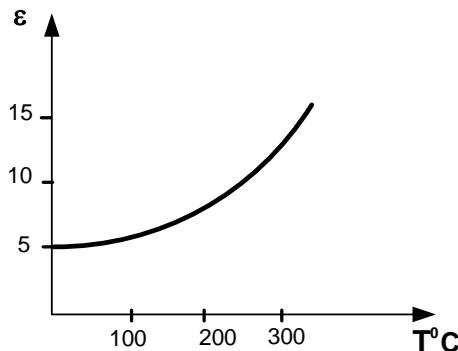
Ջերմաստիճանի բարձրացումից հեղուկի մածուցիկությունը փոքրանում է, դիպոլները հեշտությամբ կողմնորոշվում են դաշտի ուղղությամբ, բևեռացման աստիճանը աճում է,  $\varepsilon$ -ը մեծանում է մինչև որոշակի առավելագույն արժեք, որից բարձր ջերմաստիճանների ժամանակ դիպոլների ջերմային շարժումը ուժգնանում է և խոչընդոտում բևեռացմանը, հետևաբար  $\varepsilon$ -ը փոքրանում է:

- Իոնային կառուցվածքով պինդ դիէլեկտրիկներում իոնների խիստ դասավորվածության դեպքում դիտվում են էլեկտրոնային և իոնային բևեռացումներ: Ջերմաստիճանի բարձրացումից էլեկտրոնային բևեռացման աստիճանը նվազում է, իսկ իոնային բևեռացման աստիճանը՝ աճում, ընդ որում, վերջինիս ազդեցությունը ավելի ուժեղ է, որի շնորհիվ ջերմաստիճանի բարձրացումից դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը՝  $\varepsilon$ -ը աճում է: Օրինակ՝  $KCl$ -ի համար այն ուժի հետևալ տեսքը (Ակ. 1.13)



Ակ.1.13. Դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը ջերմաստիճանից  $KC\ell$ -ի համար

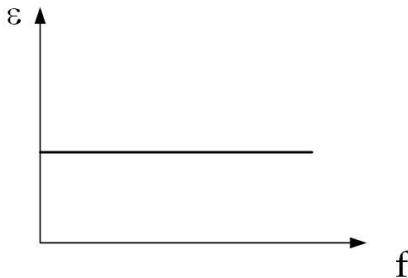
- Իոնային կառուցվածքով պինդ դիէլեկտրիկներուն իոնների ոչ խիստ դասավորվածության դեպքում, բացի իոնային և էլեկտրոնային բներացումից, դիտվում է նաև ռելաքսային բներացում, ջերմաստիճանի լայն տիրուցում դիէլեկտրիկական թափանցելիությունն աճում է: Օրինակ, էլեկտրատեխնիկական կերամիկայի համար  $\epsilon$ -ի կախումը ջերմաստիճանից ունի հետևյալ տեսքը (Ակ.1.14)



Ակ.1.14. Դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը ջերմաստիճանից էլեկտրատեխնիկական խեցի համար

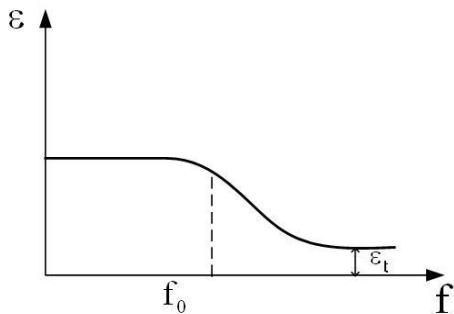
բ) դիելեկտրիկական թափանցելիություն կախումը հաճախությունից:

- Ոչ բևեռային դիելեկտրիկների համար  $\varepsilon$ -ը հաճախությունից կախված չէ, քանի որ դրանցում դիտվում են միայն էլեկտրոնային բևեռացում, որը ակնթարթային է և կախված չէ դաշտի հաճախությունից (նկ.1.15):



Նկ. 1.15. Ոչ բևեռային դիելեկտրիկների համար դիելեկտրիկական թափանցելիության կախումը հաճախությունից

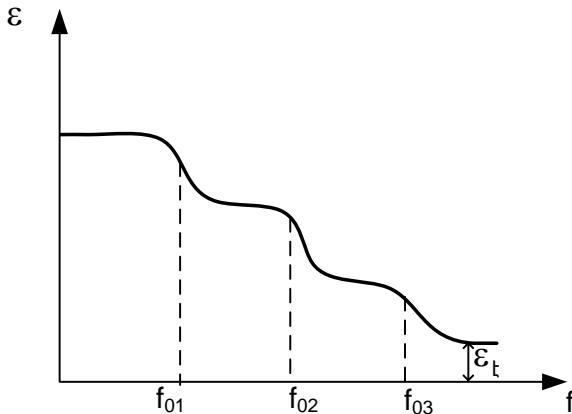
- Բևեռային դիելեկտրիկներում, բացի էլեկտրոնային և իոնային բևեռացումներից, դիտվում են ռելաքսային բևեռացումներ: Այդպիսի դիելեկտրիկներում դիելեկտրիկական թափանցելիության կախվածությունը հաճախությունից բերված է նկ.1.16-ում :



Նկ. 1.16. Բևեռային դիելեկտրիկների համար դիելեկտրիկական թափանցելիության կախումը հաճախությունից

Հաճախությունը մեծացնելիս  $\varepsilon$ -ը սկզբում չի փոխվում, քանի որ դիպոլները հասցնում են կողմնորոշվել դաշտի ուղղությամբ, բայց որոշակի  $f_0$  հաճախությունից սկսած՝ դիպոլները չեն հասցնում կողմնորոշվել դաշտի ուղղությամբ, թեուացնան աստիճանը նվազում է,  $\varepsilon$ -ը փոքրանում է՝ ձգտելով էլեկտրոնային թեուացնով պայմանավորված  $\varepsilon_t$ -ի արժեքին:

Բազմաքանակ թեուացումներ ունեցող թեուային դիէլեկտրիկների  $\varepsilon$ -ի կախումը հաճախությունից ունի հետևյալ տեսքը նկ.1.17:



Նկ. 1.17. Հաճախությունների լայն տիրութում թեուային  
դիէլեկտրիկների դիէլեկտրիկական բափացելիության կախումը  
հաճախությունից

Ինչպես երևում է նկ.1.17-ից յուրաքանչյուր թեուացման տեսակ ունի իր գոյության հաճախային տիրութը, որից բարձր հաճախության դեպքում թեուացման այդ տեսակը վերանում է:  $f_0$  հաճախությունը, որի դեպքում տեղի է ունենում  $\varepsilon$ -ի նվազում, որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$f_0 = \frac{kT}{8\pi^2 \eta r^3} \quad (1.8)$$

որտեղ  $k$ -ն Բոլցմանի հաստատունն է,

$f_0$ —ը ռեզոնանսային հաճախությունն է,

$\eta$ —ն՝ հեղուկի դինամիկական նաժուցիկությունը,

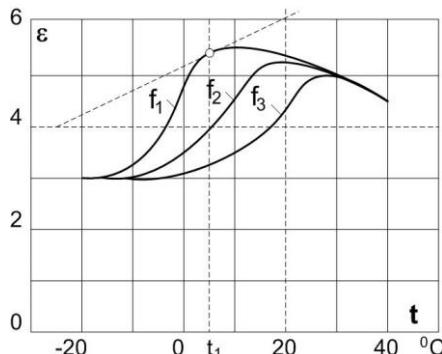
$r$ —ը՝ մոլեկուլի շառավիղը:

ε-ի փոփոխությունը հաճախությունից կոչվում է դիէլեկտրիկական դիսպերսիա: Այն դիսպերսիան, որը անընդհատ նվազում է հաճախության աճի հետ կոչվում է ռելաքսային: Այն բնորոշ է դիպոլային և միգրացիոն բևեռացումների համար:

$f_0$  հաճախության կախումը մոլեկուլի ռելաքսացման ժամանակից՝  $\tau_0$ -ց արտահայտվում է.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\tau_0} \quad (1.9)$$

Բևեռային դիէլեկտրիկում ε-ի ջերմային կախվածությունը տարբեր հաճախությունների դեպքում ունի հետևյալ տեսքը՝  $f_1 < f_2 < f_3$  (նկ.1.18):



Նկ. 1.18. Բևեռային դիէլեկտրիկի (սովոր դիէլեկտրիկական թափացելիության կախումը ջերմաստիճանից տարբեր հաճախությունների համար

$$1- f_1=50 \text{ Hz}, 2- f_2=400 \text{ Hz}, 3- f_3=1000 \text{ Hz},$$

Հաճախությունը մեծացնելիս ε-ի առավելագույն արժեքը շեղ-վում է ավելի բարձր ջերմաստիճանների գոտի, առավելագույն արժեքի համար ռելաքսացման ժամանակը կլինի՝

$$\tau_0 = \frac{1}{2\pi f_0} \quad (1.10)$$

Հաճախությունը մեծացնելիս  $\tau_0$ -ն փոքրանում է: Ջերմաստիճանի աճի հետ փոքրանում է նյութի խտությունը, ուստի բևեռացման ժամանակի նվազագույն արժեքը  $\tau_0$ -ն (կամ  $\varepsilon$ -ի առավելագույն արժեքը) ձգում է դեպի բարձր ջերմաստիճանների տիրույթ: Ջերմաստիճանը բարձրացնելու ընթացքում բևեռացմանը սկսում է խանգարել ջերմային շարժումը, հետևաբար  $\varepsilon$ -ը նվազումի է:

գ) դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը խոնավությունից:

Հիդրոսկոպիկ դիէլեկտրիկների  $\varepsilon$ -ը սովորաբար զգալիորեն մեծանում է խոնավացնելիս, որը բացատրվում է ջրի  $\varepsilon$ -ի բարձր արժեքով: Հաճախ դիէլեկտրիկի  $\varepsilon$ -ի չափումը օգտագործում են նրա խոնավությունը հսկելու համար:

## 2. ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱՋԱՊՈՐԴԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

### 2.1. Հիմնական հասկացություններ

Բևեռացնան ընթացքում, երբ տեղի է ունենում առաջգական կապված լիցքերի կամ դիպոլային մոլեկուլների կողմնորոշումը դաշտի ուղղությամբ, առաջանում են շեղման հոսանքներ: Ելեկտրոնային և իոնային բևեռացումով պայմանավորված շեղման հոսանքները կարճատև են և դրանք հնարավոր չեն չափել:

Ուղաքսային բևեռացումով պայմանավորված հոսանքները կոչվում են *աքսորքային* (ապս) կամ *կլանման հոսանքներ* և դրանք հնարավոր չեն չափել: Դաստատում լարման դեպքում այս հոսանքները դիտվում են լարման միացման և անջատման ժամանակ: Փոփոխական լարման կիրառման դեպքում այդ հոսանքները գոյություն ունեն լարման կիրառման անբողջ ժամանակահատվածում:

Բոլոր տեխնիկական դիէլեկտրիկներում գոյություն ունեն որոշ քանակությամբ ազատ լիցքեր:

Լարման կիրառման ժամանակ ազատ լիցքերի ուղղորդված շարժումը առաջացնում է փոքր մեծությամբ *միջանցիկ* (անհամապատասխան) կամ անցողիկ հոսանք: Ի հոսանքի կախումը ժամանակից հաստատում լարման դեպքում ունի հետևյալ տեսքը (նկ.2.1):

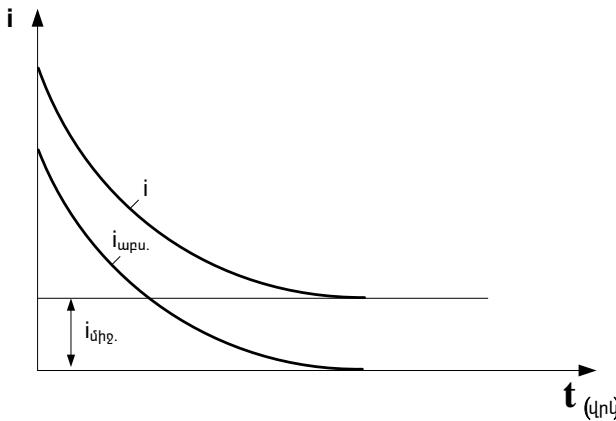
Այսպիսով դիէլեկտրիկով անցնող հոսանքը՝

$$i = i_{\text{ապ}} + i_{\text{անհ}} \quad (2.1)$$

Դիէլեկտրիկի մեկուսացման դիմադրությունը պայմանավորված է միջանցիկ հոսանքով՝

$$R_{\text{անհ.}} = \frac{U}{i_{\text{անհ}}} = \frac{U}{i - \sum i_{\text{պատ}}} \quad (2.2)$$

որտեղ  $U$ -ն դիէլեկտրիկին կիրառված լարումն է,  $i$ -ն ընդիանուր դիտվող հոսանքը,  $\sum i_{\text{պատ}}$ -ն բևեռացումներով պայմանավորված շեղման հոսանքների գումարն է:



Նկ. 2.1. Դիէլեկտրիկով անցնող հոսանքի կախումը ժամանակից  
 $i$  – ընդհանուր հոսանքը,  $i_{\text{արս}}$  – արտորբային հոսանքը,  $i_{\text{միջ}}$  – միջանցիկ հոսանքը

Դիէլեկտրիկների հաղորդականությունը հիմնականում պայմանավորված է խառնուրդներում գտնվող ազատ իոնների շարժումով, այսինքն՝ այն հիմնականում ունի իոնային բնույթ: Որոշ դիէլեկտրիկներում պայմանավորված է նաև ազատ էլեկտրոններով: Միջանցիկ հոսանքներն անցնում են դիէլեկտրիկի ծավալով և մակերևույթով միաժամանակ, հետևաբար լրիվ դիմադրությունը կլինի:

$$R_{\text{մեն}} = \frac{R_{\delta} R_{\text{ս}}}{R_{\delta} + R_{\text{ս}}} \text{ (Օմ)} \quad (2.3)$$

Դիէլեկտրիկի կարևորագույն բնութագրերից են տեսակարար ծավալային՝  $\rho_v$  և տեսակարար մակերևութային դիմադրությունը՝  $\rho_s$ :

Տեսակարար ծավալային դիմադրությունը՝  $\rho_v$ -ն, դիէլեկտրիկի ծավալից մտովի վերցված 1մ կողով խորանարդի դիմադրությունն է, եթե հոսանքն անցնում է ուղղահայաց հանդիպակաց նիստերով (նկ.2.2 ա):

$$\rho_v = R_v \frac{S}{h} \text{ (Օմ·մ)} \quad (2.4)$$

որտեղ  $R_v$  - ն նմուշի ծավալային դիմադրությունն է (Օմ),

$S$  - ը էլեկտրոդի մակերեսն է ( $\text{մ}^2$ ),

$h$  - ը նմուշի հաստությունն է (մ):

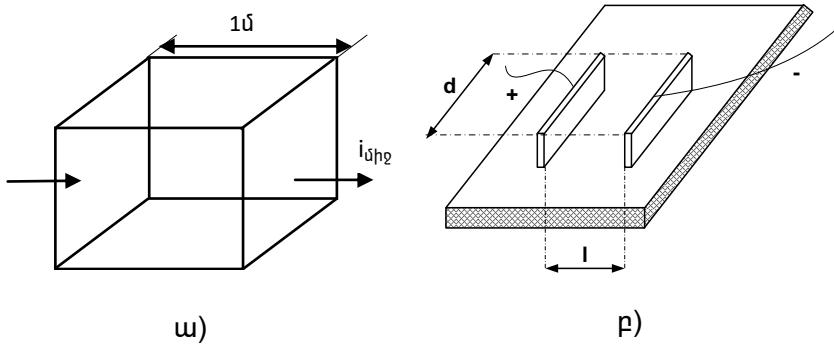
Տեսակարար մակերևութային դիմադրությունը՝  $\rho_s$ -ը, դիէլեկտրիկի մակերևությոց մտովի վերցված ցանկացած չափի քառակուսու դիմադրությունն է, եթե հոսանքն անցնում է հանդիպակաց այդ քառակուսու կողմերին (նկ.2.2 բ):

$$r_s = R_s \frac{d}{l} \text{ (Օմ)} \quad (2.5)$$

որտեղ  $R_s$  - ը նմուշի մակերևութային դիմադրությունն է (Օմ),

$d$ -ը՝ էլեկտրոդների երկարությունն է (մ),

$l$ -ը՝ էլեկտրոդների միջև եղած հեռավորությունը (մ):



Նկ. 2.2. а) ծավալային հոսանքի ուղղությունը  $\rho_v$ -ի չափման դեպքում,  
բ) էլեկտրոդների դիրքը  $\rho_s$ -ի չափման դեպքում

Տեսակարար ծավալային՝  $\gamma_v$  և մակերևութային՝  $\gamma_s$  հաղորդականությունները որոշվում են հետևյալ բանաձևերով՝

$$\gamma_v = \frac{1}{\rho_v} \text{ (Սմ/մ)} \text{ և } \gamma_s = \frac{1}{\rho_s} \text{ (Սմ)}: \quad (2.6)$$

## 2.2. Գագերի էլեկտրահաղորդականությունը

Էլեկտրահաղորդականությունը գագերում կախված է էլեկտրական դաշտի լարվածությունից: Էլեկտրական դաշտի ցածր լարվածության դեպքում էլեկտրահաղորդականությունը գագերում շատ փոքր է և պայմանավորված է արտաքին գործոններով (ճառագայթում, բարձր ջերմաստիճան), այդ էլեկտրահաղորդականությունը կոչվում է *ոչ հնքնուրույն*:

Գագերում էլեկտրական դաշտի բարձր լարվածության դեպքում տեղի է ունենում հարվածային իոնացում: Գագերի իոնացումը, պայմանավորված էլեկտրահաղորդականությամբ, կոչվում է *հնքնուրույն*:

Թույլ դաշտերում հարվածային իոնացումը բացակայում է, և ինքնուրույն էլեկտրահաղորդականություն տեղի չի ունենում, հաղորդականությունը ոչ հնքնուրույն է:

Արտաքին գործոններով պայմանավորված իոնացման դեպքում գագերում առաջանում են դրական և բացասական իոններ: Միևնույն ժամանակ տարրեր նշանի իոններ կարող են միանալ՝ ստեղծելով չեզոք մոլեկուլներ: Այս երևույթը կոչվում է՝ *վերամիավորում (ռեկոնֆինացում)*:

Նորմալ պայմաններում գագերում գործում է հավասարակշռության պայմանը. ինչ քանակությամբ մոլեկուլներ իոնացվում են, նույն քանակությամբ էլ վերականգնվում են:

Ենթարենք գագի միավոր ծավալում կան ո՞ քանակությամբ դրական և բացասական իոններ: Իոնների քանակը, որոնք վերամիավորվում են միավոր ժամանակահատվածում, միավոր ծավալում, որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$\mathbf{n}_1 = \mathbf{v} \cdot \mathbf{n}_0^2 \quad (2.7)$$

որտեղ  $\mathbf{v}$  -ն վերամիավորման գործակիցն է,

ո՞-ն դրական և բացասական լիցքերի քանակն է միավոր ծավալում:

Համաձայն հավասարակշռության պայմանի իոնացված ու և վերամիավորված ու լիցքերի քանակը հավասար է՝

$$\mathbf{n}_1 = \mathbf{n}_2 \quad (2.8)$$

Եթե իոնացված գազում կիրառենք էլեկտրական դաշտ, իոն-ները կշարժվեն դաշտի ուղղությամբ՝ շղթայում առաջացնելով հոսանք: Իոնների մի մասը, շարժվելով դաշտի ուղղությամբ, ճանապարհին վերամիավորվում է, իսկ մյուս մասը, հասնելով շրջադիրներին, չեզոքանում է: Այս երևույթը արտահայտվում է հետևյալ տեսքով.

$$\mathbf{n}_2 = \mathbf{v} \cdot \mathbf{n}_0^2 + \frac{\mathbf{j}}{q} \quad (2.9)$$

որտեղ  $j$ -ն հոսանքի խտությունն է,

$\frac{j}{q}$ -ն շրջադիրների վրա չեզոքացած իոնների քանակն է:

Դիտարկենք երկու դեպք

- 1) Հոսանքի խտությունը շատ փոքր է: Լիցքերի քանակը, որոնք չեզոքանում են թիթեղների վրա, կարելի է անտեսել:

$$\frac{\mathbf{j}}{q} << \mathbf{v} \cdot \mathbf{n}_0^2, \quad \mathbf{n}_2 = \mathbf{v} \cdot \mathbf{n}_0^2 \quad (2.10)$$

այս դեպքում կարող ենք գրել՝

$$\mathbf{j} = \mathbf{n}_0 \mathbf{q} (\mathbf{v}_+ + \mathbf{v}_-) = \mathbf{n}_0 \mathbf{q} (\mu_+ + \mu_-) \mathbf{E} = \gamma \mathbf{E} \quad (2.11)$$

որտեղ  $v_+$ -ը և  $v_-$ -ը դրական և բացասական լիցքերի արագություններն են,

$\mu_+$ -ը և  $\mu_-$ -ը դրական և բացասական լիցքերի շարժունակություններն են,

$\gamma$ -ն տվյալ նյութի էլեկտրահաղորդականությունն է,

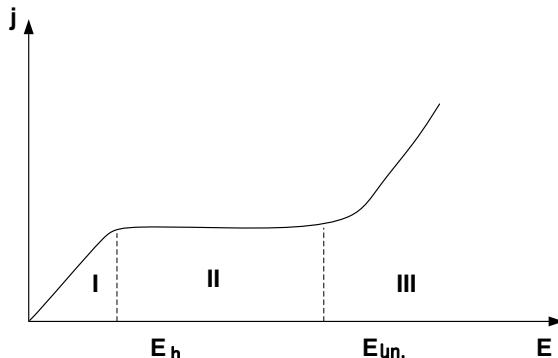
$E$ -ն էլեկտրական դաշտի լարվածությունն է:

(2.11)-բանաձևից երևում է, որ թույլ դաշտերում գործում է Օհմի օրենքը, այսինքն՝ հոսանքի խտությունը ուղիղ համեմատական է էլեկտրական դաշտի լարվածությանը՝  $j = g E$ :

- 2) Հոսանքի խտությունը մեծ է: Այս դեպքում դաշտի լարվածության մեծացումից Օհմի օրենքը խախտվում է: Դա պայմանավորված է նրանով, որ լարվածության մեծացնան հետ ինների շարժման արագությունը մեծանում է, որից կտրուկ նվազում է վերամիավորման հավանականությունը: Այս դեպքում գաղում եղած բոլոր ինները չեզոքանում են շրջադիրների վրա առանց վերամիավորման, և զագերում առաջանում է հագեցման վիճակ: Այստեղ հոսանքի խտությունը կախված չէ դաշտի լարվածությունից:

$$n_2 = \frac{j}{q} \quad (2.12)$$

Հոսանքի խտության կախումը դաշտի լարվածությունից գրաֆիկորեն ունի հետևյալ տեսքը՝ (նկ.2.3)



**Նկ.2.3. Գազերում հոսանքի խտության կախումը դաշտի լարվածությունից**

I - թույլ դաշտերի հատվածն է, որտեղ գործում է Օհմի օրենքը մինչև հագեցման  $E_h$  կետը, II - միջին դաշտերի հատվածն է, որը կոչվում է հագեցման վիճակ, III - ուժեղ դաշտերի հատվածն է:

Եկա-ից հետո էլեկտրահաղորդականությունը գազերում կտրուկ աճում է, քանի որ առաջանում է հարվածային խոնացում, աճում է ինքնուրույն էլեկտրահաղորդականությունը, որից հետո տեղի է ունենում գազերի ծակում:

### **2.3. Յեղուկ դիէլեկտրիկների էլեկտրահաղորդականությունը**

Յեղուկների էլեկտրահաղորդականությունը կախված է հեղուկի վիճակից: Ոչ բևեռային հեղուկ դիէլեկտրիկներում այն պայմանավորված է հեղուկներում խառնուրդների դիսոցնամբ, այդ թվում նաև խոնավությամբ: Բևեռային հեղուկ դիէլեկտրիկում այն պայմանավորված է ինչպես հեղուկում գոյություն ունեցող խառնուրդների, այնպես էլ սեփական մոլեկուլների դիսոցնամբ:

Էլեկտրահաղորդականությունը հեղուկներում պայմանավորված է ինչպես իոնների, այնպես էլ հարաբերական մեծ կոլորդային մասնիկների (մոլիոնների) ուղղորդված շարժումնվ: Եթե ոչ բևեռային հեղուկ դիէլեկտրիկով երկար ժամանակ անցկացվի հաստատուն լարման հոսանք, ապա ազատ լիցքակիրների տեղաշարժումնվ դեպի շրջադիրներ, հեղուկ դիէլեկտրիկը կնաքրվի խառնուրդներից, որի հետևանքով նրա տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունը կփոքրանա, տեղի կունենա հեղուկի էլեկտրական մաքրում:

Յեղուկների տեսակարար հաղորդականությունը կախված է ջերմաստիճանից:

Ջերմաստիճանի բարձրացման ժամանակ նվազում է հեղուկի մածուցիկությունը, մեծանում է իոնների շարժունակությունը, աճում է մոլեկուլների ջերմային դիսոցնաման աստիճանը, և այս երկու գործոնները բարձրացնում են հեղուկի էլեկտրահաղորդականությունը՝

$$\gamma = Ae^{-\frac{b}{T}} \quad (2.13)$$

որտեղ A-ն և b-ն տվյալ նյութը բնութագրող գործակիցներ են:

Ջերմաստիճանի ոչ լայն տիրույթում՝

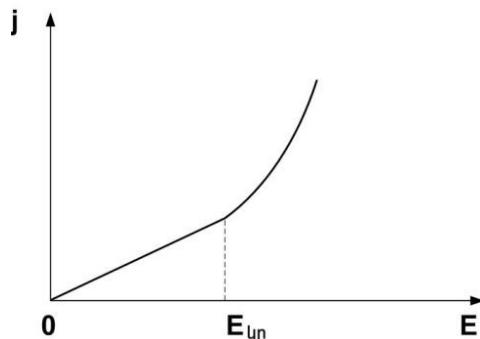
$$\gamma = \gamma_0 e^{\alpha T} \quad (2.14)$$

որտեղ  $\gamma_0$ -ն և  $\alpha$ -ն տվյալ հեղուկի համար հաստատուն մեջություններ են,

Տ-ն ջերմաստիճանն է,  ${}^0C$ ,

Ելեկտրական դաշտի բարձր լարվածության՝ մոտ 10-100 ՄՎ/մ դեպքում, ինչպես ցույց է տվել փորձը, հոսանքը հեղուկում չի ենթարկվում Օհմի օրենքին, որը բացատրվում է էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ շարժվող իոնների քանակի կտրուկ մեծացումով:

Հեղուկներում հոսանքի խտության կախումը դաշտի լարվածությունից ունի հետևյալ տեսքը՝



Նկ.2.4. Հոսանքի խտության կախումը դաշտի լարվածությունից

Սինչև  $E_k$  լարվածությունը հեղուկներում հաղորդականությունը ենթարկվում է Օհմի օրենքին:  $E_k$ -ից բարձր լարվածության դեպքում հեղուկներում առաջանում է հարվածային իոնացում, հաղորդականությունը կտրուկ աճում է:

Խառնուրդներից առավելագույնս մաքրված հեղուկներում նկ.2.4-ի կորում առաջանում է հորիզոնական տիրույթ (հագեցման երևույթ) ինչպես գագերում:

Կոլիխային համակարգերում էլեկտրահաղորդականությունը պայմանավորված է մոլեկուլների խմբերով (մոլիոններով) այդպիսի

Էլեկտրահաղորդականությունը կոչվում է էլեկտրաֆորեզային, իսկ երևույթ՝ էլեկտրաֆորեզ: Կոլորիտային համակարգից էլեկտրատեխնիկայում օգտագործվում են էնուլսիաները (Երկու բաղադրիչներն էլ հեղուկ) և սուսպենզիաները (կարօր նասնիկները հեղուկում): Էնուլսիաների և սուսպենզիաների կայունությունը բացատրվում է մոլիոնների լիցքավորվածությամբ: Արտաքին դաշտի ազդեցության տակ մոլիոնները սկսում են շարժվել և հասնելով շրջադիրներին՝ չեզոքանում են, շրջադիրը ծածկվում է դիսպերսային փուլում գտնվող նյութով: Էլեկտրաֆորեզային էլեկտրահաղորդականություն ունեն էնուլսիայի տեսքով ջուր պարունակող յուղերը և խեժեր պարունակող սինթետիկ հեղուկները:

Ի տարբերություն էլեկտրոլիզի, էլեկտրաֆորեզի ժամանակ նոր նյութեր չեն առաջանում, այլ ուղղակի տեղի է ունենում հեղուկի տարբեր շերտերում դիսպերսային փուլի հարաբերական կոնցենտրացիայի փոփոխություն:

#### **2.4. Պինդ դիէլեկտրիկների էլեկտրահաղորդականությունը**

Պինդ դիէլեկտրիկների էլեկտրահաղորդականությունը պայմանավորված է ինչպես դիէլեկտրիկի սեփական իոններով, այնպես էլ պատահական խառնուրդների իոններով, իսկ որոշ դիէլեկտրիկներում այն պայմանավորված է ազատ էլեկտրոններով: Եթե պինդ դիէլեկտրիկներով (ինչպես հեղուկ դիէլեկտրիկներում) երկար ժամանակ կիրառվի հաստատուն լարման հոսանք, ապա խառնուրդների տեղափոխման պատճառով տեղի կունենա պինդ դիէլեկտրիկի էլեկտրական նաքրում:

Պինդ դիէլեկտրիկների էլեկտրահաղորդականության բնույթը կախված է նյութի կառուցվածքից: Ինային կառուցվածքով պինդ դիէլեկտրիկներում էլեկտրահաղորդականությունը պայմանավորված է էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ իոնների տեղաշարժումով, որոնք անջատվում են բյուրեղային ցանցի հանգույցներից: Ընդ որում, էլեկտրական դաշտի ցածր լարվածության և ցածր ջերմաստիճանի արժեքների դեպքում սկզբում անջատվում են թույլ կապված իոններ, որոնք հիմանականում խառնուրդների

իոններ են և գտնվում են թույլ կապված կամ ազատ վիճակում: Այսպիսի էլեկտրահաղորդականությունը կոչվում է խառնուրդային: Էլեկտրական դաշտի բարձր լարվածության և ջերմաստիճանի դեպքում բյուրեղային ցանցի համգույցներից պոկվում են սեփական իոններ: Այսպիսի էլեկտրահաղորդականությունը կոչվում է սեփական:

Սոլեկուլային և ատոմային կառուցվածքով պինդ դիէլեկտրիկներում էլեկտրահաղորդականությունը պայմանավորված է խառնուրդների իոններով:

Անկախ նյութի կառուցվածքից՝ էլեկտրահաղորդականությունը պինդ դիէլեկտրիկներում հիմնականում բնութագրվում է լիցքավորված մասնիկների ակտիվացման էներգիայով: Այս դեպքում տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունը տվյալ ջերմաստիճանի համար որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$\gamma = q n_{\text{OT}} \mu_T \quad (2.15)$$

որտեղ  $q$ - ն իոնի լիցքն է,

$n_{\text{OT}}$ -ն միավոր ծավալում իոնների քանակն է,

$\mu_T$ -ն դրական և բացասական իոնների շարժունակությունն է:

Իոնային կառուցվածքով դիէլեկտրիկներում իոնների քանակը՝  $n_{\text{OT}}$ -ն, և շարժունակությունը՝  $\mu_T$ -ն, կախված ջերմաստիճանից, որոշվում են հետևյալ արտահայտություններով՝

$$n_{\text{OT}} = n_0 e^{-\frac{W_n}{kT}} \quad (2.16)$$

$$\mu_T = \mu_m e^{-\frac{W_m}{kT}} \quad (2.17)$$

որտեղ  $n_0$ -ն իոնների ընդհանուր քանակն է,

$kT$ -ն ջերմային էներգիան է,

$\mu_m$ -ն իոնների առավելագույն շարժունակությունն է,

$W_n$ -ն իոնների դիստում (անջատման) էներգիան է,

Վ<sub>ս</sub>- իոնների տեղաշարժման էներգիան է, որն անհրաժեշտ է իոնների տեղաշարժը մի անհավասարակշիռ վիճակից մեկ այլ վիճակի անցնելու համար:

Տեղադրելով (2.16) և (2.17) հավասարումները (2.15) արտահայտության մեջ կստանանք՝

$$\gamma = qn_0\mu_m e^{-\frac{W_n+W_{us}}{kT}} \quad (2.18)$$

Նշանակելով՝

$$A = qn_0\mu_m, \quad b = \frac{W_n+W_{us}}{k} \quad (2.19)$$

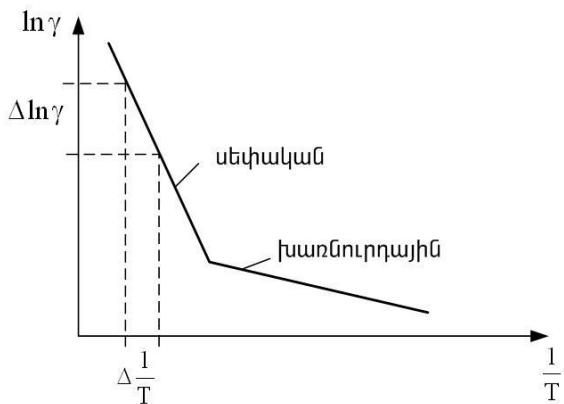
որտեղ A-ն և b-ն գործակիցներ են որոնք բնութագրում են տվյալնյութը:

Կստանանք՝

$$\gamma = Ae^{-\frac{b}{T}} \quad (2.20)$$

Քանի որ  $W_n >> W_{us}$ , ուստի  $\gamma$ -ի արժեքը, կախված չերմաստիճանի փոփոխությունից, կապված է լիցքակիրների խտության փոփոխման հետ:

Պինդ դիելեկտրիկների համար տեսակարար էլեկտրահաղորդականության կախվածությունը (լոգարիթմական մասշտաբում) բացարձակ չերմաստիճանի հակադարձ մեծությունից ունի հետևյալ տեսքը՝ (նկ.2.5)



**Նկ. 2.5. Պինդ ռիէլեկտրիկի տեսակար էլեկտրահաղորդականության կախումը ջերմաստիճանից**

Խառնուրդային էլեկտրահաղորդականությունը ի հայտ է գալիս ցածր ջերմաստիճաններում, իսկ սեփական էլեկտրահաղորդականությունը՝ բարձր ջերմաստիճաններում:

Բերված կորից հնարավոր է որոշել Յ գործակիցը՝

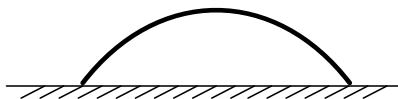
$$b = \frac{\Delta \ln \gamma}{\Delta \ell/T} : \quad (2.21)$$

## 2.5. Կարծր ռիէլեկտրիկների մակերևութային էլեկտրահաղորդականությունը

Կարծր ռիէլեկտրիկների մակերևութային էլեկտրահաղորդականությունը առաջին հերթին կախված է խոնավությունից, որի ազդեցությունը զգալի է՝ սկսած 70-80% հարաբերական խոնավության և ռիէլեկտրիկի մակերևույթի վրա կուտակված աղտոտվածությունից: Զուրը բարձր ε-ով ռիէլեկտրիկ է, սակայն նրանում հեշտությամբ են դիսոցվում նյութեր, որոնք առաջացնում են էլեկտրահաղորդականություն: Ուստի ռիէլեկտրիկը չորացնելուց հետո մակերևութային էլեկտրահաղորդականությունը պետք է նվազի:

Մակերևույթային դիմադրությունը մեծացնելու նպատակով դիէլեկտրիկի մակերևույթը մաքրում են, ծածկում զանազան պաշտպանիչ շերտերով:

Բնեռային դիէլեկտրիկները ավելի լավ են թրջվում ջրով, քանի որ մեծ են միջմոլեկուլային ուժերը ջուր - դիէլեկտրիկ սահմանին, ուստի բնեռային դիէլեկտրիկի մակերևութային հաղորդականությունը ոչ բնեռայինից մեծ է:



ա) բնեռային դիէլեկտրիկ,



բ) ոչ բնեռային դիէլեկտրիկ

### 3. ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿԱԿԱՆ ԿՈՐՈՒՏՄԱՆ ԵՐ

#### 3.1. Հիմնական հասկացություններ

Ցանկացած դիէլեկտրիկի վրա էլեկտրական դաշտ կիրառելիս նրանում նկատվում է որոշ քանակությամբ էներգիայի ցրում, որը վերածվում է ջերմայինի: Այն էներգիան, որը ցրվում է դիէլեկտրիկում էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ և հանգեցնում է դիէլեկտրիկի տաքացմանը, կոչվում է **դիէլեկտրիկական կորուստ:** Հաստատուն  $E$  լարվածությամբ էլեկտրական դաշտում կորուստները ուղղի համեմատական են դաշտի լարման քառակուսուն և պայմանավորված են մեկուսացման  $R_{\text{մե}}$  դիմադրությամբ՝

$$P_w = \frac{U^2}{R_{\text{մե}}} \quad (3.1)$$

Փոփոխական  $E$  լարվածությամբ էլեկտրական դաշտում դիէլեկտրական կորուստները շատ անգամ մեծ են հաստատուն լարվածությամբ էլեկտրական դաշտի կորուստներից, ենթարկվում են բարդ կանոնների և կախված են կիրառված լարումից՝  $U$ , հաճախությունից՝  $f$ , և ունակությունից՝  $C$ :

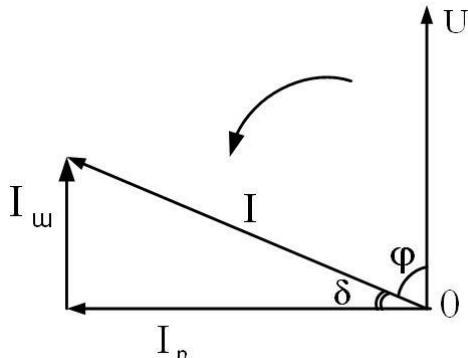
Էլեկտրական կոնդենսատորներում հոսանքի վեկտորն առաջ է ընկած լարման վեկտորից  $\phi$  անկյունով, որը կոչվում է **ֆազային շեղման անկյուն**, իդեալական դիէլեկտրիկներում, որտեղ կորուստներ չկան, այդ անկյունը  $90^\circ$  է: Իրական դիէլեկտրիկներում միշտ կան կորուստներ, ուստի ֆազային շեղման անկյունը հավասար չէ  $90^\circ$ -ի: Այն անկյունը, որը լրացնում է  $\phi$ -ն մինչև  $90^\circ$ , կոչվում է **կորուստների անկյուն**՝  $\delta$ :

$$\delta = 90^\circ - \phi \quad (3.1)$$

Դիէլեկտրական կորուստները կախված են նյութի վիճակից (պինդ, հեղուկ, գազային) և պայմանավորված են ռելաքսային բևեռացումներով, էլեկտրահաղորդականությունով, իոնացումով,

կառուցվածքային անհամասեռությամբ և այլն: Այդ կորուստները կարող են բերել դիէլեկտրիկի ուժեղ տաքացմանը և նրա ջերմային քայլայնանը:

Կորուստներով դիէլեկտրիկներում հոսանքների վեկտորական դիագրամն ունի հետևյալ տեսքը՝ (նկ.3.1)



Նկ. 3.1. Հոսանքների վեկտորական դիագրամը

Կորուստներ ունեցող դիէլեկտրիկի համարժեք էլեկտրական սխեմայում դիէլեկտրիկը փոխարինում են ակտիվ դիմադրությամբ և ունակությամբ՝ միացված զուգահեռ կամ հաջորդաբար (նկ.3.2):

Զուգահեռ միացված սխեմայի համար.

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_w}{I_c} = \frac{1}{\omega C_p R} \quad (3.2)$$

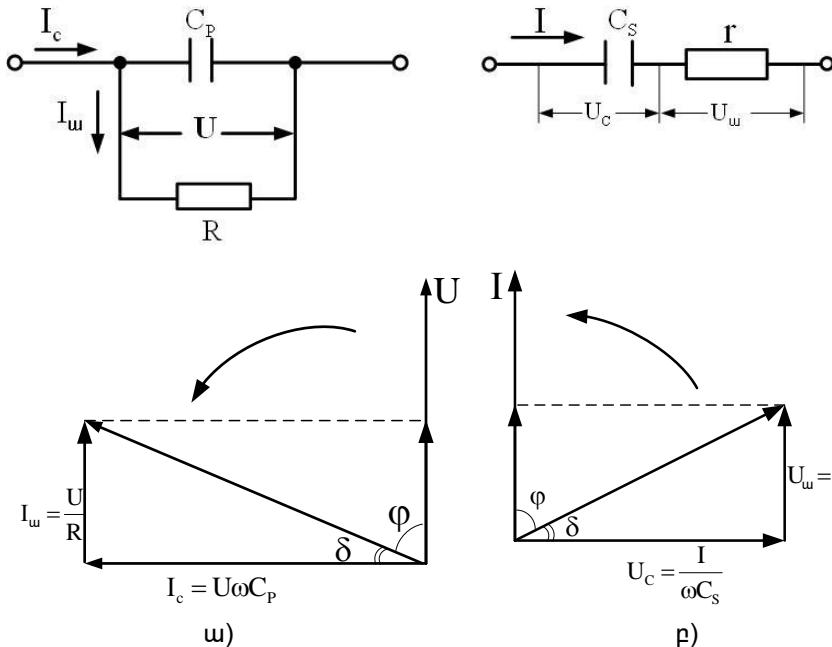
$$P_w = UI_w = U^2 \omega C_p \operatorname{tg} \delta \quad (3.3)$$

Հաջորդաբար միացված սխեմայի համար

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_w}{U_c} = \omega C_s r \quad (3.4)$$

$$P_w = I \cdot U_w = I^2 \cdot r = \frac{U^2 r}{x^2 + r^2} = \frac{U^2 r}{x^2 \left( 1 + \frac{r^2}{x^2} \right)} = \frac{U^2 \omega C_s \operatorname{tg} \delta}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} \quad (3.5)$$

որտեղ  $x_c = \frac{1}{\omega C_s}$ ,  $r = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\omega C_s}$ :



**Նկ.3.2.** Կորուստներով դիէլեկտրիկի համարժեք զուգահեռ (ա) և հաջորդաբար (բ) միացված էլեկտրական սխեմաները և վեկտորական դիագրամները

Քանի որ այս երկու սխեմաները համարժեք են, ապա հավասարեցնելով (3.2) և (3.4) արտահայտությունները, կստանանք՝

$$R = r \left( 1 + \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} \right) \quad (3.6)$$

և հավասարեցնելով (3.3) ու (3.5) արտահայտությունները կստանանք՝

$$C_p = \frac{C_s}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} \quad (3.7)$$

Բարձրորակ դիէլեկտրիկով կոնդենսատորների համար  $\operatorname{tg} \delta$ -ն փոքր մեծություն է, առավել փոքր կլինի նրա  $\operatorname{tg}^2 \delta$ -ն, որը կարելի է անտեսել մեկի նկատմամբ, այսպիսով կարող ենք գրել, որ՝

$$C_p \approx C_s \approx C,$$

իսկ դիէլեկտրիկական կորուստների հզորությունը կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$P_w = U^2 \omega C t g \delta \quad (3.8)$$

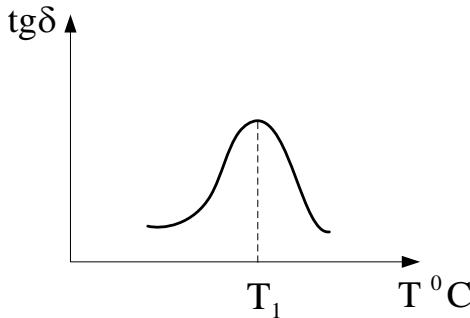
### 3.2. Դիէլեկտրիկական կորուստների տեսակները

Ելեկտրական դաշտի ազդեցության տակ դիէլեկտրիկներում դիտվում են կորուստների հետևյալ տեսակները .

- 1) Ոելաքսային բևեռացումով պայմանավորված կորուստներ:
- 2) Ելեկտրահաղորդականությամբ (միջանցիկ հոսանքով) պայմանավորված կորուստներ:
- 3) Իոնացումով պայմանավորված կորուստներ:
- 4) Կառուցվածքի անհամասեռությամբ պայմանավորված կորուստներ (տարաշարժման կամ միջշերտային):

1) Ոելաքսային բևեռացումով պայմանավորված կորուստներ դիտվում են բևեռային դիէլեկտրիկներում և կապված են մասնիկների ջերմային շարժման խախտման հետ: Կիրառված էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ դիպոլային մոլեկուլները շեղվում են դաշտի ուղղությամբ՝ առաջացնելով կորուստներ, այդ կորուստները կախված են ջերմաստիճանից և հաճախությունից :

$\operatorname{tg} \delta$ -ի կախումը ջերմաստիճանից պատկերված է նկ.3.3-ում



**Նկ.3.3.  $\text{tg}\delta$ -ի կախումը ջերմաստիճանից ռելաքսային թևեռացման համար**

Ջերմաստիճանի ցածր արժեքների դեպքում մասնիկների ջերմային շարժման ուժգնությունը շատ փոքր է, ռելաքսացիոն թևեռացում գործնականորեն տեղի չի ունենում, կորուստները շատ փոքր են:

Ջերմաստիճանի բարձր արժեքների դեպքում մասնիկների ջերմային շարժումը շատ ինտենսիվ է, դիպոլները առանց շիման՝ հեշտությամբ, կողմնորոշվում են դաշտի ուղղությամբ, ռելաքսային թևեռացումը գործնականորեն տեղի է ունենում առանց կորուստների:

Ռելաքսային կորուստների հասնում են իրենց առավելագույն արժեքին միայն ջերմաստիճանի որոշակի արժեքների դեպքում, որի հիմնական պայմանը (1.10) հետևյալն է՝

$$\tau_0 = \frac{1}{2\pi f_0} \quad (3.9)$$

2) Դիէլեկտրիկական կորուստների այն մասը, որը պայմանավորված է դիէլեկտրիկի միջանցիկ հոսանքով, անվանում են էլեկտրահաղորդականության դիէլեկտրիկական կորուստներ: Այս կորուստները գոյություն ունեն ոչ միայն հաստատուն, այլև փոփոխական լարման դեպքում: Միջանցիկ հոսանքով պայմանավորված տեսակարար կորուստները կախված չեն կիրառված լար-

ման հաճախությունից և որոշվում են հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$p_{\text{սե}} = \gamma E^2 \quad (3.10)$$

որտեղ  $\gamma$  -ն տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունն է,

$E$  -ն կիրառված դաշտի լարվածությունն է:

Սակայն միջանցիկ հոսանքով պայմանավորված կորուստների անկյան տանգենսը հակադարձ համեմատական է կիրառված լարման հաճախությանը

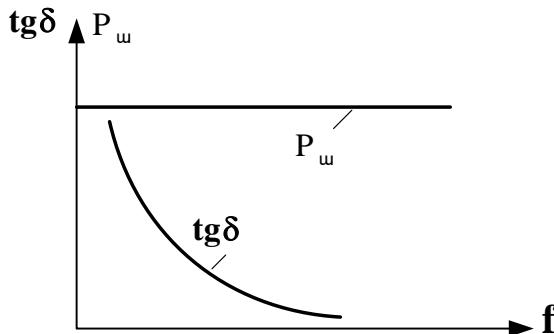
$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1.8 \cdot 10^{10}}{\varepsilon \cdot f \cdot \rho} \quad (3.11)$$

որտեղ  $\varepsilon$  -ն նյութի դիէլեկտրիկական թափանցելիությունն է,

$f$  -ը կիրառված լարման հաճախությունն է,

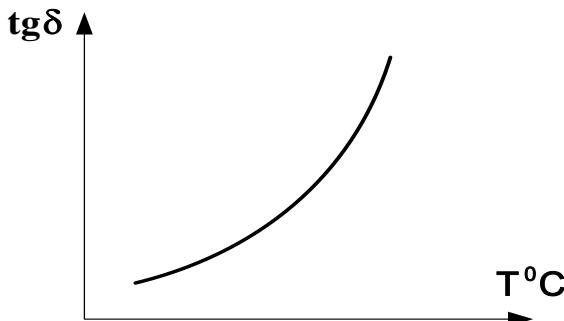
$\rho$  -ն նյութի տեսակարար դիմադրությունն է:

Էլեկտրահաղորդականությամբ պայմանավորված դիէլեկտրիկական կորուստների  $P_{\omega}$ -ի և  $\operatorname{tg}\delta$ -ի կախումը հաճախությունից պատկերված է նկ.3.4-ում՝



Նկ.3.4.  $P_{\omega}$ -ի և  $\operatorname{tg}\delta$ -ի կախումը կիրառված լարման հաճախությունից:

Զերմաստիճանից կախված կորուստները կտրուկ աճում են, քանի որ աճում է տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունը:



Նկ.3.5.  $\text{tg}\delta$ -ի կախումը ջերմաստիճանից

Միջանցիկ հոսանքով պայմանավորված կորուստները, կախված ջերմաստիճանից, աճում են էքսպոնենտալ օրենքով՝

$$P_{\omega T} = A e^{-\frac{b}{T}} \quad (3.12)$$

որտեղ  $A$  –ն և  $b$ -ն հաստատուններ են և բնութագրում են տվյալ նյութը:

3) Ինացումով պայմանավորված կորուստները դիտվում են ծակոտկեն դիէլեկտրիկներում: Էլեկտրական դաշտի ցածր լարվածությունների դեպքում այս կորուստները շատ փոքր են և պայմանավորված են էլեկտրահաղորդականությամբ:

Էլեկտրական դաշտի ցածր լարվածությունների դեպքում իննացման կորուստները գագերում գործնականորեն բացակայում են,  $\text{tg}\delta$ -ն շատ փոքր է և առաջանում է հաղորդականության հաշվին (3.11):

Էլեկտրական դաշտի բարձր լարվածությունների դեպքում, քանի որ գագերում սկսվում է հարվածային իննացում, իննացման կորուստները կտրուկ աճում են,  $\text{tg}\delta$ -ն մեծանում է: Իննացումով պայմանավորված կորուստների հզորությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$P_{\omega h} = A_1 f(U - U_h)^3 \quad (3.13)$$

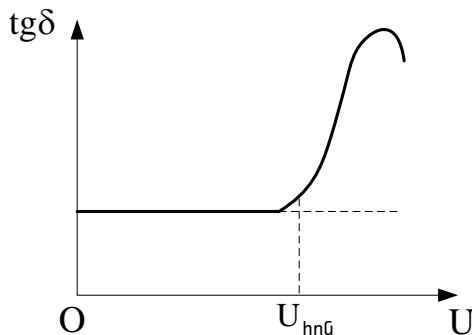
որտեղ  $A_1$ -ն գործակից է տվյալ նյութի համար,

f-ը կիրառված լարման հաճախությունն է,

Ս-ն կիրառված լարումն է,  $U_h$ -ն այն լարումն է, երբ սկսվում է իոնացումը (իոնացման շեմ):

Սի-ից բարձր լարումների դեպքում գազային դիէլեկտրիկ-ներում առաջանում է հարվածային իոնացում:

Ծակոտկեն դիէլեկտրիկներում առաջանում են մասնակի պարապումներ, որոնք հանգեցնում են էլեկտրական դաշտի էներգիայի ցրման, որը կոչվում է իոնացման կորուստներ: Մասնակի պարապումների ազդեցության տակ դիէլեկտրիկը հետզիեւե քայլավում է: Լարումից կախված  $tg\delta$ -ի կորը կոչվում է իոնացման կոր (նկ.3.6):

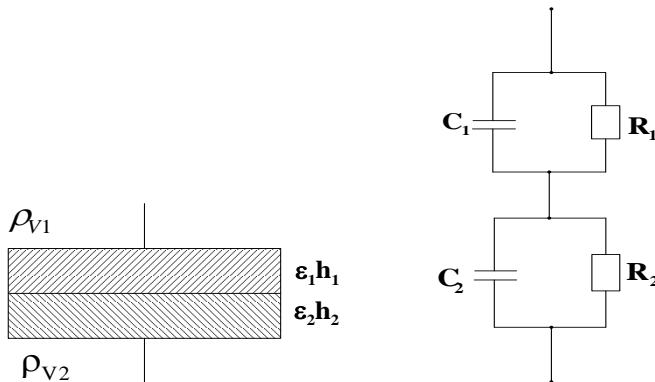


Նկ.3.6.Ծակոտկեն դիէլեկտրիկների իոնացման կորուստները

Իոնացման կորով գնահատում են բարձր լարման տակ օգտագործվող էլեկտրական մեկուսացման որակը, իոնացման  $U_h$  լարումը կախված է ճնշումից. որքան մեծ է ճնշումը, այնքան մեծ է իոնացման լարման սկիզբը՝  $U_h$ : Որքան մեծ է իոնացման շենք այնքան որակով է մեկուսիչ կոնստրուկցիան :

4)Հաղորդիչ ներմուծվածքներ պարունակող դիէլեկտրիկներում տարաշարժային թևեռացումով պայմանավորված կորուստների հետ միասին նկատվում են լրացուցիչ ռելաքսային կորուստներ, իսկ այն դիէլեկտրիկներում, որոնք պարունակում են

գազային միացություններ՝ նկատվում են և իոնացման կորուստներ: Տարաշարժային բներացումը պայմանավորված է լիցքավորված հաղորդիչ ներմուծվածքների շարժումով և անհամասեռությունների սահմաններում դրանց կուտակումով: Տարաշարժային բներացումը ընթանում է դանդաղ և չի հասցնում հետևել բարձր հաճախության էլեկտրական դաշտի փոփոխմանը: Այս երևույթը դիտարկվում է նաև շերտավոր դիէլեկտրիկում, որի համարժեք սխեման բերված է նկ. 17.1-ում:



**Նկ.3.7. Երկշերտ դիէլեկտրիկը և նրա համարժեք սխեման**

Շերտավոր դիէլեկտրիկում շերտերի հաջորդաբար միացման ժամանակ տց-ն որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{C_1 \operatorname{tg}\delta_1 + C_2 \operatorname{tg}\delta_2}{C_1 + C_2} \quad (3.14)$$

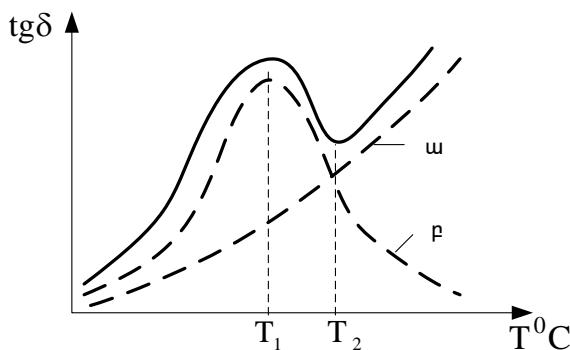
որտեղ  $h_1$ ,  $h_2$ -ը և  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ -ը համապատասխան շերտերի հաստությունը և դիէլեկտրիկական թափանցելիություններն են:

Գրեթե բոլոր ռեալ դիէլեկտրիներում գոյություն ունեն տարաշարժային կորուստներ, սակայն դրանց ի հայտ գալը կախված է ինչպես ջերմաստիճանից, այնպես էլ հաճախությունից:

### 3.3. Դիէլեկտրիկական կորուստների հզորության և կորուստների անկյան տանգենսի կախումը տարբեր գործողներից

Ոչ բնեռային դիէլեկտրիկում կորուստները փոքր են և պայմանավորված են միայն էլեկտրահաղորդականությամբ: Այստեղ դիէլեկտրիկական կորուստները պայմանավորված են միջանցիկ հոսանքով (տես՝ 3.2...2): Դիէլեկտրիկական կորուստների  $P_a$ -ի և  $\tan\delta$ -ի կախումը հաճախությունից պատկերված է նկ.3.4 և 3.5-ում վեր:

Բնեռային դիէլեկտրիկում կորուստները պայմանավորված են ռելաքսային բնեռացումներով և կախված են ջերմաստիճանից և հաճախությունից: Ջերմաստիճանի որոշակի արժեքների դեպքում նկատվում են  $\tan\delta$ -ի առավելագուն և նվազագույն արժեքներ (նկ. 3.8):



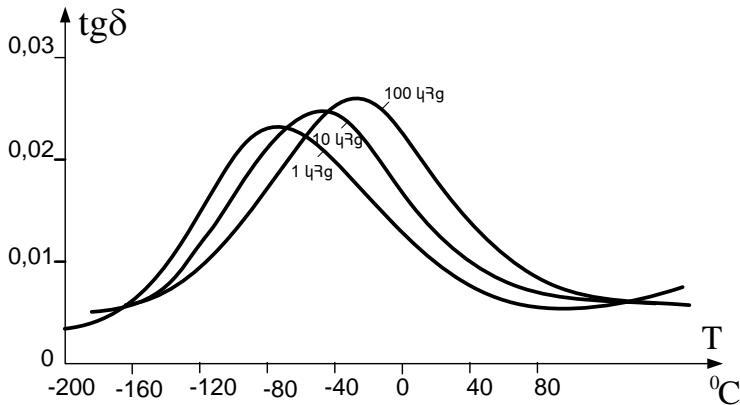
Նկ.3.8.  $\tan\delta$ -ի կախումը ջերմաստիճանից դիպոլ ռելաքսային բնեռացման համար

- ա/ հաղորդականությամբ պայմանավորված բաղադրիչ.
- բ/ բնեռացումով պայմանավորված բաղադրիչ.

Նվազագույն արժեքներից հետո կորուստների աճը պայմանավորված է միջանցիկ էլեկտրահաղորդականության աճով:

Բնեռային դիէլեկտրիկում  $\tan\delta$ -ի ջերմային կախվածությունը տարբեր հաճախությունների դեպքում ունի հետևյալ տեսքը՝

$f_1 < f_2 < f_3$  (Ակ.3.9)



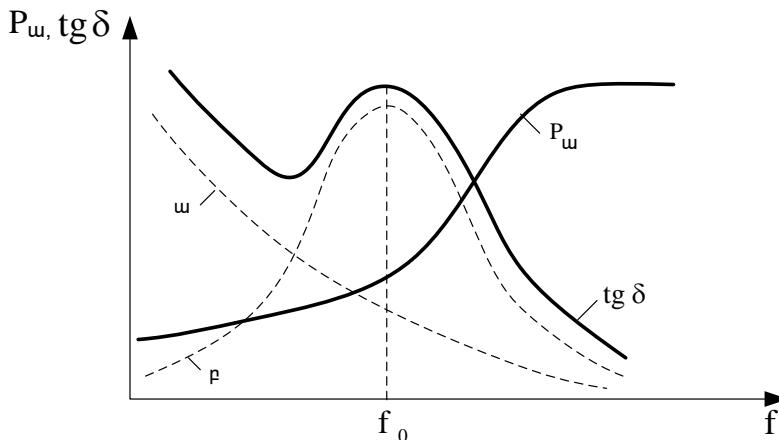
Ակ.3.9. Չորացրած թղթի համար կորուստների անկյան տանգենսի՝  $\text{tg}\delta$ -ի, կախումը ջերմաստիճանից՝  $t$ -ից, տարբեր հաճախությունների դեպքում

Հաճախությունը մեծացնելիս  $\text{tg}\delta$ -ի ջերմային կախվածության առավելագույն արժեքը շեղվում է ավելի բարձր ջերմաստիճանների գոտի: Ջերմային կախվածության դեպքում առավելագույն արժեքի պայմանն է՝

$$\tau_0 = \frac{1}{2\pi f_0} \quad (3.15)$$

Հաճախությունը մեծացնելիս ռելաքսացիայի ժամանակը՝  $\tau_0$ -ն, աետք է փոքրանա, որպեսզի տեղի ունենա առավելագույն արժեքի պայմանը, իսկ  $\tau_0$ -ի փոքրացումը տեղի կունենա հեղուկի մածուցիկության կամ պինդ դիէլեկտրիկի խտության փոքրացման դեպքում: Դա հնարավոր է միայն դիէլեկտրիկի տաքացման ժամանակ: Այդ պատճառով էլ  $\text{tg}\delta$ -ի ջերմային կախվածության առավելագույն արժեքը հաճախությունը մեծացնելիս շեղվում է բարձր ջերմաստիճանների գոտի:

Բևեռային դիէլեկտրիկներում դիէլեկտրիկական կորուստների  $P_{\omega}$ -ի և  $\operatorname{tg}\delta$ -ի կախումը հաճախությունից ունի հետևյալ տեսքը՝ նկ.3.10



Նկ.3.10. Դիէլեկտրիկական կորուստների և կորուստների անկյան տանգենսի  $f$  հաճախությունից կախումը, բևեռային դիէլեկտրիկների համար

- ա/ հաղորդականությամբ պայմանավորված բաղադրիչ.
- բ/ բևեռացումով պայմանավորված բաղադրիչ

Հաճախությունը մեծացնելիս դիէլեկտրիկական կորուստները  $P_{\omega}$  - ն և  $\operatorname{tg}\delta$  - ն աճում են մինչև որոշակի  $f_0$  հաճախություն, քանի որ դիպոլները հասցնում են հետևել էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ, բայց որոշակի  $f_0$  հաճախությունից սկսած՝ դիպոլները չեն հասցնում հետևել դաշտի փոփոխությանը, բևեռացման ասդիճանը նվազում է,  $\operatorname{tg}\delta$  - ն փոքրանում է, կորուստները (բանաձև (3.8)) մնում են անփոփոխ:

## 4. ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿԱՆԵՐԻ ԾԱԿՈՒՄԸ

### 4.1. Դիէլեկտրիկների էլեկտրական ամրության որոշումը

Դիէլեկտրիկը էլեկտրական դաշտում կարող է կորցնել իր էլեկտրամեկուսիչ հատկությունները, եթե էլեկտրական դաշտի լարվածությունը գերազանցում է որոշ կրիտիկական արժեք: Դա դորդիչ կանալի առաջացումը կրիտիկական լարվածության ներքո կոչվում է դիէլեկտրիկի ծակում: Լարման այն արժեքը, որի ժամանակ ծակվում է դիէլեկտրիկը, կոչվում է ծակման լարում՝ Ս<sub>δ</sub> իսկ համապատասխան դաշտի լարվածությունը, դիէլեկտրիկի էլեկտրական ամրություն՝ E<sub>δ</sub>:

Ծակումը կարող է լինել լրիվ (եթե հաղորդիչ կանալը հասնում է մեկ էլեկտրոդից մյուսին և միացնում է նրանց), ոչ լրիվ (եթե հաղորդիչ կանալը չի հասնում էլեկտրոդից որևէ մեկին) և մասնակի (եթե ծակվում է միայն դիէլեկտրիկի գազային կամ հեղուկ ներանուծվածքը):

Այսպիսով, բոլոր դիէլեկտրիկները կարող են օգտագործվել մինչև լարման որոշակի կրիտիկական արժեքները:

$$E_{\delta} = \frac{U_{\delta}}{h} \quad (\text{ՄՎ/մ}) \text{ կամ } (\text{ԿՎ/մմ}) \quad (4.1)$$

որտեղ U<sub>δ</sub> – ն ծակման լարումն է,

h - ը դիէլեկտրիկի հաստությունն է:

Պինդ դիէլեկտրիկներում, բացի ծավալային ծակումից, հնարավոր է նաև ծակումը մակերևույթով, որը կոչվում է մակերևութային ծակում:

Պինդ դիէլեկտրիկներում ծակման տեղամասում առաջացած կայժը կամ աղեղը կարող է այրել կամ առաջացնել ճեղքվածքներ:

Եթե ծակումը տեղի է ունեցել գազ կամ հեղուկ դիէլեկտրիկներում, ապա մոլեկուլների շարժունակության շնորհիվ լարումը հանելուց հետո ծակված տեղամասը վերականգնում է իր մեկուսիչ հատկությունները: Այս երևույթը կոչվում է էլեկտրական ամրության ինքնավերականգնում:

## 4.2. Գագերի ծակում

Ելնելով հարվածային իոնացման տեսությունից՝ գագերում գոյություն ունեն որոշակի քանակությամբ ազատ լիցքակիրներ՝ իոններ և էլեկտրոններ, (որոնք առաջանում են արտաքին գործոնների շնորհիվ (տես 2.2)), և ինչպես գազի չեզոք մոլեկուլները, կատարում են ջերմային քառային շարժում: Էլեկտրական դաշտի լարվածության աճի դեպքում այդ լիցքերը, ձեռք բերելով լրացուցիչ կինետիկ էներգիա՝  $W_q$ , տեղաշարժվում են էլեկրական դաշտի ուղղությամբ՝

$$W_q = E\alpha\lambda \quad (4.2)$$

որտեղ  $\lambda$ - ն ազատ վագքի միջին երկարությունն է,  
գ-ն՝ լիցքը,

**E-ն՝ կիրառված դաշտի լարվածությունը:**

Եթե այդ լրացուցիչ կինետիկ էներգիան մեծ է տվյալ գազի իոնացման էներգիայից՝  $W_h$  կամ հավասար, ապա ազատ վագքի  $\lambda$  երկարության վրա էլեկտրոնները հանդիպելով գազի չեզոք մոլեկուլներին՝ հարվածում են դրանց և իոնացնում: Այս երևույթը կոչվում է հարվածային իոնոցում, որի պայանն է.

$$W_q \geq W_h \quad (4.3)$$

Իոնացման էներգիան՝  $W_h$ -ն բնութագրվում է իոնացման պոտենցիալով՝  $U_h$ , որը տարբեր գագերի համար գտնվում է 4...25 Վ լարման սահմաններում՝

$$U_h = \frac{W_h}{q} \quad (4.4)$$

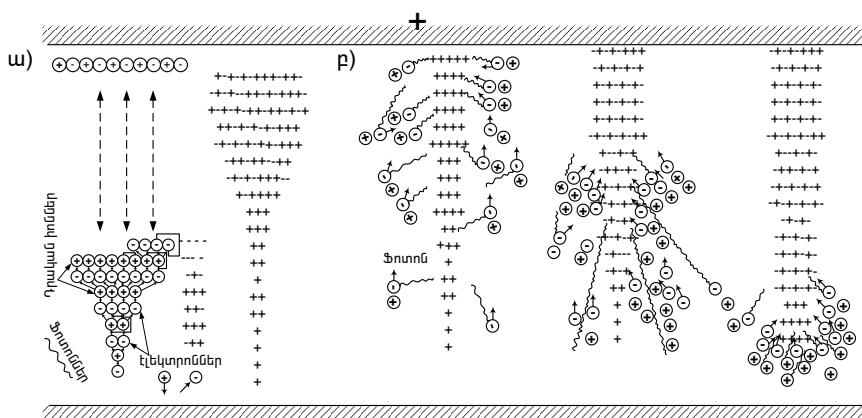
Էլեկտրոնների հարվածային իոնացումը գազի ծակման հիմքն է:  
Հայտնի են գագերի ծակման երկու մեխամիզմներ՝ **հեղեղացին** և **հեղեղաստրիմերային**:

**Հեղեղային ծակումն** առաջանում է ցածր ճնշման դեպքում: Ցածր ճնշման դեպքում ազատ վագքի երկարությունը՝ λ, մեծ է: Էլեկտրոնները այդ երկարության վրա հասցնում են ձեռք բերել համապատասխան արագություն և կինետիկ էներգիա, որպեսզի տեղի ունենա գազի չեզոք մոլեկուլների հարվածային իոնացում: Գազի չեզոք մոլեկուլների հետ բախվելիս առաջանում են նոր ազատ էլեկտրոններ, որոնք իրենց հերթին շարժվելով էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ իոնացնում են ավելի շատ մոլեկուլներ: Այս երևույթի հետևանքով, էլեկտրոնների քանակը գազի հատվածում աճելով, շատ արագ մեծանում է՝ առաջացնելով էլեկտրոնային հեղեղներ: Ընդ որում, ամեն մի նոր ստեղծված հեղեղ նախորդի հետ համեմատած պարունակում է էլեկտրոնների ավելի մեծ քանակ: Այդ հեղեղները, լցվելով մեկը մյուսի մեջ, շարժվելով էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ, հասնում են դրական թիթեղին, և երբ դրանց հաղորդականությունը բավականին բարձր է, տեղի ունենում գազային տարածքի ծակում (նկ.4.1 ա):

**Հեղեղաստրիմերային ծակումը** տեղի է ունենում գազերի բարձր ճնշման դեպքում: Այս դեպքում ազատ վագքի լ երկարությունը, փոքր է: Էլեկտրոնները, շարժվելով էլեկրոտական դաշտի ուղղությամբ, չեն կարող ձեռք բերել համապատասխան արագություն և կինետիկ էներգիա՝ գազի չեզոք մոլեկուլներին իոնացնելու համար: Էլեկտրոնը կարող է իոնացնել գազի մոլեկուլներին, երբ նրա շարժման արագությունը գերազանցում է  $10^6$ մ/վրկ: Էլեկտրոնները, հարվածելով գազի չեզոք մոլեկուլներին, փոխանցումն էներգիան դրան իրենց կինետիկ էներգիան: Մոլեկուլների ներքին էներգիան մեծանում է, մոլեկուլը գրգռվում է: Գրգռված մոլեկուլը ճառագայթում է էներգիա ֆոտոնի տեսքով, որն իր հերթին գրգռում է կամ իոնացնում է հարևան չեզոք մոլեկուլներին: Այսպիսի իոնացումը կոչվում է ֆոտոիոնացում, որը բավարար պայման չէ տվյալ գազային տիրույթի ծակման համար:

Գազային տարածքի ծակման համար անհրաժեշտ է բարձրացնել էլեկտրական դաշտի լարվածությունը, որը կրերի հարվածային իոնացման առաջացման պայմանին (4.3):

Էլեկտրական դաշտի լարվածության աճի դեպքում գազերում առաջանում են էլեկտրոնային հեղեղներ, որոնք առավելագույն զարգացման կիամեն դրական թիթեղի մոտ (քանի, որ դրական իոնների խտությունը հասնում է առավելագույն արժեքի անորի մոտ,  $10^{18}$  իոն  $1\text{m}^3$ -ում): Դրական թիթեղի՝ անորի մոտից էլ սկսվում է դրական ստրիմերի (տարածական դրական լիծքի) զարգացումը: Դրական ստրիմերը անընդհատ ճառագյայթում է ֆոտոններ, որոնք շրջակա միջավայրում առաջացնում են ինտենսիվ ֆոտոիոնացում: Ֆոտոիոնացումից առաջացած էլեկտրոնները ձգվում են դեպի դրական ստրիմեր՝ ճանապարհին առաջացնելով հարվածային իոնացում և էլեկտրոնային հեղեղներ: Դրական ստրիմերը, որը դրական և բացասական լիցքերի ծավալ է, այդ հեղեղների շնորհիվ անընդհատ զարգանում է:



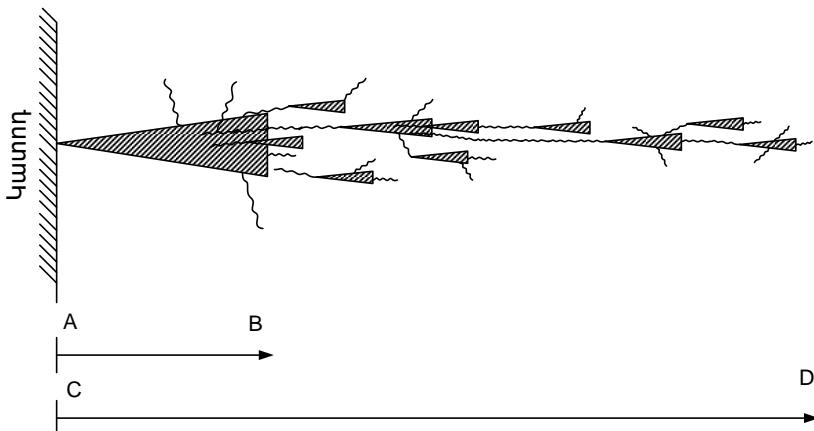
Նկ.4.1. Հեղեղային (ա) և հեղեղաստրիմերային (թ -դրական ստրիմեր) մեխանիզմների առաջացման և զարգացման սխեման

Յայտնի է, որ եթե ուժեղ իոնացված գազի միավոր ծավալում դրական և բացասական լիցքերի քանակը հավասար է, այդ միջավայրը կոչվում է պլազմա և ունի բարձր էլեկտրահաղորդականություն և երրորդ փուլում, եթե այդ ստրիմեր – պլազմա ծավալը հասնում է բացասական թիթեղին՝ կատողին, տեղի է ունե-

նում գազի ծակում (նկ.4.1բ):

Դաշտի գերարձը լարվածության դեպքում գազերի ծակումը բնութագրվում է բացասական ստրիմերի առաջացումով։ Գերբարձը լարվածության դեպքում կատողի մակերեսից անջատվում են էլեկտրոններ (սառը էմիսիա), որոնք ունենալով մեծ էներգիա, առաջացնում են հարվածային իոնիացում և հիմնական էլեկտրոնային հեղեղ (մեծ եռանկյունի), որը ճառագայթում է ֆոտոններ (ալիքային գծեր):

Գազերի ներքին ֆոտոիոնացման շնորհիվ, ֆոտոնի տարածման մեջ արագությունը առաջացնում է գազի բարձր հաղորդականությամբ կանալի արագ զարգացում (նկ.4.2):



Նկ.4.2. Բացասական ստրիմերի զարգացման սխեման

Նկար 4.2-ում պատկերված է էլեկտրահաղորդիչ կանալի (ստրիմերի) աճի արագ զարգացումը՝ համեմատած էլեկտրոնային հեղեղի տեղաշարժման հետ։ Քեղեղները պատկերված են ստվերագծված եռանկյունների տեսքով, իսկ ալիքաձև գծերով պատկերված է ֆոտոնի շարժման ուղիները։ Յուրաքանչյուր կոնի ներսում գազի իոնացումը կատարվում է էլեկտրոնների հարվածով։ Տարանջատված էլեկտրոնները իոնացնում են իրենց ճանապարհին համդիպող մասնիկներին։ Այսպիսով, հեղեղանման աճում

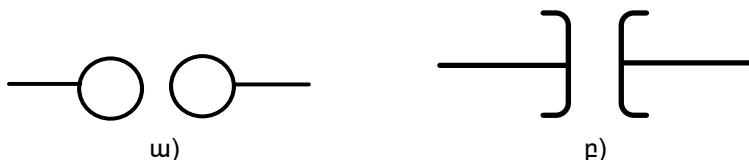
Է դեպի անող շարժվող էլեկտրոնների, ինչպես նաև դրական իոնների քանակը, որոնք շարժվում են դեպի կատոդ: Ալիքաձև գծերը սկիզբ են առնում էլեկտրոնների հարվածներից գրգռված ատոմներից, որի հետևանքով առաջանում է ֆոտոնը:

Այն շարժվելով մեծ արագությամբ, հասնելով և անցնելով հեղեղներին՝ ալիքաձև գծերի վերջում իոնացնում է գազի նասնիկներին: Տարանցատված էլեկտրոնները ձգտելով անող՝ առաջացնում են նոր հեղեղներ՝ շատ ավելի հեռու հիմնական հեղեղից: Այսպիսով, մինչ հիմնական հեղեղը կածի միջև ենթադրենք AB երկարություն, գազի բարձր հաղորդականություն ունեցող կանալը՝ ստրիմները, արդեն տարածվում է և հասնելով արող տարածքի CD երկարության՝ հանգեցնում է գազի ծակնանը (նկ. 4.2):

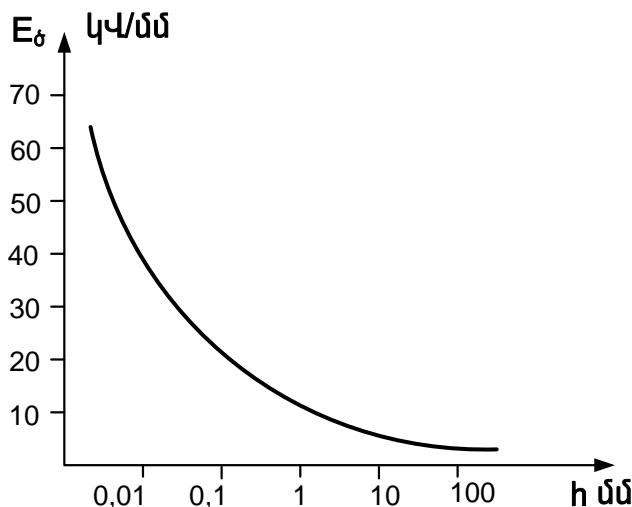
**Գազերի ծակումը կախված է էլեկտրական դաշտի համասեռությունից.**

**Դիտարկեմք գազերի ծակումը համասեռ էլեկտրական դաշտում:**

Համասեռ դաշտ կարելի է ստանալ 2 մետաղական գնդերի (ա) կամ 2 հարթ կորացված մետաղական թիթեղների (բ) միջև, երբ դ+ - բանց չափսերը շատ մեծ են նրանց միջև եղած հեռավորությունից, ընդ որում ծակումը կատարվում է ակնթարթորեն, ծակնան լարման որոշակի արժեքի դեպքում մետաղական թիթեղների միջև առաջանում է էլեկտրական կայժ, որը կարող է վերածվել էլեկտրական աղեղի, եթե սնող աղբյուրը բավականին հզոր է:



Գազերի էլեկտրական ամրությունը կախված է թիթեղների միջև հեռավորությունից, օրինակ օդի համար նորմալ պայմաններում ( $f=50\text{Hz}$ ,  $t=20^\circ\text{C}$ ,  $p=0.1\text{U}\text{Pa}$ ): Այդ կախվածությունը ունի հետևյալ տեսքը.

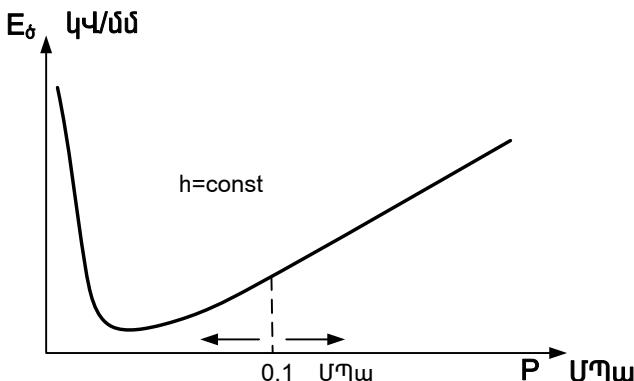


Նկ. 4.3. Օդի էլեկտրական ամրության կախվածությունը թիթեղմերի միջև եղած հեռավորությունից համասեռ դաշտում

Շրջադիրների միջև եղած հեռավորության մեծացման հետ նվազում է էլեկտրական ամրությունը, քանի որ պարպման առաջացման հավանականությունը փոքրանում է:

Շրջադիրների միջև եղած փոքր հեռավորության դեպքում էլեկտրական ամրությունը՝  $E_d$ -ն մեծանում է, քանի որ պարպում առաջանալու հավանականությունը դժվարանում է:

Գագերի էլեկտրական ամրությունը խիստ կախված է ճնշումից և ունի հետևյալ տեսքը.



Նկ. 4.4. Գազերի էլեկտրական ամրության կախումը ճնշումից

Եթե ճնշումը մեծ է մեկ մբնոլորդից ( $0,1\text{ MPa}$ ), ապատ վազքի միջին երկարությունը փոքրանում է, կինետիկ էներգիան բավարար չէ հարվածային իոնացման առաջացման համար: Այդ պատճառով էլեկտրական դաշտի լավածությունը՝  $E$ -ն, մեծացնում ենք 4.3 պայմանը ապահովելու համար:

Եթե ճնշումը փոքր է մեկ մբնոլորտից, էլեկտրական ամրությունը մի փոքր նվազելով՝ նորից աճում է: Դա բացատրվում է նրանով, որ ցածր ճնշումների դեպքում գազը նոսրանում է՝ ձգտելով վակուումային վիճակի: Մոլեկուլների քանակը միավոր ծավալում կտրուկ նվազում է, փոքրանում է լիցքակիրների բախման հավանականությունը: Իոնացման պայմանը ապահովելու նպատակով (4.3) էլեկտրական դաշտի լարվածությունը՝  $E$ -ն, մեծացնում ենք:

#### **Դիտարկենք գազերի ծակումը անհամասեռ դաշտում:**

Անհամասեռ դաշտ կարելի է ստանալ 2 մետաղական ասեղի հարթություն (ա) կամ ասեղ-ասեղ (բ) շրջադիրների միջև:



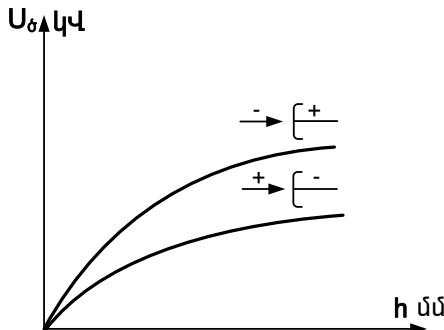
ա)



բ)

Դիտարկենք ասեղ հարթության դեպքը.

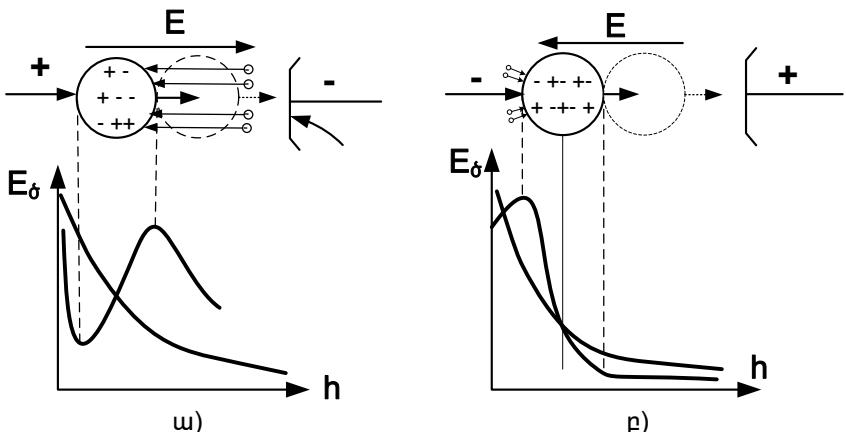
Գազերի ծակումը անհամասեռ դաշտում բացատրվում է պսակի տեսքով (պսակային պարպում) նաև ակի պարպման առաջացումով: Ծակման լարման կախվածությունը թիթեղների միջև եղած հեռավորությունից հաստատում լարման դեպքում ունի հետևյալ տեսքը (նկ.4.5.)



Նկ.4.5. Ծակման լարման կախվածությունը շրջադիրների միջև եղած հեռավորությունից անհամասեռ դաշտի դեպքում

Ինչպես երևում է այս կախվածություններից, ասեղի բացասական բևեռականության դեպքում գազը ծակվում է ավելի բարձր լարման տակ, քան ասեղի դրական բևեռականության դեպքում, որը բացատրվում է հետևյալ կերպ (նկ. 4.6 ա, բ):

Ելեկտրոդների ցանկացած բևեռականության դեպքում հարվածային իոնացումն առաջանում է ասեղի մոտ: Դրական իոնների փոքր շարժունակության պատճառով ասեղի եզրին կուտակվում է դրական իոնների ամազ: Դրական ասեղի դեպքում (նկ. 4.6 ա) դրական իոնային ամազը նպաստում է պարպման առաջացմանը: Բացասական ասեղի դեպքում (նկ. 4.6 բ) դրական իոնային ամազը խոչընդոտում է պարպման առաջացմանը: Այդ պատճառով էլ ասեղի բացասական բևեռականության դեպքում գազը ծակվում է ավելի բարձր լարման տակ, քան ասեղի դրական բևեռականության դեպքում:



Նկ.4.6. Էլեկտրական ամրության կախվածությունը թիթեղների միջև  
եղած հեռավորությունից անհամասնո դաշտի դեպքում

### 4.3. Հեղուկ դիէլեկտրիկների ծակումը

Հեղուկ դիէլեկտրիկների էլեկտրական ամրությունը շատ անգամ մեծ է, քան գազերինը: Դա բացատրվում է էլեկտրոնների ազատ վազքի փոքր երկարությամբ: Հեղուկ դիէլեկտրիկներում միշտ գոյություն ունեն տարբեր տեսակի խառնուրդներ (գազային միացումներ, կարծր մասնիկներ, ջրի կաթլներ), որոնք դժվարացնում են հեղուկ դիէլեկտրիկի ծակման տեսությունը: Գոյություն ունի հեղուկ դիէլեկտրիկիների ծակման 2 հիմնական տեսություն՝

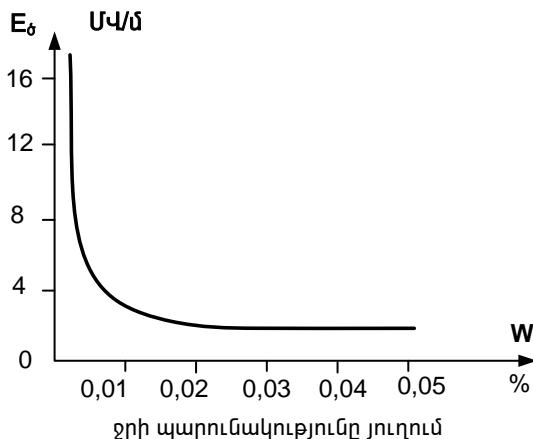
- 1) Մաքուր էլեկտրական ծակման տեսություն:
- 2) Զերմային ծակման տեսություն:

Պետք է նշել, որ այս 2 տեսությունները կարող են հանդես գալ միաժամանակ:

Մաքուր էլեկտրական ծակման տեսությունը գործում է խառնուրդներից առավելագույնս մաքրված է հեղուկներում: Դաշտի բարձր լարվածության տակ տեղի է ունենում էլեկտրոնների անջատում մետաղական թիթեղից (սառը էմիսիա), հեղուկում առաջանում է հարվածային իոնացում և էլեկտրոնային հեղեղներ, որի հետևանքով էլ տեղի է ունենում հեղուկի մոլեկուլների քայլայում:

Ձերմային ծակման տեսությունը իրավացի է խառնուրդներ ունեցող հեղուկ դիէլեկտրիկների համար: Խառնուրդների ամենամեծ կուտակման տիրույթներում տեղի են ունենում ջերմային կորուստներ, որոնք բերում են հեղուկի տաքացմանը՝ առաջացնելով գազային ներմուծվածքներ, որոնք հանգեցնում են հեղուկի ծակմանը:

Հեղուկների էլեկտրական ամրությունը կախված է խոնավությունից, որն առկա է հեղուկ դիէլեկտրիկում էնուլսիայի տեսքով: Էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ ջրի կաթիլները ըստուանում են, և շրջադիրների մեջ ստեղծում են հաղորդիչ շղթաներ, որոնցով էլ տեղի է ունենում հեղուկի ծակումը, օրինակ տրամս-ֆորմատորային յուղի համար այդ կախվածությունն ունի հետևյալ տեսքը (նկ.4.7):



Նկ.4.7. Էլեկտրական ամրության կախվածությունը խոնավությունից տրամս-ֆորմատորային յուղի համար

Հեղուկ դիէլեկտրիկների մաքրումը հատկապես յուղերից, զգալիորեն մեծացնում է էլեկտրական ամրությունը: Օրինակ, շմաքրված տրամս-ֆորմատորային յուղի էլեկտրական ամրությունը՝  $E_d=4$  կՎ/մմ է, մաքրումից հետո էլեկտրական ամրությունը փոքրանում է մինչև 20 - 25 կՎ/մմ:

#### **4.4. Կարծր դիէլեկտրիկների ծակումը**

Կարծր դիէլեկտրիկներում կա ծակման չորս հիմնական մեխանիզմ:

Դիտարկենք՝

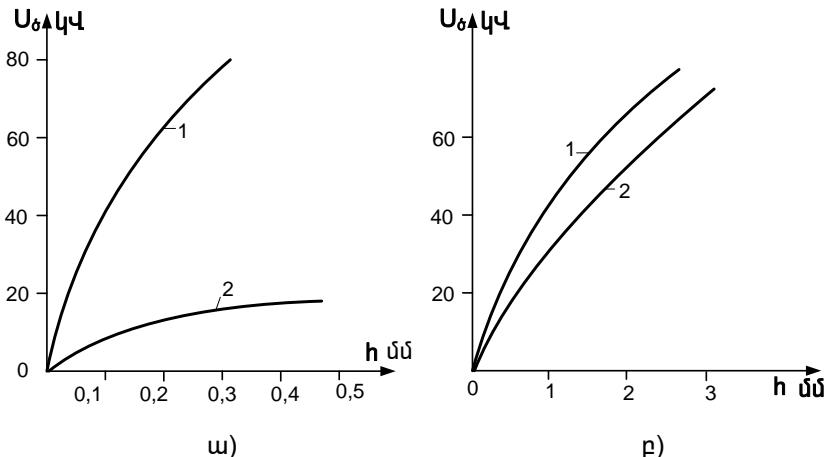
1.Մաքուր էլեկտրական ծակում մակրոսկոպիկ համասեռ դիէլեկտրիկում:

2.Էլեկտրական ծակում անհամասեռ դիէլեկտրիկում:

3.Էլեկտրաջերմային ծակում:

4.Էլեկտրաքիմիական ծակում:

1. *Մաքուր էլեկտրական ծակում մակրոսկոպիկ համասեռ դիէլեկտրիկում* բնութագրվում է արագ զարգացումով ( $10^{-7} \dots 10^{-8}$ ), որը պայմանավորված չէ ջերմային էներգիայով: Մաքուր էլեկտրական ծակումը մակրոսկոպիկ համասեռ դիէլեկտրիկում պայմանավորված է այնու մարմնում հարվածային իոնացման և էլեկտրոնային հեղեղների առաջացումով: Այն տեղի է ունենում էլեկտրական դաշտի բարձր լարվածության դեպքում և մաքուր էլեկտրոնային ալոցես է: Մաքուր էլեկտրական ծակման դեպքում բացառվում է էլեկտրահաղորդականության և դիէլեկտրիկական կորուստների ազդեցությունը, ինչպես նաև բացակայում է զագային ներամփոփումների իոնացումը: Դանասեռ կարծր դիէլեկտրիկների ծակման լարման կախումը դիէլեկտրիկի հաստությունից համասեռ և անհամասեռ դաշտերում ունի հետևյալ տեսքը.



Նկ.4.8. Ծակման լարման կախումը հաստությունից, երբ  $f=50 \text{ N/m}$

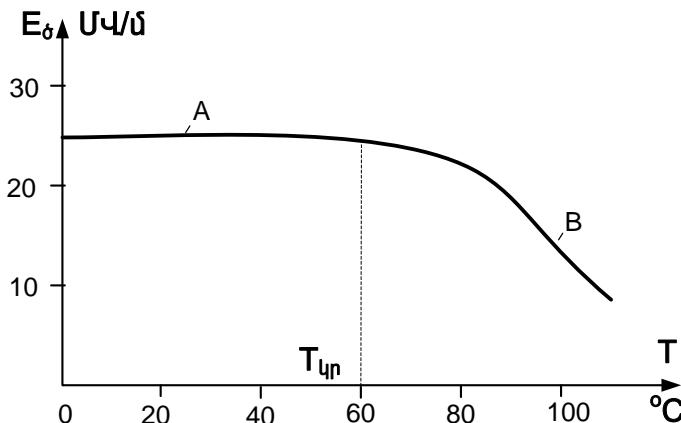
ա) տեխնիկական ապակու համար, բ) տեխնիկական կերամիկայի համար, 1-համասեռ դաշտ, 2- խիստ անհամասեռ դաշտ

2. Էլեկտրական ծակումը անհամասեռ դիէլեկտրիկում բնութագրվում է արագ զարգացումով, ինչպես և առաջին դեպքում այն տեղի է ունենում բոլոր տեխնիկական դիէլեկտրիկներում:

Ընդունում են, որ անհամասեռ կարծը դիէլեկտրիկիների էլեկտրական ամրությունը կախված չէ դիէլեկտրիկի հաստությունից, սակայն այն ճիշտ է միայն փոքր հաստությունների դեպքում՝  $0.05 \dots 0.5 \text{ m}$ , երբ դեֆեկտային կետերի քանակը քիչ է: Դիէլեկտրիկի հաստության մեծացման դեպքում, նմուշի կառուցվածքի անհամասեռությունը մեծանում է, դեֆեկտային կետերի քանակն աճում է, որի հետևանքով նմուշի էլեկտրական ամրությունը փոքրանում է:

Անհամասեռ դիէլեկտրիկների էլեկտրական ամրությունը կախված չէ ջերմաստիճանից (Ա հատվածը), բայց մինչև ջերմաստիճանի որոշակի կրիտիկական արժեքների, որից բարձր արժեքների դեպքում զարգանում են ջերմային քայլայման պրոցեսները, որը բերում է էլեկտրական ամրության փոքրացման (Բ հատվածը),

օրինակ, էլեկտրատեխնիկական ճենապակու համար՝ (նկ.4.9):



Նկ.4.9. Էլեկտրատեխնիկական ճենապակու էլեկտրական ամրության կախվածությունը ջերմաստիճանից  $f=50$  Հց դեպքում

3. Էլեկտրաջերմային ծակումը կարծի դիէլեկտրիկներում բնութագրվում է ջերմային հավասարակշռության պայմանի ( $P=Q$ ) խախտունով, որն առաջացնում է դիէլեկտրիկների գերտաքացում:

Որպեսզի դիէլեկտրիկի գերտաքացում տեղի չունենա, պետք է ճիշտ ընտրել և հաշվարկել կիրառվող թույլատրելի լարումը: Այդ հաշվարկը և ընտրությունը կատարվում է՝ Ելնելով դիէլեկտրիկի ջերմային հավասարակշռության պայմանից, որի եռթյունը հետևյալն է՝ դիէլեկտրիական կորուստների պատճառով դիէլեկտրիկում առաջացած ջերմային հզորությունը՝  $P$ , պետք է հավասար կամ փոքր լինի դիէլեկտրիկից հեռացվող, շրջապատին տրվող ջերմային հզորությանը՝  $P \leq Q$ : Դիէլեկտրիկական կորուստներից առաջացած ջերմային հզորությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$P_{\eta} = U^2 \omega C t g \delta \quad (4.4)$$

որտեղ  $U$  -ն կիրառված լարումն է,

$\omega$ -ն անկյունային հաճախությունն է,

C - ն դիէլեկտրիկի ունակությունն է,  
tgδ -ն դիէլեկտրիկական կորուստների անկյան տանգենսն  
է, այստեղ ընդունում ենք հաստատուն:

Նմուշից անջատվող ջերմային հզորությունն արտահայտվում  
է հետևյալ բանաձևով.

$$Q = \alpha \cdot S(T - T_0) \quad (4.5)$$

որտեղ  $\alpha$ -ն ջերմահաղորդականության գործակիցն է,

S - ը նմուշի մակերեսն է,

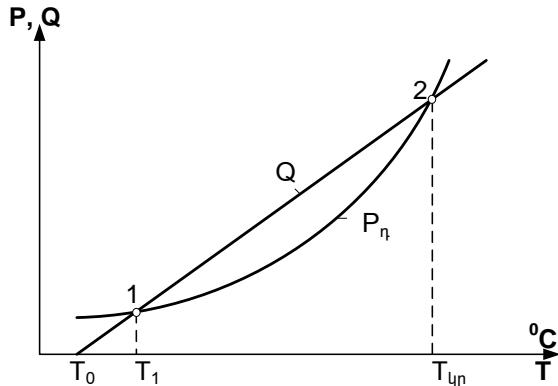
$T_0$  -ն շրջապատող միջավայրի ջերմաստիճանն է,

$T$ -ն դիէլեկտրիկի ջերմաստիճանն է:

Այսպիսով ջերմային հավասարակշռության պայմանը կլինի՝

$$U^2 \omega C t g \delta \leq \alpha S(T - T_0) \quad (4.6)$$

Ջերմային հավասարակշռության պայմանը գրաֆիկորեն ունի  
հետևյալ տեսքը (նկ.4.10):



Նկ.4.10. Ջերմային հավասարակշռության պայմանը

Առաջին կետը կոչվում է կայուն, որի համար (4.6) արտահայտությունից կարող ենք հաշվել աշխատանքային լարումը՝

$$U_{\omega_2hu} = \sqrt{\frac{\alpha \cdot S(T_{1\omega_2hu} - T_0)}{\omega C t g \delta_1}} \quad (4.7)$$

Երկրորդ կետի համար (նույն բանաձից), որը կայուն չէ, գտնում ենք ծակման կրիտիկական լարումը՝

$$U_{u_1} = \sqrt{\frac{\alpha \cdot S(T_{2u_1} - T_0)}{\omega C t g \delta_2}} \quad (4.8)$$

4. Էլեկտրաքիմիական ծակումը տեղի է ունենում օդի բարձր ջերմաստիճանի և խոնավության դեպքում: Այս ծակման տեսակը դիտվում է հաստատուն և ցածր հաճախության փոփոխական լարման դեպքում, երբ դիէլեկտրիկում զարգանում են դանդաղ ընթացող էլեկտրոլիտիկ պրոցեսներ, որոնք բերում են դիէլեկտրիկի դիմադրության փոքրացմանը: Այս երևույթը կոչվում է դիէլեկտրիկի ծերացում էլեկտրական դաշտում, որի զարգացման համար պահանջվում է երկար ժամանակ:

## 5. ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿՆԵՐԻ ՁԵՐՄԱՅԻՆ ԴԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Դիէլեկտրիակական նյութ ընդուլիս անհրաժեշտ է հաշվի առնել ոչ միայն նրա էլեկտրական այլ նաև ջերմային հատկությունները: Դիէլեկտրիկների ջերմային հատկություններն են՝ ջերմակայումություն, ջրտակայումություն, ջերմահաղորդականություն, ջերմային ընդարձակում:

1. Ջերմակայումությունը դիէլեկտրիկի ընդունակությունը երկարատև առանց քայլայման դիմանալն է կիրառված բարձր ջերմաստիճանին և վերջինիս կտրուկ փոփոխությանը: Անօրգանական դիէլեկտրիկների ջերմակայումությունը որոշվում է էլեկտրամեկուսիչ հատկությունների զգալի փոփոխությամբ՝  $\rho_v$ -ի նվազումով և  $t_{\text{deg}} - \text{n}$  կտրուկ աճով: Օրգանական դիէլեկտրիկների ջերմակայումությունը որոշվում է մեխանիկական դեֆորմացիաների (ձգում, ծռում) առաջացումով, ինչպես նաև էլեկտրամեկուսիչ հատկությունների զգալի փոփոխությամբ՝  $\rho_v$ -ի նվազումով և  $t_{\text{deg}} - \text{n}$  կտրուկ աճով: Ջերմակայումությունը գնահատվում է ջերմաստիճանի  $t = 0^\circ\text{C}$ -ի արժեքով, որի դեպքում տեղի են ունեցել այդ փոփոխությունները:

Հեղուկ դիէլեկտրիկների ջերմային հատկությունները բնութագրվում են *բռնկման* և *բոցավառման* ջերմաստիճաններով: Հեղուկի բռնկման ջերմաստիճանը հեղուկի այն ջերմաստիճանն է, որի տաքացման դեպքում նրա գոլորշիների խառնուրդը օդի հետ բռնկվում է փոքր կրակի մոտեցման դեպքում: Հեղուկի բոցավառման ջերմաստիճանը ավելի բարձր է, որի դեպքում կրակ մոտեցմելիս վառվում է ինքը՝ հեղուկը:

Եթե էլեկտրամեկուսիչ նյութի որակի վատացումը հայտնաբերվում է բարձր ջերմաստիճանի երկարատև ազդեցության դեպքում դանդաղ ընթացող քիմիական պրոցեսների առաջացումով, այդ երևությը կոչվում է դիէլեկտրիկի ջերմային ժերացում:

Էլեկտրական սարքավորումների մեկուսացման համար օգտագործվող նյութերը ըստ գործող ստանդարտի բաժանվում են

ջերմակայունության դասերի, ընդ որում, ամեն մի դասի համար սահմանվում է որոշակի առավելագույն աշխատանքային ջերմաստիճան:

Ջերմակայունության դասերը	Ջերմաստիճանները ( $^{\circ}\text{C}$ )
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	>180

**2. Ցրտակայունությունը,** դիելեկտրիկի ընդունակությունն է՝ առանց քայլայման աշխատել ցածր ջերմաստիճանների ( $-60\dots-70^{\circ}\text{C}$ ) և ավելի ցածր (*կրիոգենային*) ջերմաստիճանների տակ: Ցածր ջերմաստիճաններում մեկուսիչ նյութերի էլեկտրական հատկությունները սովորաբար լավանում են: Սակայն նորմալ պայմաններում ճկուն և էլաստիկ շատ նյութեր ցածր ջերմաստիճաններում դառնում են փխրուն և ավելի կոշտ: Էլեկտրամեկուսիչ նյութերի և դրանցից պատրաստված իրերի ցրտադիմացկունության ստուգումը հաճախ կատարվում է միաժամանակ վիբրացիայի ազդեցության պայմաններում:

**3. Ջերմահաղորդականության** կարևոր նշանակությունը բացատրվում է նրանով, որ էլեկտրական մեքենաների, տրանսֆորմատորների, ապարատների հաղորդալարերում և մագնիսալարերում, ինչպես նաև կաբելների հոսանքատար ջղերում ջերմային կորուստների շնորհիվ առաջացած ջերմային հոսքը պետք է շրջապատող միջավայր անցնի մեկուսացման շերտով, որն ունի որոշակի ջերմային դիմադրություն: Այսպիսով, էլեկտրական մեկուսացման ջերմահաղորդականությունից է կախված հաղորդալարերի և մագնիսալարերի գերտաքացումը: Դատուկ նշանակություն ունի համեմատաբար հաստ մեկուսիչների ջերմահաղորդա-

կանությունը բարձր լարման և մեծ հզորության սարքավորումներում: Զերմահաղորդականությունը կարևոր դեր է խաղում էլեկտրաջերմային ծակման զարգացման (տես 4.3.3) և նյութի դիմացկունության վրա ջերմահարվածների նկատմամբ:

Զերմահաղորդականությունը բնութագրվում է տեսակարար ջերմահաղորդականությամբ՝  $v_T$ , որը որոշվում է միավոր ժամանակում միավոր մակերեսով 1 Կ/մ ջերմաստիճանային գրադիենտի դեպքում և մտնում է Ֆուրյեի հավասարման մեջ:

$$\Delta P_T = v_T \left( \frac{dT}{d\ell} \right) \Delta S \quad (5.1)$$

որտեղ  $\Delta P_T$ - ջերմային հոսքի հզորությունն է է, որը անցնում է  $\Delta S$  մակերեսին ուղղահայաց,  $\frac{dT}{d\ell}$  - ջերմաստիճանի գրադիենտն է :

**4. Զերմային ընդարձակումը** բնութագրվում է գծային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակցով՝

$$TK\ell = \alpha_\ell = \frac{1}{\ell} \frac{d\ell}{dt} \text{ (աստ}^{-1}) \quad (5.2)$$

Նյութերի ջերմակայունության և գծային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակցի միջև կա հետևյալ կապը. այն նյութերը, որոնք ունեն փոքր  $\alpha_\ell$ , որպես կանոն, ունեն բարձր ջերմակայունության և հակառակը:

## 6. ԷԼԵԿՏՐԱՍԵԿՈՒՍԻՉ ՆՅՈՒԹԵՐ

### 6.1. Գազային դիէլեկտրիկուլեր

Գազային դիէլեկտրիկուլերը, որպես էլեկտրամեկուսիչ նյութեր, ունեն հետևյալ առավելությունները.

- 1) մեծ տեսակարար դիմադրություն՝  $\rho$ ,
- 2) փոքր դիէլեկտրիկական թափանցելիություն՝  $\epsilon$ ,
- 3) դիէլեկտրիկական կորուստների անկյան փոքր տանգենս՝  $\tg\delta$ ,
- 4) էլեկտրական ամրության ինքնավերականգնում:

Գազային էլեկտրամեկուսիչ նյութերի թերությունը ցածր էլեկտրական ամրությունն է: Օդը գազային դիէլեկտրիկուլերից է: Օդը շատ հաճախ օգտագործում են էլեկտրական սարքավորումների կառուցվածքում: Օրինակ, էլեկտրահաղորդման օդային գծերի հենարանների տեղամասում օդը միակ մեկուսիչն է մերկ լարերի համար: Օդի համար  $\epsilon=1.00058$ ,  $E_d=3\text{ՄՎ}/\text{մ}$ , երբ էլեկտրոդների միջև եղած հեռավորությունը 1 սմ է: Գազային դիէլեկտրիկուլերից, բացի օդից, մեծ կիրառում են գտել հետևյալ գազերը:

**Էլեգազ (SF<sub>6</sub>)** – լր ֆոտորային ծծումբ՝ SF<sub>6</sub> է: էլեկտրական ամրությունը 2.5 անգամ մեծ է օդի էլեկտրական ամրությունից և 5 անգամ ծանր է օդից: Եռնան ջերմաստիճանը  $-64^{\circ}\text{C}$  է: Էլեգազը սեղմվում է մինչև 20 մթն. ճնշման տակ առանց հեղուկանալու: Քիմիապես կայուն և ոչ թունավոր գազ է: Մինչև  $800^{\circ}\text{C}$  տաքացնելու դեպքում կայուն է և չի փոխում իր հատկությունները: Հիմնականում օգտագործում են կարելներում և կոնդենսատորներում:

**Ֆրեոն (CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>)** – ֆրեոնի էլեկտրական ամրությունը շատ մոտ է էլեգազի էլեկտրական ամրությանը: Եռնան ջերմաստիճանը  $-28^{\circ}\text{C}$  է: Ֆրեոնը սեղմվում է մինչև 6 մթն. ճնշման տակ առանց հեղուկանալու: Այն կարող է առաջացնել որոշ օրգանական կարծր դիէլեկտրիկուլերի կոռոզիա, որը պետք է հաշվի առնել էլեկտրական սառնարանների նախագծման ժամանակ:

**Զրածին (H<sub>2</sub>)** – Օդի փոխարեն լայն կիրառում է գտել զրածինը,

այն շատ թերեւ գազ է: Զրածինը հիմնականում օգտագործում են որպես հովացնող միջավայր էլեկտրական մեքենաներում, որի շնորհիվ շատ անգամ փոքրանում են ռոտորի պտտման ժամանակ շփման ուժերից առաջացած կորուստները: Բացի այդ, ջրածնի միջավայրում տեղի չի ունենում փաթութալարերի մեկուսացման օքսիդացում, որը նպաստում է մեկուսացման դանդաղ ծերացմանը: Բացի դրանից, կարծ միացման ժամանակ ջրածնի միջավայրում հրդեհ չի առաջանում, քանի որ թթվածինը բացակայում է:

Էլեկտրավակուումային տեխնիկայում լայնորեն օգտագործում են գտել իներտ գազերը (արգոն, նեոն և այլն), որոնք ունեն շատ ցածր էլեկտրական ամրություն, ամենացածր էլեկտրական ամրություն ունի հելիումը, որը նույն 17 անգամ ցածր է, քան օդինը:

## 6.2. Հեղուկ դիէլեկտրիկներ

Հեղուկ դիէլեկտրիկները բաժանվում են երկու մասի՝ նավթային յուղեր և սինթետիկ հեղուկ դիէլեկտրիկներ:

**Նավթային յուղեր:** Նավթային յուղերից էլեկտրատեխնիկայում լայն կիրառում են գտել տրանսֆորմատորային, կաբելային և կոնդենսատորային յուղերը: Այն օգտագործում են ուժային տրանսֆորմատորներում, որպեսզի մեկուսացվեն և տոգորվեն բոլոր օդային տարածքները, բոլոր միջփաթութային տարածքները, միջուկը մեկուսացվում է մետաղական իրանից: Եվ երկրորդ, հովացնող միջավայր է ուժային տրանսֆորմատորներում, որպեսզի հեռացվի ջերմությունը, որն առաջանում է գումարային կորուստների պատճառով (ջողովան կորուստները հաղորդալարերում, կորուստները մագնիսալարերում և դիէլեկտրիկական կորուստները): Տրանսֆորմատորային յուղը լայնորեն կիրառվում է նաև բարձր լարման յուղային անջատիչներում: Նրա օգնությամբ մարվում է էլեկտրական աղեղը, որը կարող է առաջանալ անջատիչի միացման կամ անջատման ժամանակ: Տրանսֆորմատորային յուղը ստանում են նավթից՝ կրեկինգից. թափանցիկ անգույնից մինչև մուգ դեղին գույնի հեղուկ է: Գործնականորեն ոչ բևեռային դիէլեկտրիկ է: Էլեկտրամեկուսիչ հատկությունները հետևյալներն են՝

$t_{\delta}=0.003$ ,  $t=20^{\circ}\text{C}$ ,

$t_{\delta}=0.025$ ,  $t=70^{\circ}\text{C}$ :

Շահագործվող տրամսֆորմատորներում՝  $\varepsilon=2,2\dots2,3$ ,  $E_{\delta}=10\dots20$  ՄՎ/մ: Տրամսֆորմատորային յուղը վառվող նյութ է: Նրա այրման աստիճանը բնութագրվում է բռնկման ջերմաստիճանով, որը պակաս չէ  $+135^{\circ}\text{C}$ -ից: Սարեցման ջերմաստիճանը -  $45^{\circ}\text{C}$  է: Կինեմատիկական մածուցիկությունը  $+20^{\circ}\text{C}$ -ի դեպքում  $30$  CCT (CCT -սանտիստոքս) է, իսկ  $65^{\circ}\text{C}$ -ի դեպքում  $9.6$  CCT: Տրամսֆորմատորային յուղի ու մյուս բոլոր յուղերի էլեկտրական ամրությունը պետական ստանդարտով նորմավարված չէ, քանի որ շահագործման ժամանակ յուղը փոխում է իր էլեկտրական ամրությունը: Սովորաբար տրամսֆորմատորային յուղը երկարատև օգտագործման ժամանակ ծերանում է, այսինքն՝ վատանում են նրա էլեկտրամեկուսաչափի հատկությունները: Որպեսզի լավացվի և բարձրացվի էլեկտրական ամրությունը, յուղն անընդհատ ենթարկվում է մաքրման, որի ընթացքում հատուկ ֆիլտրերի օգնությամբ, որոնք գտնվում են տրամսֆորմատորի իրանում, յուղը մաքրվում է, որը նորից օգտագործվում է: Յուղից գազերը և խոնավությունը վերացնելու համար, այն ենթարկվում է դեգազացման և ռեգեներացիայի:

Կարելային յուղերն օգտագործում են էլեկտրական ուժային կարելերի արտադրության մեջ: Տոգորված թղթյա մեկուսացումում կարելային յուղը բարձրացնում է նրա էլեկտրական ամրությունը և օգնում է ջերմության հեռացնանը:

Կոնդենսատորային յուղը ծառայում է թղթե և թաղանթե կոնդենսատորների տոգորման համար, որի շնորհիվ մեծանում է դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը և էլեկտրական ամրությունը: Տրամսֆորմատորային յուղը տարբերվում է իր առանձնահատուկ մաքրությամբ:

*Սինթետիկ հեղուկ դիէլեկտրիկներ:* Որոշ սինթետիկ հեղուկ դիէլեկտրիկներ իրենց հատկություններով գերազանցում են նավթային էլեկտրամեկուսիչ յուղերին: Սինթետիկ հեղուկ յուղերից

Էլեկտրատեխնիկայում լայն կիրառում են գտել քլորացված ածխա-ջրածինները, սիլիցիումօրգանական հեղուկները և ֆտորօրգա-նական հեղուկները:

– Քլորացված ածխաջրածիններ: Քլորացված ածխաջրածին-ները ստանում են հիմնականում տարբեր ածխաջրածիններից՝ դրանց մոլեկուլներում ջրածնի որոշ ատոմները փոխարինելով քլորի ատոմներով: Քլորացված ածխաջրածիններից լայն կիրա-ռում է ստացել սովոլը ( $C_{12}H_5Cl_5$ ), որը թափանցիկ անգույն հեղուկ է: Նրա խտությունը  $1500 \text{ կգ}/\text{մ}^3$  է, մածուցիությունը  $65^\circ\text{C}$ -ի դեպ-քում  $20...30 \text{ CCT}$  է, որի պատճառով այն տրանսֆորմատորնե-րում չի օգտագործվում: Այն օգտագործում են կոնդենսատորների տոգորման համար: Սովորի համար  $\varepsilon=5$ ,  $tg\delta=0,01...0,03$ ,  $E_\delta=20 \text{ ՄՎ}/\text{մ}$ : Թերությունն այն է, որ թունավոր և ոչ ցրտակայում հեղուկ է:

– Սիլիցիումօրգանական հեղուկներ: Ունեն շատ փոքր  $tg\delta$  և բարձր ջերմակայունություն: Սիլիցիումօրգանական հեղուկները լայն կիրառում են գտել կաբելների և կոնդենսատորների տոգոր-ման և լցման համար: Աշխատանքային ջերմաստիճանը՝  $t_{\omega\eta}= -60^\circ\text{C}...+200^\circ\text{C}$ : Բոնկման ջերմաստիճանը ոչ ցածր  $+150^\circ\text{C}$ , սառեցմանը ջերմաստիճանը ոչ բարձր  $-60^\circ\text{C}$ -ից: Էլեկտրական հատկությունները են՝  $\rho_v=10^{11}...10^{12} \text{ } \Omega\cdot\text{մ}$ ,  $\varepsilon=2,4...2,7$ ,  $tg\delta=(3...8)10^{-4}$ ,  $E_\delta=20 \text{ ՄՎ}/\text{մ}$ : Այս հեղուկի թերությունը նրա թան-կությունն է:

– Ֆտորօրգանական հեղուկներ: Ինչպես սիլիցիումօրգա-նական, այնպես էլ ֆտորօրգանական հեղուկները ունեն շատ փոքր  $tg\delta$  և բարձր ջերմակայունություն: Ապահովում են ավելի ինտենսիվ ջերմահեռացում, քան նավթային յուղերը: Ֆտորօրգա-նական հեղուկների առավելությունը սիլիցումօրգանական հե-ղուկների նկատմամբ՝ բացարձակ չայրելիությունն է: Թերությունը դրանց թանկ լինելն է:

### 6.3. ԽԵԺԵՐ

ԽԵԺԵՐԸ լինում են երկու տեսակի՝ բնական և սինթետիկ:

- **Բնական խեժեր:** Բնական խեժերը իրենցից ներկայացնում են տարրեր կենդանի օրգանիզմների կենսագործունեության արդյունք են (շելլակ): Լինում են նաև բուսական խեժեր (կանիֆոլ): Սրանք ստանում են բնական վիճակում, ենթարկվում են մաքրման և վերամշակման:

**Շելլակ** - հանդիպում են արևադարձային երկրներում ծառերի ճյուղերի վրա: Որոշ թռչունների օրգանիզմի կենսագործունեության արդյունք է: Բարդ կառուցվածքի օրգանական թթու է, լավ լուծվում է սպիրուտի մեջ, չի լուծվում ածխաջրածիններում: Դիմնականում օգտագործում են որպես սոսինձ որոշ էլեկտրամեկուսիչ ժապավենների կամ նյութերի միացման համար: Էլեկտրական հատկություններն են՝  $\rho_v=10^{13}...10^{14}$  Ω·մ,  $tg\delta=0.01$   $\varepsilon=3,5$ ,  $E_\delta=20...30$  ՄՎ/մ:  $50...60^\circ\text{C}$  ջերմատիճանի դեպքում այն փափկում է և հալչում:

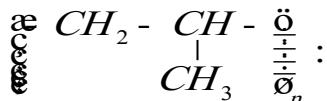
**Կանիֆոլ** - ստանում են սոճու բնական խեժից, ենթարկվում է մաքրման և վերամշակման: Լայն կիրառում է գտել եռակցման համար: Օգտագործում են թղթայուղային մեկուսացման ուժային կարեներում և նավթային յուղերում որպես բաղադրություն: Կանիֆոլով տողորում են թղթամեկուսացումը: Էլեկտրական ամրությունը՝  $\rho_v=10^{13}...10^{14}$  Ω·մ,  $tg\delta=3 \cdot 10^{-3}$   $\varepsilon=2,8$ ,  $E_\delta=10...15$  ՄՎ/մ է:  $50...60^\circ\text{C}$  ջերմատիճանի դեպքում այն փափկում և հալչում է:

**Կոպալներ** - Բավականին ամուր, դժվարահալ և դժվար լուծվող խեժեր են: Առաջանում են ծառերի քայլայման հանածոներում: Որպես խեժ ավելացնում են յուղային լաքերում՝ դրանց մածուցիկությունը բարձրացնելու նպատակով: Կոպալներից հայտնի է սաթը (յանտարը): Էլեկտրական հատկությունն են՝  $\varepsilon=2,8$ ,  $tg\delta=0.002...0.033$ ,  $\rho_v=10^{15}...10^{17}$  Ω·մ, էլեկտրական ամրությունը մինչև 20 ՄՎ/մ է:

- **Սինթետիկ խեժեր:** Սինթետիկ խեժերը բարձր մոլեկուլային պոլիմերային միացություններ են, որոնք ստանում են մոնոմերների պոլիկոնդենսացման կամ պոլիմերացման եղանակով։ Լինում են բևեռային և ոչ բևեռային։ Ոչ բևեռային սինթետիկ խեժերից են.

• **Պոլիէթիլեն-** ստանում են էթիլենի մոնոմերի պոլիմերացումով՝ ( $\text{CH}_2-\text{CH}_2$ )<sub>n</sub>։ Ոչ բևեռային լավագույն էլեկտրամեկուսիչ նյութն է։ Նրա էլեկտրամեկուսիչ հատկություններն են՝  $\rho_v=10^{15}...10^{16}$  Ω·մ,  $\varepsilon=2,3...2,4$ ,  $tg\delta=3 \cdot 10^{-4}$ , 1մմ հաստության դեպքում  $E_\delta=45...55$  ՄՎ/մ։ Նրա թերությունը ցածր աշխատանքային ջերմաստիճանն է  $t_{\omega_{2\%}}=70^0\text{C}$ ։ Մեծ կիրառում է գտել կենցաղում, էլեկտրատեխնիկայում, կարելային արդյունաբերությունում՝ որպես մեկուսացում։ Նրա աշխատանքային ջերմաստիճանը բարձրացնելու համար բարձր ճնշման և ջերմաստիճանի տակ ենթարկվում է վոլկանացման, որի ժամանակ տեղի է ունենում C–H մոլեկուլների միջև գծային կապի կարում (կարված պոլիէթիլեն), որը հանգեցնում է կապի էներգիայի մեծացմանը։ Դրանով աշխատանքային ջերմաստիճանը հասնում է մինչև  $90^0\text{C}$ , որը թույլ է տալիս վոլկանացված պոլիէթիլենը օգտագործել բարձր լարման կարելների մեկուսացման համար։

• **Պոլիպրոպիլեն-** ոչ բևեռային նյութ է լավագույն էլեկտրամեկուսիչ հատկություններով, նման է պոլիէթիլենին՝  $\rho_v=10^{12}...10^{15}$  Ω·մ,  $\varepsilon=2,0$ ,  $tg\delta=3 \cdot 10^{-4}$ , 1մմ հաստության դեպքում  $E_\delta=30...35$  ՄՎ/մ



Աշխատանքային ջերմաստիճանը մինչև  $105^0\text{C}$  է։ Նրա թերությունը ցածր ցրտակայունությունն է ( $-5...-15^0\text{C}$ ), պատրաստման բարդ տեխնոլոգիան՝ հատկապես փոքր հաստությամբ (8...10 մկմ) պոլիպրոպիլենային ժապավենների ստացման ժամանակ, որոնք

մեծ օգտագործում են գտել ուժային էլեկտրական կոնդենսատորներում:

- *Պոլիհիգռոլիքիլեն-ոչ բևեռային նյութ է բարձր էլեկտրամեկուսի հատկություններով՝  $\rho_v=10^{13}...10^{14}$  Ohմ·մ,  $\epsilon=2,2...2,3$ ,  $tg\delta=3 \cdot 10^{-4}$ ,  $E_\delta=15...20$  ՄՎ/մ:*

$$\begin{pmatrix} CH_3 \\ -CH_2 -G - \\ CH_3 \end{pmatrix}_n :$$

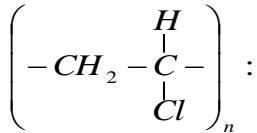
Աշխատանքային ջերմաստիճանը՝  $t_{\omega_2}= -70...+100^{\circ}\text{C}$ : Նրա թերությունը ցածր մեխանիկական ամրությունն է: Շատ փոքր մեխանիկական բեռնվածքի տակ նրա մոտ դիտվում է սառը հոսունություն, այդ իսկ պատճառով մաքուր տեսքով այն չի օգտագործվում: Օգտագործվում է կարելային տեխնիկայում պոլիէթիլենի հետ միասին (կարելային պոլիէթիլեն):

- *Պոլիստիրոլ – Ոչ բևեռային նյութ է լավագույն էլեկտրամեկուսի հատկություններով՝  $\rho_v=10^{14}...10^{15}$  Ohմ·մ,  $\epsilon=2,5...2,6$ ,  $tg\delta=3 \cdot 10^{-4}$ ,  $E_\delta=25...35$  ՄՎ/մ, աշխատանքային ջերմաստիճանը՝  $t_{\omega_2}=70...100^{\circ}\text{C}$ :*

$$\begin{pmatrix} -CH_2 -CH_1 - \\ C_6H_5 \end{pmatrix}_n :$$

Նրա թերությունը ցածր ջերմաստիճանների դեպքում փխրունությունն ու կոշտությունն են: Ունենալով փոքր  $tg\delta$ ՝ լայնորեն օգտագործվում է գտել կոնդենսատորներում և կապի կարելներում: Բևեռային սինթետիկ խեժերից են պատկանում՝

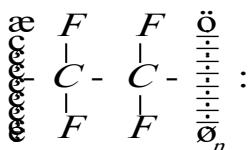
- *Պոլիվինիլքլորիդ - Բևեռային նյութ է, դիպոլային մոլեկուլը առաջանում է H-ի և Cl-ի միջև:*



Նրա էլեկտրամեկուսիչ հատկությունները ավելի ցածր են քան վերը նշված նյութերինը՝  $\rho_v = 10^{13}...10^{14}$  Οհմ·մ,  $tg\delta = 0,01...0,03$ ,  $\varepsilon = 3,2...3,4$ , 1մմ հաստության դեպքում  $E_d = 35...45$ ՄՎ/մ,  $t_{\omega_2} = 60...70^{\circ}\text{C}$ : Օգտագործում է գտել որպես մեկուսացում ցածր լարման լարերի համար: Բավականին կայուն նյութ է քիմիապես ագրեսիվ միջավայրում: Քիմիապես ակտիվ միջավայրում չեն ազդում թրումները, լուծույրները և այլն: Մեծ օգտագործում է գտել կաբելային տեխնիկայում որպես պաշտպանիչ պատյան, որի հիմքը  $\text{ՊՎԶ}$  պլաստիկատներն են, այսինքն  $\text{ՊՎԶ}-ին$  ավելացրած տարրեր պլաստիֆիկատորներ, որոնք տալիս են նրան բարձր մեխանիկական անրություն, ճկունություն և այլն:

- Ֆտորօրգանական խեժեր- Լինում են բևեռային և ոչ բևեռային: Ֆտորօրգանական խեժերին վերաբերում են ֆտորոպլաստ 4-ը և ֆտորոպլաստ 3-ը:

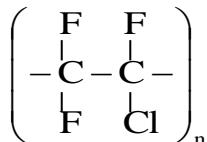
**Ֆտորոպլաստ-4**-ի քիմիական անունը պոլիստերաֆտոր-էթիլեն է՝



Ոչ բևեռային նյութ է բարձր էլեկտրամեկուսիչ հատկություններով՝  $\rho_v = 10^{15}...10^{17}$  Οհմ·մ,  $\varepsilon = 2,2$ ,  $tgd = 2 \times 10^{-4}$ , 4մմ հաստության դեպքում  $E_d = 20...30$  ՄՎ/մ: Այն իրենից ներկայացնում է ոչ բևեռային ամորֆ-բյուրեղային նյութ: Բյուրեղների հալման ջերմաստիճանը  $+290^{\circ}\text{C}$  է: Ամորֆ ֆազը տալիս է ցածր ջերմակայունություն  $-269^{\circ}\text{C}$  Աշխատանքային ջերմաստիճանը  $\pm 250^{\circ}\text{C}$  է: Քիմիապես

կայուն նյութ է: Չի թրջվում ջրում և մյուս հեղուկ դիէթեկտրիկմերում: Մեծ օգտագործում է գտել կարելային տեխնիկայում: Դրանից պատրաստում են տարբեր տեսակի էլեկտրական մեկուսիչներ: Թերությունը ցածր ռադիացիոն կայունությունն է, բարձր արժեքը և տեխնոլոգիապես դժվար մշակումը:

**Ֆոտոռոպլաստ-3ի** քիմիական անունը պոլիէթերֆոտորֆլորեթիլեն է:



Բևեռային նյութ է, էլեկտրամեկուսիչ հատկությունները՝  $\rho_v=10^{14}\dots10^{16}$  Оհմ-մ,  $\varepsilon=3,3$ ,  $tg\delta=0,03$ , 2մմ հաստության դեպքում  $E_d=13\dots15$  ՄՎ/մ,  $t_{\omega_2}= -195\dots+190^{\circ}\text{C}$ : Քիմիապես կայուն է: Ունի ռադիացիոն ավելի մեծ կայունություն, քան ֆոտոռոպլաստ-4, թերությունը դժվար մշակումն է և բարձր արժեքը:

#### 6.4. Կերամիկական նյութեր

1. Կերամիկական նյութերը անօրգանական նյութեր են, որոնցից պատրաստում են տարբեր տեսակի մեկուսիչներ: Կերամիկական նյութերից է ճենապակին: Ճենապակին ստանում են հատուկ տեսակի կավից՝ կառլինից, ավելացնելով կվարց ( $\text{SiO}_2$ ) և դաշտային սպար: Այդ բոլոր բաղադրությունները լավ մաքրում են խարնուրդներից, մանրացնում և խառնում ջրով՝ ստանալով համասեռ զանգված: Այդ զանգվածից մանլումով ստանում են տարբեր տեսակի մեկուսչային իրեր, որից հետո դրանք ենթարկվում են չորացման, որպեսզի վերացվի խոնավությունը, ծածկվում են ջնարակով (գլազուրով) և ենթարկում են թրծման: Ջնարակումը հատուկ զանգված է, որը պատվում է ճենապակու մակերեսը: Թրծման ժամանակ այն հալվում է և բարակ, փայլուն ապակե շերտով ծածկում ճենապակու մակերեսը: Դրանով ջնարակը ծածկում է բոլոր միկրոճեղքերը, որը բարձրացնում է տվյալ

ճենապակյա մեկուսչի մեխանիկական ամրությունը: Բացի դրանից, փայլուն ճենապակու մակերեսին փոշի չի նստում և այլն: Դրանով բացատրվում է մակերևույթային բարձր էլեկտրական ամրությունը: ճենապակուց պատրաստում են տարրեր տեսակի մեկուսիչներ՝ գծային, կայանային, ապարատային

1. Գծային մեկուսիչները լինում են երկու տեսակի՝ ձողային և կախովի: Չողային մեկուսիչներն օգտագործում են մինչև 35կՎ լարումով էլեկտրահաղորդման գծերի հաղորդման (ԵՀԳ) համար: Մրանցով նշված էլեկտրահաղորդման գծերը կոչտ ամրացվում են համապատասխան հենակետերում: Կախովի մեկուսիչներն օգտագործում են 35կՎ-ից բարձր լարման օդային էլեկտրահաղորդման գծերի կառուցման (ԵՀԳ) համար: Դրանցից հաջորդաբար հավաքվում է շղթա, որից կախվում է էլեկտրահաղորդիչ լարը: Այդ շղթան ապահովվում է լավ մեկուսացում և կախվող լարի ճկունություն: Կախված շղթայում մեկուսիչների քանակից՝ կարելի է ինանալ օդային ԵՀԳ-ի լարումը (6...7 օդակից շղթային համապատասխանում է 110կՎ լարում, 10.12 օդակից շղթային՝ 220կՎ):

2. Կայանային մեկուսիչները լինում են հենարանային և անցումային: Ճենարանային մեկուսիչներն օգտագործում են տարբեր էլեկտրական սարքավորումների, ապահովիչների և էլեկտրական ապարատների տարրեր մասերի կոչտ ամրացման համար մետաղական բաշխիչ արկղի համապատասխան կետերում: Անցումային մեկուսիչներն օգտագործում են պատերի միջև, բարձր լարման տակ գտնվող լարերի, կարելների անցկացման համար:

3. Ապարատային մեկուսիչներն օգտագործում են ուժային տրամաֆորմատորներում և կոնդենսատորներում՝ բարձր լարման տակ գտնվող լարերի մետաղական իրանից մեկուսացման համար:

## 6.5. Φωյլարը և նյութեր նրա հիման վրա

Φωյլարն ունի բարձր էլեկտրամեկուսիչ հատկություններ՝ բարձր էլեկտրական ամրություն, մեխանիկական ամրություն, խոնովակայունություն, ջերմակայունություն: Օգտագործում են կարևորագույն էլեկտրամեկուսացման տեղամասերում՝ հատկապես բարձր լարման և հզորության էլեկտրական մեքենաների մեկուսացման համար: Բացի այդ, որպես դիէլեկտրիկներ օգտագործում են կենդենսաստորներում: Բնության մեջ հանդիպում են բյուրեղների տեսքով: Դրանք ջրային այումոսիլիկատներ են: Փայլարը բնությունում հանդիպում է երկու տեսակի՝

1. մուսկովիտ –  $K_2O \cdot 3AL_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ ,

2. ֆլոգոպիտ -  $K_2O \cdot 6MgO \cdot AL_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ :

Մուկովիտն ունի ավելի լավ էլեկտրամեկուսիչ հատկություններ, քան ֆլոգոպիտը: Բացի այդ, այն մեխանիկապես ավելի ամուր է, ճկուն, խոնավակայուն և ամուր է ջերման հանդեպ: Փայլարն ունի բարձր ջերմակայունություն, հալվում է  $1250\ldots 1300^{\circ}C$  ջերմաստիճանում: Մուսկովիտի աշխատանքային ջերմաստիճանը  $500\ldots 600^{\circ}C$  է, իսկ ֆլոգոպիտինը՝  $800\ldots 900^{\circ}C$ : Այստեղից երևում է, որ փայլարը լավագույն, բարձր որակի էլեկտրամեկուսիչ նյութ է, պատկանում է C ջերմակայունության դասին: Այն օգտագործում են կարևորագույն էլեկտրամեկուսացման մասերում: Փայլարը բնության մեջ հանդիպում է սահմանափակ մակերեսով թիթեղների տեսքով: Մեկուսացման համար օգտագործում են մեծ մակերեսով թիթեղներ կամ ժապավենային նյութեր, որա համար էլ փայլարից պատրաստում են մեկուսիչ իրեր՝ միկանիտներ, որոնք փայլարից թիթեղներից սոսնձված իրեր են: Միկանիտներին լինում են՝

1.կոլեկտորային –պատրաստում են ֆլոգոպիտից, որն ունի ավելի ցածր կայունություն քերման նկատմամբ, որպեսզի կոլեկտորային պրնձյա թիթեղների հետ միասին հավասարաչափ մաշվի:

2.Միջնաշերտային–օգտագործում են որպես միջնաշերտային մեկուսացում, տափողակներ և այլն: Պատրաստում են մուսկովիտից և ֆլոգոպիտից:

3. Կաղապարային – օգտագործում են որպես կոլեկտորային մեկուսացում, մեկուսչային մանժետներ, խողովակներ և այլն:

4. Եկուն միկանիտներ – լայն օգտագործում է գտել որպես էլեկտրական մեքենաների փաթույթների հատվածամասերի մեկուսացում և այլն: Պատրաստում են սահմանափակ մակերեսով մուսկովիտի կամ ֆլոգոպիտի թիթեղներից, որոնք սոսնձում են թղթե կամ օրգանական պոլիմերների ժապավենների վրա:

## 6.6. Շերտավոր պլաստիկատներ

Շերտավոր պլաստիկատներից են գետինաքսը և տեքստոլիտը: Գետինաքսը ստանում են թղթե գլանափաթեթից, որը սպիրու մեջ բակելիտային խեժով ենթարկում են տողորման: Տոգորումից հետո այն ենթարկում են չորացման, որից հետո հավաքում են համապատասխան հաստության տուփեր, որոնք տեղավորում են հիդրավլիկ մամլիչի սալիկների միջև: Մամլման ժամանակ սալիկները տաքացվում են գերտաքացված գոլորշիով, այդ ջերմաստիճանը փոխանցվում է տուփերին, բակելիտային խեժը հալվում է՝ լցնելով տուփի շերտերի միջև բոլոր օդային տարածքները: Սառչելուց հետո ստացվում է մոնոլիտային պինդ մեկուսչային նյութ: Գետինաքսի խտությունը՝  $\rho = 1.350...1.4500 \text{ կգ}/\text{մ}^3$ : Գետինաքսները լինում են A և B մակնիշի: A մակնիշի գետինաքսն օժտված է բարձր էլեկտրամեկուսիչ հատկություններով, B մակնիշինը՝ բարձր մեխանիկական հատկություններով: A մակնիշի համար՝  $\varepsilon = 6...7$ ,  $\rho_v = 10^{11} \Omega\text{մ}$ ,  $t_{\text{ց}}\delta = 0.04...0.08$ ,  $E_\delta = 25...30 \text{ ՄՎ}/\text{մ}$ :

Տեքստոլիտը ստանում են նույն եղանակով բայց տողորված գործվածքից: Այն քան գետինաքսից 5...6 անգամ քանի է: Նրա համար՝  $\rho_v = 10^{10} \Omega\text{մ}$ :

Լայնորեն օգտագործվում է ապակե տեքստոլիտը, որը ստանում են ապակե գործվածքից: Ունի բարձր խոնավակայունություն, ջերմակայունություն, էլեկտրակայունություն և մեխանիկապես ամուր է:

## 6.7. Լաքագործվածքներ

Լաքագործվածքները ճկում էլեկտրամեկուսիչ նյութեր են, որոնք թղթաբամբակից կամ մետաքսյա գործվածքներ են, որոնք տոգորված են էլեկտրամեկուսիչ լաքով: Գործվածքներն ապահովում են մեխանիկական ամրություն, իսկ լաքային շերտերը՝ էլեկտրական ամրություն: Օգտագործվում են էլեկտրական մեքենաների, տրանսֆորմատորների, ապարատների, կարելմերի մեկուսացման համար: Տոգորվող լաքի տեսանկյունից տարրերում են՝

- բաց գույնի (դեղին), լաքագործվածքներ՝ յուղային լաքերի հիման վրա,
- սև գույնի լաքագործվածքներ՝ յուղաբիտումային լաքերի հիման վրա:

*Բաց գույնի լաքագործվածքները* կայուն են օրգանական լուծույթների հանդեպ, յուղակայուն են և այլն: Նրանց թերությունը բարձր ջերմաստիճանների տակ ջերմային ծերացումն է: Բաց գույնի լաքագործվածքի համար  $E_d=35...50$  ՄՎ/ն (թղթաբամբակային լաքագործվածքի համար),  $E_d=55...90$  ՄՎ/ն (մետաքսյա լաքագործվածքի համար): Սև գույնի լաքագործվածքներն ունեն ավելի բարձր էլեկտրական ամրություն  $E_d=55...60$  ՄՎ/ն: Դրանք ավելի խոնավակայուն են: Նրանց թերությունը ցածր կայունությունն է օրգանական լուծույթների հանդեպ: Նրանք յուղակայուն չեն: Գործնականում կայուն չեն յուղային տրանսֆորմատորներում: Յիշնականում օգտագործում են էլեկտրական մեքենաների մեկուսացման համար:

## 6.8. Թղթե դիէլեկտրիկներ

Թղթութքը կարճաթելիկավոր կառուցվածքի թերթային կամ գլանափաթեթավոր նյութ է: Այն հիմնականում բաղկացած է ցելյուլոզից:

Եթե թղթին օգտագործում են որպես էլեկտրական մեկուսիչ, ցելյուլոզան, որը ստանում են փայտը հիմնային լուծույթներում

Եփելու միջոցով, պետք է լինի շատ ամուր և ջերմադիմացկուն:

Կարելային թուղթը օգտագործում են ուժային էլեկտրական կաբելները մեկուսացնելու համար: Կարելային թղթի հատուկ տեսակը հեռախոսային թուղթն է, որն ունի 50մկմ հաստություն: Հեռախոսային թղթի ծավալային զանգվածը պետք է լինի փոքր, որպեսզի նվազեցնի հեռախոսային կաբելի չտոգորված թղթի մեկուսացման ունակությունը:

Կոնդենսատորային թուղթը տոգորված վիճակում օգտագործում են որպես դիէլեկտրիկ թղթե կոնդենսատորներում, որոնց հաստությունը տարբեր մակնիշների համար լինում է 4...40 մկմ: Կոնդենսատորային թղթի փոքր հաստությունը թույլ է տալիս ստանալ կոնդենսատորի տեսակարար ունակության բարձր արժեք:

Սովորաբուղթը հիմնականում տարբերվում է ավելի մեծ հաստությամբ: Էլեկտրամեկուսիչ ստվարաթուղթը լինում է երկու տեսակի՝ օդային, որն ամուր է, ճկուն և նախատեսված է դրսում աշխատելու համար, և յուղային, որը փիսրուն է և փափուկ, նախատեսված է հիմնականում տրանսֆորմատորային յուղում աշխատելու համար: Յուղային ստվարաթուղթը լավ տոգորվում է յուղով և տոգորված վիճակում ունի բարձր էլեկտրական ամրություն: Թղթե դիէլեկտրիկներն ունեն հետևյալ առավելությունները՝ մեծ մեխանիկական ամրություն և ճկունություն, հեշտ ճշակում և փոքր արժեք: Թերություններն են՝ փոքր էլեկտրական ամրությունը, ջերմակայունությունը, հիդրոսկոպիկությունը: Թղթե դիէլեկտրիկների հատկությունները զգալի կերպով կարելի է լավացնել տոգորման միջոցով: Այդ պատճառով էլ էլեկտրական մեկուսացման համար նրանց օգտագործում են տոգորված վիճակում:

## 7. ԱԿՏԻՎ ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿՆԵՐ

Ակտիվ կոչվում են այն դիէլեկտրիկները, որոնք նախատեսված են էլեկտրական ազդանշանների գրգռման, ուժեղացման, մոդուլացման և կերպափոխման համար, այսինքն՝ այն դիէլեկտրիկները, որոնք ենթարկվում են դեկավարման:

Ի տարրերություն էլեկտրամեկուսիչ նյութերի, որոնցում հիմնական օգտագործվող երևույթը բևեռացումն է արտաքին էլեկտրական դաշտի ներքո, ակտիվ դիէլեկտրիկներում կամ մի շարք այլ երևույթներ և հատկություններ, որոնք կարող են հանդես գալ դիէլեկտրիկի արտաքին ազդանշերի ինչպես առանձին, այնպես էլ փոխկապակցված ազդեցությունների շնորհիվ:

Օրինակ բևեռացում կարող է կատարվել հետևյալ ազդեցությունների շնորհիվ՝ մեխանիկական (պիեզոէլեկտրական էֆեկտ), ջերմաստիճանի փոփոխման (պիրոտէկտրական էֆեկտ), մագնիսական դաշտի (սեգմետամագնիսական էֆեկտ) և այլ:

Ակտիվ դիէլեկտրիկներում օգտագործվում է P-ի և E-ի կամ այլ մեծությունների միջև կապերի ոչ գծայնությունը, ինչպես նաև այն հատկությունները, երբ E=0:

Ատիվ դիէլեկտրիկները, վերը նշված հատկությունների շնորհիվ, լայն կիրառություն ունեն թե էլեկտրական, թե ռադիոտեխնիկական և թե հաշվողական տեխնիկայի սարքավորումներում (էլեկտրական ֆիլտրեր, ծայնային ազդանշանների ուժեղացման հիշող սարքեր և այլն):

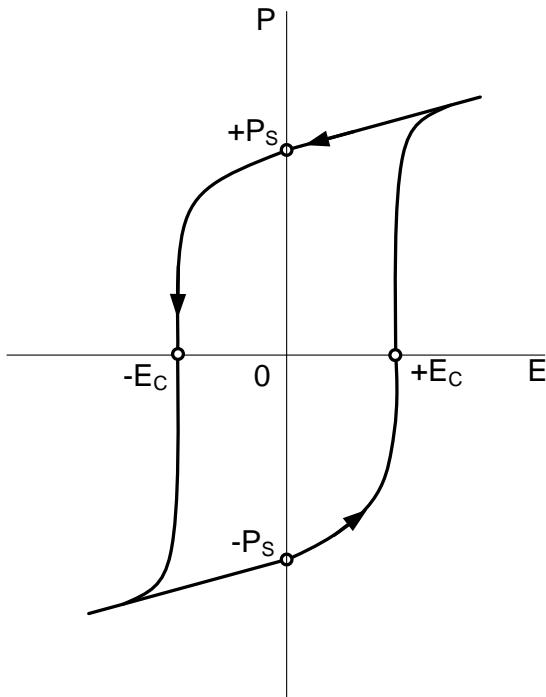
### 7.1. Սեգմետալէկտրիկներ

Սեգմետալէկտրիկներ կոչվում են այն նյութերը, որոնք օժտված են ինքնաբերական բևեռացմամբ, որի ուղղությունը կարող է փոփոխվել արտաքին ազդեցությունների դեպքում:

Ինքնաբերական բևեռացումը դիէլեկտրիկում, ներքին պրոցեսների ազդեցության տակ առաջացող բևեռացումն է: Սեգմետալէկտրիկի ծավալը, որպես կանոն, բաժանված է դոմենների՝ տիրույթների  $P_s$  ինքնաբերական բևեռացվածության վեկտորների

զանազան ուղղություններով: Այս պատճառով նմուշի գումարային բևեռացվածությունը ամբողջությամբ հավասար է զրոյի:

Սեգմետակլեկտորիկներում  $P$  բևեռացվածության կախումը  $E$  լարվածությունից ոչ գծային է և  $E$ -ի ցիկլային փոփոխությունների դեպքում ունի փակ կորին բնորոշ տեսք, որը կոչվում է հիստերեզիսի օղակ (նկ. 7.1):



**Նկ. 7.1. Իրեալական սեգմետակլեկտորիկի դիէկլեկտորիկական հիստերեզիսի օղակը**

Միադոմեն նմուշի  $P$  բևեռացվածությունը  $E=0$  դեպքում հավասար է  $+P_s$  կամ  $-P_s$ :  $P_s$ -ի ուղղությամբ ուղղված դաշտի լարվածության աճին զուգընթաց  $P$ -ն գծայնորեն աճում է մակածվող բևեռացնան սովորական մեխանիզմների հաշվին (էլեկտրոնային, իոնային, դիպոլային): Եթե հակառակ ուղղության էլեկտրական

դաշտ կիրառենք, ապա դաշտի որոշակի  $E_c$  լարվածության դեպքում տեղի կունենա վերաբեռացում, այսինքն՝  $P_s$  վեկտորի ուղղությունը կդառնա հակադիր: Դաշտի լարվածության այդ արժեքը, անվանում են կոէրցիտիվ ուժ: Դիստերեզիսի օղակի առկայությունը սեգմենտական վեկտորիկուլերի հիմնական հատկությունն է, որով նրանք տարբերվում են դիէկտրիկուլերի այլ տեսակներից:

Ըստ կոէրցիտիվ ուժի, մեծության սեգմենտական վեկտորիկուլերը բաժնվում են սեգմենտափափուկ ( $E_c < 0.1 \text{ } \text{ՄՎ/մ}$ ) և սեգմենտակոչտ ( $E_c > 1 \text{ } \text{ՄՎ/մ}$ ) նյութերի:

Սեգմենտական վեկտորիկուլերին բնորոշ պարամետր է նաև Կյուրիի կետը: Դա այն ջերմաստիճանն է, որի դեպքում առաջանում է կամ վերանում է ինքնաբերական թերուացում: Կյուրիի կետին հասնելուց հետո տեղի է ունենում ֆազային անցում (առաջին կարգի, երկրորդ կարգի, ոչ սահուն):

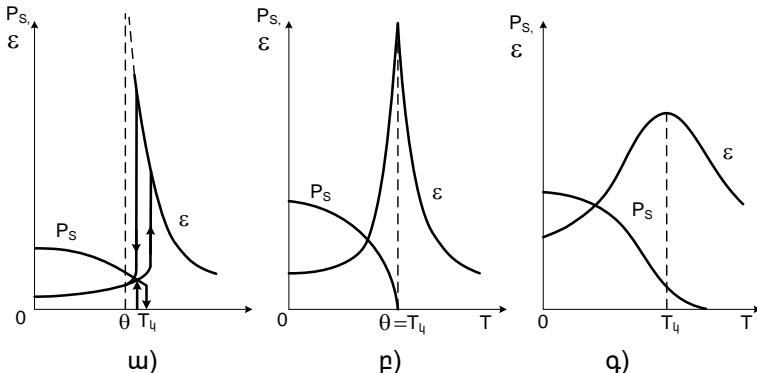
Նյութի դիէկտրիական թափանցելիությունը Կյուրիի կետի ջերմաստիճանում ( $T_u$ ) ունի առավելագույն արժեք, իսկ  $T > T_u$  դեպքում սովորաբար ենթարկվում է Կյուրի-Վեյսի օրենքին՝

$$\varepsilon = \frac{C}{(T - \theta)} \quad (7.1)$$

որտեղ  $C$ -ն Կյուրիի հաստատումն է,  $\Theta$ -ն Կյուրի-Վեյսի ջերմաստիճանը:

**Առաջին կարգի** ֆազային անցումով սեգմենտական վեկտորիկուլերի ինքնաբերական թերուացվածությունը Կյուրիի կետում փոխվում է թռիչքով,  $\Theta < T_u$  (նկ. 7.2 ա): Այն անցնան համար բնորոշ է ջերմաստիճանային հիստերեզիսի առկայությունը և անցնան թաքնված ջերմության անջատումը:

**Երկրորդ կարգի** ֆազային անցման դեպքում (նկ. 7.2 բ), եթե  $T > T_u$ ,  $P_s$ -ը սահունորեն նվազում է մինչև զրո,  $\Theta \rightarrow T_u$ , ջերմաստիճանային հիստերեզիս չկա, իսկ  $\varepsilon \rightarrow 4$ :



**Նկ. 7.2. Սեգմետառէլեկտրիկների հմբաքերական  $P_s$  բևեռացվածության և դիէլեկտրիկական թափանցելիության ջերմաստիճանային կախումները**

- ա) առաջին կարգի ֆազային անցումով, բ) երկրորդ կարգի ֆազային անցումով, գ) ոչ սահուն ֆազային անցումով

Կան նաև ոչ սահուն ֆազային անցումով սեգմետառէլեկտրիկներ, որոնք անցման որոշակի կետ չունեն, այլ դիտվում է ջերմաստիճանի միջակայքում, որտեղ  $P_s$ -ը աստիճանաբար նվազում է, իսկ  $\epsilon$ -ը ունենում է ոչ ցայտուն առավելագույն արժեք (նկ. 7.2 գ): Ջերմաստիճանային այս միջակայքում, որը կոչվում է կյուրիի միջակայք, գոյակցում են երկու վիճակներն էլ՝ սեգմետա և պարագաներական:

Բևեռացման թվարկված առանձնահատկություններն առաջին անգամ հայտնաբերվել են սեգմետային աղի բյուրեղներում, իսկ այդպիսի հատկություններով դիէլեկտրիկները ստացել են սեգմետառէլեկտրիկներ անվանումը:

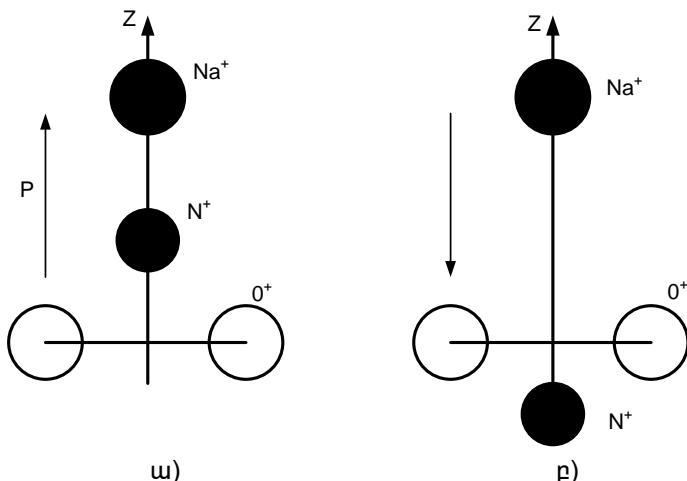
Կախված բևեռացման տեսակից, սեգմետառէլեկտրիկները բաժանվում են իոնայինների և դիպոլայինների:

*Իոնային սեգմետառէլեկտրիկների թվին են պատկանում պերվակիտի ( $CaTiO_3$  հանքանյութ) բնույթի կառուցվածքով բազմաթիվ միացություններ. բարիումի տիտանատը՝  $BaTiO_3$  ( $T_g=120^{\circ}C$ ), կապարի տիտանատը՝  $PbTiO_3$  ( $T_g=490^{\circ}C$ ), կալիումի նիոբատը՝*

$\text{KNbO}_3$  ( $T_g=435^{\circ}\text{C}$ ), կալիումի յոդատը՝  $\text{KIO}_3$  ( $T_g=210^{\circ}\text{C}$ ) և այլն:

Դիպոլային սեգմետաէլեկտրիկների թվին են պատկանում սեգմետային աղը՝  $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{H}_2\text{O}$  ( $T_g=24^{\circ}\text{C}$ ), նատրիումի նիտրիտը՝  $\text{NaNO}_2$  ( $T_g=160^{\circ}\text{C}$ ), և այլն:

Այս բյուրեների տարրական բջիջը պարունակում է հավասարակշռության երկու դիրքով ատոմներ կամ ատոմների խմբեր, օրինակ, ազոտի ատոմների մեջ (նկ 7.3) :



Նկ. 7.3.  $\text{NaNO}_2$  բյուրեղի տարրական բջիջի կառուցվածքը դիպոլային մոմենտի դրական (ա) և բացասական (բ) ուղղությունների դեպքում

Բջիջն օժտված է էլեկտրական  $P$  մոմենտով, որի ուղղությունը որոշվում է ատոմների դիրքով:

Սեգմետաէլեկտրիկները իրենց հատկությունների շնորհիվ լայն կիրառություն են գտել տեխնիկայում՝ երկարատև պահպանվող բևեռացված վիճակը օգտագործվում է հիշող սարքերում, խիստ արտահայտված ոչ գծայնությունը՝ վարիկոնդներում, էլեկտրահաղորդման առանձնահատկությունները՝ պազիստորներում:

Գոյություն ունեն նաև հակասեգմետաէլեկտրիկներ, որոնց բավարար ուժգնության էլեկտրական դաշտ կիրառելիս կարող է վերածվել սեգմետոէլեկտրիկի:

Կան այնպիսի բյուրեղներ, որոնք կարող են միաժամանակ ունենալ Կյուրիի էլեկտրական և մագնիսական կետեր, այսինքն այս նյութերը կարելի է վերամագնիսացնել էլեկտրական դաշտի օգնությամբ և վերաբեռացնել մագնիսական դաշտի հաշվին, այդպիսի նյութերը կոչվում են սեգմետամագնիսներ:

Սեգմետական էլեկտրիկները վերոհիշյալ հատկությունների շնորհիվ լայն կիրառություն ունեն տեխնիկայում՝ մեծ ε-ով կոնդեսատորներում, երկարատև պահպանվող բևեռացման վիճակը հիշող սարքերում, ոչ գծայնությունը վարդիկներում, էլեկտրահաղորդման առանձնահատկությունները պողիստորներում:

Սեգմետական էլեկտրիկները հիմք են պիեզոէլեկտրական, պիրոէլեկտրական, էլեկտրաօպտիկական և ոչ գծային օպտիկական նյութեր ստանալու համար:

Դիշող սարքերում հիմնականում օգտագործվում են այն սեգմետական էլեկտրիկները, որոնց հիստերեզիսային օղակը մոտ է ուղղանկյան ձևին:

Սեգմետական էլեկտրիկների կորուստները գնահատվում են հիստերեզիսի օղակի մակերեսով:

## 7.2. Պիեզոէլեկտրիկներ

Դիէլեկտրիկները, որոնցում բևեռացման երևույթը պայմանավորված է մեխանիկական լարման ազդեցությամբ կոչվում են պիեզոէլեկտրականներ: Այս դեպքում առաջացած  $P$  բևեռացվածությունը ուղղի համեմատական է կիրառված մեխանիկական σ լարմանը.

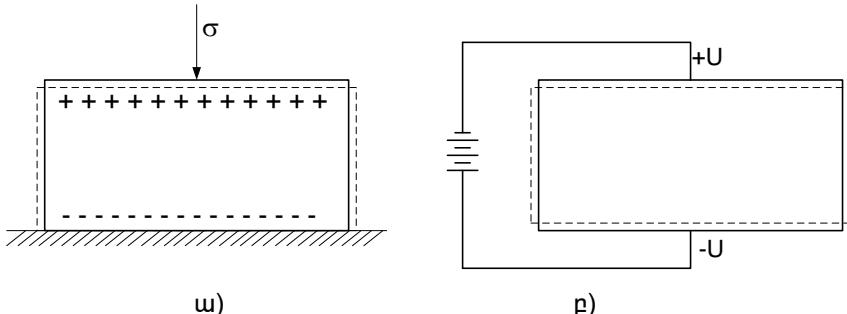
$$P = d\sigma \tag{7.2}$$

Համեմատականության մեջակիցը կոչվում է պիեզոէլեկտրական մոդուլ կամ պիեզոմոդուլ: σ-ի նշանի փոփոխությունը, այսինքն՝ ձգման փոփոխինումը սեղմումով, հանգեցնում է  $P$ -ի նշանի փոփոխմանը՝ վերաբեռացմանը: Բևեռացվելիս ցանկացած դիէլեկտրիկ դեֆորմացվում է: Դեֆորմացիան ( $X$ ) (նկ. 7.4) սովորաբար ուղղի համեմատական է բևեռացվածության քառա-

կուսուն (քառակուսային դեֆորմացիա):

$$X = QP^2 \quad (7.3)$$

որտեղ  $Q$ -ն էլեկտրաստրիկցիայի գործակիցն է: Բևեռացման նշանից անկախ դիէլեկտրիկի դեֆորմացիան անվանում են էլեկտրաստրիկցիա (մագնիսական նյութերի մագնիսացման դեպքում առաջացող համանման երևույթը կոչվում է մագնիսաստրիկցիա):



Նկ. 7.4. Էլեկտրամեխանիկական կապի գործակցի որոշման սխեման.  
ուղիղ (ա) և հակադարձ (բ) պիեզոէֆեկտի դեպքում

Քառակուսային դեֆորմացիայի հետ միասին (սովորաբար շատ փոքր) որոշ դիէլեկտրիկմերում դիտվում է բևեռացումից գծայնորեն կախված դեֆորմացիա՝

$$X = qP.$$

Այս երևույթը կոչվում է հակադարձ պիեզոէլեկտրական էֆեկտ: Քանի որ  $P = \epsilon_0(\epsilon - 1)E$  ուստի

$$X = qP = q\epsilon_0(\epsilon - 1)E = dE \quad (7.4)$$

որտեղ հակադարձ պիեզոէֆեկտի պիեզոմոդուլը

$$d = \epsilon_0 q(\epsilon - 1) \quad (7.5)$$

Ապացուցված է, որ թերմոդինամիկայում ուղիղ և հակադարձ

պիեզոէֆեկտների և պիեզոմոդուլները միևնույն դիէլեկտրիկի համար միմյանց հավասար են (Աղ.7.3):

Որպես պիեզոնյութեր կիրառում են գտել բոլոր սեգմետակելեկտրիկները:

Բնեռացված սեգմետակերամիկան, որը նախատեսված է պիեզոէֆեկտը օգտագործելու համար, կոչվում է պիեզոկերամիկա: Արդյունաբերական պիեզոկերամիկական նյութերը պինդ լուծությաներ են, որոնք կիրառվում են որոշակի բնագավառներում և ստանում են բաղադրամասերի հարաբերակցության ընտրությամբ և նոդիֆիկացնող հավելումների ավելացումով այդ բաղադրանյութում: Այդ բաղադրանյութերի համար տարրեր բաղադրիչները նշանակվում են բաղադրանյութի մեջ մտնող տարրեր սկզբնատառները՝ T- տիտան, Zr- ցիրկոնիում, Hf- նիոբիում, Ta- բարիում, K- կալիում, Li- լանթան և այլն: TiB<sub>2</sub>- բարիումի տիտանատ, HBC-կապար բարիումի նիոբատ և այլն:

Օրինակ բարիումի տիտանատի կորցիտիվ ուժը մեծացնելու համար ավելացնում են հավելումներ՝ 5% CuTiO<sub>3</sub> (TBK) կամ 8% CuTiO<sub>3</sub> և 12% PbTiO<sub>3</sub> (TBKC):

Բաղադրանյութերով պիեզոկերամիկայի ստեղծումը մեծ հնարավորություններ է տալիս նրանց կիրառման համար:

Գոյություն ունեն նաև պիեզոէլեկտրական միաբյուրեղներ, որոնք օգտագործվում են 10 ՄՀց-ից բարձր, իսկ պիեզոկերամիկականները՝ մինչև 10 ՄՀց հաճախություններում:

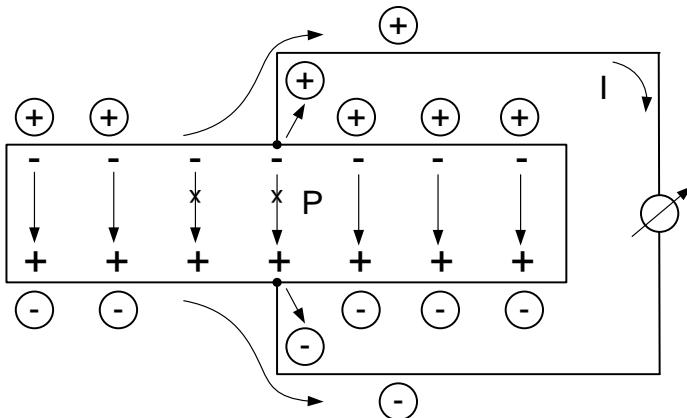
Միաբյուրեղներ են, օրինակ, կվարցը՝ SiO<sub>2</sub>, որը հայտնի է լեռնային բյուրեղապակի անունով, լիթիումի նիտրատը՝ LiNbO<sub>3</sub> և տանտալատը՝ LiTaO<sub>3</sub>, որոնք օգտագործվում են բարձր և գերբարձր հաճախություն գեներատորների և զտիչների սարքերում: Դայտնի են նաև պիեզոհաղորդիչներ, որոնք օգտագործվում են թաղանթային կերպափոխչների համար, որոնք էլեկտրամագնիսական տատանումները վերածում են ձայնայինի:

Դեֆորմացիան պահպանող հատուկ տեսակի էլեկտրամեխանիկական կերպափոխչներում կիրառվում են նաև սեգմետակաստիկ նյութեր:

### 7.3. Պիրուէկստրիկներ

Պիրուէկստրական էֆեկտը դիէկստրիկի բևեռանալու երևույթն է՝ այն ամբողջ ծավալով համասեռ տաքացնելիս կամ հովացնելիս: Խիստ արտահայտված պիրուէկստրական էֆեկտով նյութերը կոչվում են *պիրուէկստրիկներ*:

Ինչպես հետևում է բնորոշումից, ջերմաստիճանի փոփոխման դեպում պիրուէկստրիկը բևեռանում է, այսինքն՝ նրա հակադիր կողմերում առաջանում են տարանուն լիցքեր (նկ. 7.5): Դա հնարավոր է միայն այն նյութերում, որոնք օժտված են ինքնաբերական կամ մնացորդային բևեռացմամբ, որտեղ P բևեռացվածությունը կախված է T ջերմաստիճանից: Էլեկտրահաղորդականության շնորհիվ բևեռացման հետ կապված լիցքերը սովորաբար չեղքացված են հակադիր նշանի ազատ լիցքերով (նկ.7.5-ում ազատ լիցքերը շրջանագծված են) և բևեռացման առկայությունը չի արտահայտվում: Տաքացման կամ հովացման դեպում P-ի արժեքը փոփոխվում է (նկ.7.5-ում P-ի նվազումը պայմանականորեն ցույց է տրված մի քանի դիպոլների վերացումով) և ազատ լիցքերի մի մասը կապակցությունից ազատվում է: Այս ազատված լիցքերը պիրուէկստրական բևեռացման արդյունք է, որը ֆունկցիա է ջերմաստիճանից P(T): Բացի այդ, բոլոր պիրուէկստրիկները նաև պիեզաէլեկտրիկներ են, ուստի ջերմաստիճանի տատանման դեպում, չափերի ջերմաստիճանային փոփոխման հաշվին, առաջանում է պիեզոէլեկտրական բևեռացում: Դա այսպես կոչված երկրորդական պիրուէկստրական էֆեկտն է:



Նկ.7.5. Պիրոէլեկտրական էֆեկտը

Նյութերի պիրոէլեկտրական հատկությունների քանակական բնորոշման համար մտցվում է պիրոէլեկտրական գործակից կամ պիրոգործակից  $P$ , որը հավասար է բևեռացվածության փոփոխության և դրան առաջացրած ջերմաստիճանի փոփոխության հարաբերությանը՝

$$P = \frac{dP}{dT} \quad (7.6)$$

#### 7.4. Քվանտային էլեկտրոնիկայի նյութեր

Ուղիուէլեկտրոնիկայում աշխատանքային հաճախությունները հասել են օպտիկական տիրույթի: Էլեկտրամագնիսական տատանումների թափանցումը մերձմիլիմետրական, ինֆրակարմիր և տեսանելի միջակայքեր համար հիմնվում է քվանտային էֆեկտների վրա, իսկ ռադիոէլեկտրոնիկայի այդ բաժինը կոչվում է քվանտային էլեկտրոնիկա:

Էլեկտրամագնիսական ալիքների գեներացման և ուժեղացման քվանտային սարքերի՝ մազերների (գերբարձր հաճախականության տիրույթ) և լազերների (օպտիկական տիրույթ) աշխատանքը հիմնված է ատոմների կամ մոլեկուլների խթանից ճառա-

գայթեան վրա:

Ինքնաբերական ճառագայթումը տեղի է ունենում, եթե գրգռված ատոմը ավելի բարձր էներգետիկ մակարդակից անցնում է ավելի ցածր՝ հիմնական մակարդակը:

Մազերների և լազերների համար կիրառվում են երկու, երեք և ավելի էներգետիկ մակարդակով միջավայրեր:

Միջավայրերի էներգիաների տարբերությունը ճառագայթվում է քվանտի տեսքով՝

$$f = \frac{\Delta W}{h} \quad (7.7)$$

հաճախությամբ, որտեղ  $h$ -ը Պլանկի հաստատունն է:

Գրգռված ատոմի ճառագայթումը տեղի է ունենում ֆոտոնի ազդեցության տակ, որն ընկնում է ատոմի վրա արտաքինից, օրինակ հարևան ատոմների ինքնաբերական ճառագայթման արդյունքում մեկ ֆոտոնը դառնում է նույն հաճախության երկու ֆոտոն: Եվ եթե մարմինը պարունակում է շատ թվով գրգռված ատոմներ, ապա երկու ֆոտոնները ստիպում են այլ ատոմներին ճառագայթելու, և մարմինը ունենում է գունարային կոհերենտ ճառագայթում:

$f = \Delta W/h$  հաճախությամբ էլեկտրամագնիսական ալիքը ստիպում է այլ մակարդակի մասնիկներին անցնել հիմնական մակարդակ, և նրա էներգիան աճում է խթանված ճառագայթման քվանտների հաշվին, որի վրա էլ հիմնված քվանտային գեներատորների և ուժեղարարների աշխատանքը: Քվանտային էլեկտրոնիկայի սարքերում օգտագործվում են ակտիվ նյութեր՝ պինդ, հեղուկ և գազային:

Մազերներում լայն կիրառում ունեն քրոմով կամ երկաթով լեզիրացված  $\alpha$ -կորունդի բյուրեղը  $Al_2O_3$ , քրոմով և երկաթով ակտիվացրած ռուտիլի ( $TiO_3$ ) բյուրեղներ և այլն: Լազերների աշխատանքի համար եռա կամ քառամակարդակ քվանտային համակարգեր ստեղծում են նյութերի լեզիրացումով:

Ըստ լազերներում օգտագործվող ակտիվ դիէլեկտրիկների

բնույթի՝ լազերները լինում են կարծրանարմին, կիսահաղորդչային, հեղուկ և գազային:

Լյոնինեսցենտումը (սառը լուսարձակումը) նարմնի ջերմային ճառագայթումից դուրս նրա ոչ կոհերենտ էլեկտրանագնիսական ճառագայթումն է:

Այս երևույթն առաջանում է նյութի ատոմները արտաքին աղբյուրով նախապես գրգռելու միջոցով, դրանց հետագա կայուն վիճակի անցումով, որն ուղեկցվում է լուսի քվանտների արձակումով։ Կախված գրգռման աղբյուրի բնույթից տարբերում են՝ ֆոտոյումինեսցենտում լուսով, ռադիոյումինեսցենտում – ռադիոակտիվ ճառագայթումով, կատոդայումինեսցենտում–էլեկտրոնային փնջով, էլեկտրալյումինեսցենտում – էլեկտրական դաշտով, քիմյումինեսցենտում – քիմիական ռեակցիաներով և այլն։

Լյումինեսցենտող նյութերը կոչվում են լումինաֆորներ։ Այս նյութերը մեծ կիրառություն ունեն էլեկտրոնաճառագայթային խողովակներում, գույների ստացման համար, ցերեկային լուսի լամպերում, լուսարձակիչ ներկերում և այլն։

Էլեկտրաօպտիկական էֆեկտ կոչվում է օպտիկական դիապազոնում էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ դիէլեկտրիկական թափանցելիության փոփոխությունը, որը կիրառվում է լուսի մոդուլացման և լուսային ճառագայթի դեկավարման համար, իսկ այս երևույթով օժտված նյութերը կոչվում են էլեկտրաօպտիկական։

Էլեկտրաօպտիկական էֆեկտով օժտած նյութերը հիմնականում օգտագործվում են լազերային ճառագայթման մոդուլատորներում, լինում են բյուրեղային կառուցվածքի գերբարձր տիրույթի համար։ Օգտագործվում են CaTe, CuCl և ZnS բնույթի բյուրեղներ ինֆրակարմիր տիրույթում, իսկ ուլտրամանուշակագույն տիրույթում՝ կվարցի բյուրեղը։

Էլեկտրաօպտիկայի համար առավել հետաքրքրություն են ներկայացնում թափանցիկ սեզմետակերամիկական նյութերը, որոնք ստացվում են հատուկ մշակման միջոցով՝ օրինակ տաք մամլունով։ Մեծ կիրառություն ունի թափանցիկ կապարը, ցիրկոն

տիտանատ համակարգը լանթանի հավելումով՝  $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3 + yLa_2O_3$  սեղմետակերամիկան:

$x$  և  $y$  փոփոխման միջոցով կարելի է ստանալ հետևյալ էլեկտրապատիկական էֆեկտներ՝ գծային, քառակուսային, ցածր կուրցիտիկ ուժով և հիստերեզիսի օղակով (կիրառվում են էլեկտրապատիկական հաճախականային սահմանում):

Գոյություն ունի նաև առանձնահատուկ էլեկտրապատիկական էֆեկտ՝ էլեկտրականությամբ ղեկավարվող լույսի ցրում: Եթե կերամիկան բնեռացված է լույսի տարածնանը զուգահեռ ուղղությամբ, ապա լույսն անցնում է նրա միջով առանց ցրվելու, իսկ ուղղահայաց ուղղությամբ բնեռացման կամ ապարնեռացման դեպքում լույսը ցովում է դոմենային կառուցվածքում և չի անցնում: Յետևաբար կերամիկայի այն մասերը, որոնք բնե-ռացված են ուղղահայաց ուղղությամբ, անդրադարձված լույսի մեջ երևում են բաց գույնով: Կարելի է նաև իմֆորմացիայի գրանցումը լույսի օգնությամբ, որի համար կերամիկայի թիթեղիկը պատում են ֆոտոկիսահաղորդիչ բարակ շերտով:

Էլեկտրետներն են այն պինդ դիէլեկտրիկները, որոնք իրենց նախօրոք էլեկտրականացման կամ բնեռացման հաշվին ստեղծում են էլեկտրական դաշտ: Մրանք հաստատուն մագնիսների էլեկտրական օրինակներն են: Ըստ լիցքերի ձևավորման եղանակի, լինում են թերմէլեկտրետներ, ֆոտոէլեկտրետներ, ռադիոէլեկտրետներ, էլեկտրաէլեկտրետներ և տրիբոէլեկտրետներ (էլեկտրականացում շփումով):

## ԵՐԿՐՈՐԴ ՄԱՍ

### ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐ

#### 8. ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՏԵՂԵԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ՄԱԳՆԻՍԱԳՄԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

##### 8.1. ՌԵԳԵՐՖՈՐԴԻ և ԲՈՐԻ ԱՏՈՄԻ ՄՈԴԵԼՆԵՐԸ

Նյութերի մագնիսական հատկությունների առաջացման հիմնական պատճառը լիցքերի օղակածն պտույտն է ատոմում: Դրանք են՝ էլեկտրոնի պտույտը ատոմի միջովով շուրջը և էլեկտրոնի պտույտը սեփական առանցքի շուրջը: Այդ պտույտները առաջացնում են մեխանիկական շարժման քանակի ուղեծրային մոմենտ՝  $P_e$ , նրան համապատասխան ուղեծրային մագնիսական մոմենտ՝  $\mu_e$ , և սպինային շարժման քանակի մեխանիկական մոմենտ՝  $P_s$ , նրան համապատասխան սպինային մագնիսական մոմենտ՝  $\mu_s$ : Այսպիսով էլեկտրոնի շարժումը ատոմում առաջացնում է ուղեծրային՝  $\mu_e$ , և սպինային՝  $\mu_s$ , մագնիսական մոմենտներ:

**ՌԵԳԵՐՖՈՐԴԻ ԱՌԱՋԱՐԼԱԾ ՄՈԴԵԼ.**

ՌԵԳԵՐՖՈՐԴԻ կողմից առաջարկած ատոմի մոլորակային մոդելի հիման վրա, որտեղ էլեկտրոնները կատարում են օղակածն պտույտ ատոմի միջովով շուրջը, ուղեծրային մագնիսական մոմենտ՝  $\mu_e$ -ը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$\mu_e = iS = \frac{e}{T} S = \frac{e}{T} \pi R^2 = \frac{eR^2\omega m}{2m} = \frac{eP_e}{2m} \quad (8.1)$$

որտեղ  $i$  – ն էլեկտրոնների օղակածն հոսանքն է,

$S$  –ը ուղեծրի մակերեսն է,

$T$  – ն՝ ուղեծրում պտտման պարբերությունը,

$e$ -ն և  $m$ -ը համապատասխանաբար էլեկտրոնի լիցքը և զանգվածն են,

R-ը ուղեծրի շառավիղն է,  
 ω-ն անկյունային հաճախությունն է,  
 P<sub>ℓ</sub>-ը մեխանիկական շարժման քանակի ուղեծրային մո-  
 մենտոն է:

*Բորի առաջարկած մոդել.*

Քանի որ Ուգերֆորդի կողմից առաջարկած մոդելը չէր կա-  
 րող բացատրել փորձնական եղանակով ստացած տվյալները,  
 քանի որ ըստ դասական ֆիզիկայի, էլեկտրոնները, պտտվելով  
 ատոմի միջուկի շուրջը, ճառագայթում են էներգիա էլեկտրամագ-  
 նիսական ալիքների տեսքով, որոնք ըստ այդ տեսության պարու-  
 րածև մոտենալով ատոմի միջուկին մարում են նրա վրա: Սակայն  
 ատոմները կայուն համակարգեր են, ելնելով այդ հանգանաքից  
 Ն.Բորը իր առաջարկած պոստուլատների հիման վրա ներկայաց-  
 րեց ատոմի կառուցվածքի նոր մոդել, որը կոչվում է կիսաքան-  
 տային, որտեղ էլեկտրոնները, պտտվելով ատոմի միջուկի շուրջը,  
 գրավում են այնպիսի ուղեծրեր, որոնց համար մեխանիկական  
 շարժման քանակի ուղեծրային մոմենտը՝ P<sub>ℓ</sub>, ո անգամ մեծ է  
 h/2π մեծությունից՝

$$P_{\ell} = mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad (8.2)$$

որտեղ n – ը գլխավոր քվանտային թիվն է, n=1,2,3.....,

h – ը Պլանկի հաստատունն է, h = 6.65 · 10<sup>-34</sup> Զվրկ,

v – ն գծային արագությունն է:

Տեղադրելով 8.2-ը 8.1 արտահայտության մեջ՝ երևում է Բորի  
 առաջարկած ատոմի մոդելում քվանտացվում է ոչ միայն մեխա-  
 նիկական շարժման քանակի ուղեծրային մոմենտը՝ P<sub>ℓ</sub>-ը նաև  
 ուղեծրային մագնիսական մոմենտ՝ μ<sub>ℓ</sub>-ը.

$$\mu_{\ell} = n \frac{h}{2\pi} \cdot \frac{e}{2m} = n \mu_e \quad (8.3)$$

$$\text{որտեղ } \mu_{\text{Բ}} - \text{ն Բորի մագնետոնն է, } \mu_{\text{Բ}} = \frac{h}{2\pi} \cdot \frac{e}{2m} = 9.27 \cdot 10^{-24}, \text{ Ա} \cdot \text{մ}^2$$

$$\frac{\mu_{\ell}}{P_{\ell}} = \frac{e}{2m} \quad (8.4)$$

(8.4) հարաբերությունը կոչվում է ուղեծրային մոմենտների գիրումագնիսական հարաբերություն:

Պետք է նշել, որ Բորի ատոմի մոդելն ուներ իր թերությունները և կոմպրոմիսային լուծում էր, դասական ֆիզիկայի և քվանտային մեխանիկայի տեսությունների միջև: Դաշորդաբար կիրառելով քվանտային մեխանիկայի տեսությունը՝ պարզվեց, որ էլեկտրոնի շարժումը ատոմի միջուկի կուլոնային դաշտում բնութագրվում է ոչ միայն մեկ քվանտային թվով, այլև չորս քվանտային թվերով՝  $n, \ell, m_{\ell}, m_s$ ,

որտեղ  $n$ -ը գլխավոր քվանտային թիվն է, որը բնութագրում է էլեկտրոնի էներգիան տվյալ ուղեծրի վրա: Այն ընդունում է 1,2,3... արժեքներ:

$\ell$  -ը շարժման քանակի ուղեծրային մոմենտն է, որը բնութագրում է ուղեծրային մագնիսական մոմենտը՝  $\mu_{\ell}$  -ը և ընդունում է հետևյալ արժեքները՝ 0,1,2,3.... ( $n-1$ ):

$m_{\ell}$  -ը մագնիսական քվանտային թիվն է, որը ներկայացնում է շարժման քանակի ուղեծրային մոմենտի՝  $\ell$  -ի արողկցիան դաշտի ուղղությամբ, որը բնութագրում է ուղեծրի տարածական կողմնորոշումը, և ցույց է տալիս, որ ատոմի մագնիսական մոմենտի փոխազդեցության ժամանակ արտաքին դաշտի հետ էլեկտրոնի պտույտը տեղի է ունենում տարբեր հարթություններում:  $m_{\ell}$  -ը ընդունում են հետևյալ արժեքները՝  $\ell, (\ell-1)...1, 0, -1, ..., -\ell$ :

$m_s$  -ը սպինային քվանտային թիվն է, որը բնութագրում է սպինային մագնիսական մոմենտ  $\mu_s$  -ը և ասում է նրա մասին, որ էլեկտրոնը բացի լիցքից և զանգվածից, ունի սեփական շարժման

քանակի մեխանիկական մոմենտ և նրան համապատասխան մագնիսական մոմենտ: Ելեկտրոնի այդ հատկությունը կոչվում է սպից և բացատրվում է ելեկտրոնի պտույտով սեփական առանցքի շուրջ:

$$m_s = \pm \frac{1}{2} \quad (8.5)$$

$$\frac{\mu_s}{p_s} = \frac{e}{m} \quad (8.6)$$

(8.6) հարաբերությունը կոչվում է սպինային մոմենտների գիրումագնիսական հարաբերություն:

Դամենատեղով (8.4) և (8.6) արտահայտությունները՝ երևում են, որ սպինային մոմենտների գիրումագնիսական հարաբերությունը երկու անգամ մեծ է ուղեծրային մոմենտների գիրումագնիսական հարաբերությունից: Դա վկայում է, որ նյութերում մագնիսական հատկությունները իհմնականում պայմանավորված են սպինային մագնիսական մոմենտներով: Ելեկտրոնները որոնք ունեն նույն գլխավոր քվանտային ո թիվը, կազմում են ատոմի թաղանթ: Եթե  $n=4$ , ապա ատոմը բաղկացած է չորս թաղանթից՝ K, L, M, N: Ելեկտրոնները որոնք ունեն նույն քվանտային թիվը՝  $\ell$ , կազմում են ենթաղանթներ:

$\ell$	Ենթաղանթ
0	S
1	p
2	d
3	f
4	g

## 8.2. Նյութերի մագնիսական վիճակների տեսակները

Նյութերի մագնիսական հատկությունները պայմանավորված են սպինային (Երբ էլեկտրոնները պտտվում են իրենց առանցքի շուրջը) և ուղեծրային (Երբ էլեկտրոնները պտտվում են ատոմի միջուկի շուրջը) մագնիսական մոմենտների առաջացումով, որոնց երկրաչափական գումարը տալիս է գումարային մոմենտ: Այն կոչվում է մագնիսացում և միավոր ծավալում նշանակում են  $\mathcal{I}$  տառով: Եթե արտաքին մագնիսական դաշտը բացակայում է, և նյութը նախապես մագնիսացված չէ, ապա  $\mathcal{I}=0$ : Եթե նյութի վրա ազդում է մագնիսական դաշտ որոշակի միջին  $H$  լարվածությամբ, ապա

$$\mathcal{I} = K_d H \quad (8.7)$$

որտեղ  $K_d$ -ը մագնիսական ընկալունակության մեծությունն է,

Կախված  $K_d$ -ի արժեքից և նրա՝  $H$ -ից և ջերմաստիճանից՝  $T$ -ից կախվածության բնույթից, տարբերվում են նյութերի մագնիսական վիճակների հետևյալ տեսակները.

1. Դիամագնիսներ (դիամագնիսականություն):
2. Պարամագնիսներ (պարամագնիսականություն):
3. Ֆերոմագնիսներ (ֆերոմագնիսականություն):
4. Քակաֆերոմագնիսներ (հակաֆերոմագնիսականություն):
5. Ֆերիմագնիսներ (ֆերիմագնիսականություն):

Նյութերը, որոնցում հանդես են օալիս այս երևույթները, համապատասխանաբար կոչվում են դիամագնիսներ, պարամագնիսներ, ֆերոմագնիսներ, ֆերիմագնիսներ, հակաֆերոմագնիսներ:

1. Դիամագնիսական էֆեկտը արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցության արդյունքն է մոլեկուլյար հոսանքների վրա և արտահայտվում է արտաքին մագնիսական դաշտին հակառակ ուղղությամբ մագնիսական մոմենտի առաջացումով: Այսինքն՝ էլեկտրամագնիսական դաշտի ազդեցության տակ, էլեկտրամագնիսականության ինդուկցիայի շնորհիվ փակ օղակային համակարգում (էլեկտրոնների պտտույտը ատոմի միջուկի շուրջը) առաջանում է էլեկտրաշարժ ուժ (էլշու) և լրացուցիչ հոսանք: Լրացուցիչ

հոսանքը իր հերթին առաջացնում է մոմենտ, որը Լենցի օրենքի համաձայն ուղղված է արտաքին մագնիսական դաշտին հակառակ, այդ երևույթը կոչվում է դիամագնիսական էֆեկտ, որը դիտվում է բոլոր նյութերում՝ առանց բացառության: Դետևաբար դիամագնիսաների մագնիսական ընկալունակությունը՝ Կ<sub>գ</sub>-ը, բացասական է և կախված չէ արտաքին մագնիսական դաշտի լարվածությունից և ջերմաստիճանից:

Կ<sub>գ</sub>-ի մեծությունը շատ փոքր է և հավասար է՝  $K_g \approx 10^{-3} \dots 10^{-5}$ : «Մաքուր տեսքով» դիամագնիսական էֆեկտը առաջանում է այն նյութերում (դիամագնիսաներում), որոնցում տեղի է ունենում սպինային և ուղեծրային մագնիսական մոմենտների լրիվ կոմպեսացումը:

Արտնաքնապես դիամագնիսական նյութերը տարբերվում են նրանով, որ դրանք վանվում են ոչ համասեռ մագնիսական դաշտի կողմից:

Դիամագնիսաներից են իներտ գազերը, ջրածինը, ազոտը, տարբեր հեղուկներ (ջուրը, նավթը և այլն) և որոշ մետաղներ (աղիձը, ոսկին, արծաթը, ցինկը և այլն):

**2. Պարամագնիսական էֆեկտը դիտվում է չկոմպեսացված սպինային մագնիսական մոմենտներով և մագնիսական ատոմային կարգը բացակայող նյութերում, որն արտահայտվում է արտաքին մագնիսական դաշտի բացակայության դեպքում մագնիսական մոմենտների վեկտորները ջերմային էներգիայի ազդեցության շնորհիվ դասավորվում են հավասարահավանական: Արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցության տակ առաջանում է մագնիսական մոմենտների կողմնորոշումը դաշտի ուղղությամբ (կողմնորոշվում են միայն նրանում առկա սպինային մոմենտների 0.0001%-ը), այսինքն պարամագնիսաների մոտ մագնիսական ընկալությունը դրական է՝  $K_g = 10^{-2} \dots 10^{-5}$ :**

Արտաքնապես պարամագնիսական նյութերը տարբերվում են նրանով, որ ձգվում են ոչ համասեռ մագնիսական դաշտի կողմից:

**3.** Ֆերոնագնիսական էֆեկտի էությունն այն է, որ արտաքին մագնիսական դաշտի բացակայության ժամանակ, մինչև Կյուրիի ջերմաստիճանի կետը (որը անեն մի ֆերոնագնիսական ատոմային կարգ, որին համապատասխանում է սպինային մոմենտների գուգահեռ դասավորում ( $\uparrow\downarrow$ ): Հետևաբար արտաքին մագնիսական դաշտի բացակայության ժամանակ ֆերոնագնիսները նույնպես գտնվում են տեխնիկական հագեցված վիճակում (ինքնուրույն կամ սպոնտան մագնիսացման վիճակ): Ֆերոնագնիսների մագնիսական ընկալունակությունը և մագնիսական թափանցելիությունը շատ մեծ դրական արժեք ունեն և զգալիորեն կախված են մագնիսական դաշտի լարվածությունից և ջերմաստիճանից:

**4.** Հակաֆերոնագնիսական էֆետը բնութագրվում է նրանով, որ արտաքին մագնիսական դաշտի բացակայության դեպքում հարևան ատոմների փոխազդեցության շնորհիվ մագնիսական մոմենտները կողմնորոշվում են հակազուգահեռ ( $\uparrow\downarrow$ ), այնպես որ արդյունարար մագնիսական մոմենտը հավասար է զրոյի: Արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցության դեպքում մագնիսական մոմենտները ձգուում են դասավորվել դաշտի ուղղությամբ, և հակաֆերոնագնիսները ձեռք են բերում փոքր դրական մագնիսական ընկալունակություն, որի մեծությունը կախված է ջերմաստիճանից:

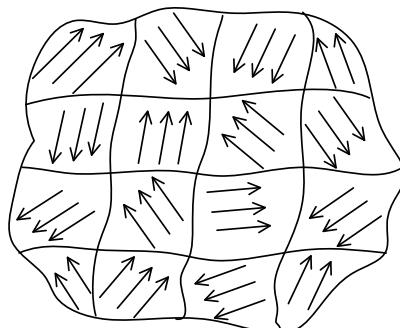
**5.** Ֆերիմագնիսական էֆեկտը չկոմպեսացված հակաֆերոնագնիս է: Ֆերիմագնիսականության բնույթը առաջին անգամ մանրակրկիտ ուսումնասիրվել է ֆերիտների՝ ֆերիմագնիսների առաջին խնդիր վրա, որոնք ստացել են լայն գործնական կիրառություն: Ֆերիտը երկարի օքսիդի ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) միացություն է մետաղների օքսիդների հետ, օրինակ,  $\text{MnO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ , որտեղ  $\text{Mn}^{++}$ -ը երկվալենտ մետաղ է: Ֆերիմագնիսները օժտված են ատոմային հակաֆերոնագնիսական կարգով, որի ժամանակ էներգետիկապես արդյունավետ է արտաքին դաշտի բացակայության դեպքում հարևան ատոմների կամ իոնների սպինների հակազուգահեռ դասավորությունը ( $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$ ): Այդ պայմաններում ֆերիմագնիսների

համար գումարային մագնիսական մոմենտը հավասար չէ զրոյի, իսկ հակաֆերոմագնիսների համար զրո է: Ֆերիմագնիսների, ինչպես և ֆերոմագնիսների համար հատկանշական է դոմենային կառուցվածքի առկայությունը:

Դիա-պարա-հակաֆերոմագնիսական նյութերը կարելի է միավորել թույլ մագնիսական նյութերի խմբում, իսկ ֆերո- և ֆերիմագնիսական նյութերը՝ ուժեղ մագնիսական խմբում: Տեխնիկական կիրառությունների տեսանկյունից անենամեծ հետաքրքրություն ներկայացնում են ուժեղ մագնիսական նյութերը, այդ պատճառով դիտարկում ենք այդ նյութերի բնույթը:

### 8.3. Ընդհանուր տեղեկություն ֆերոմագնիսականության մասին

Տեխնիկայում լայն կիրառում են գտել ֆերոմագնիսները: Ֆերոմագնիսների մոտ մագնիսական թափանցելիությունը՝  $\mu$ -ն, 1-ից շատ մեծ է և կախված է մագնիսական դաշտի լարվածությունից (H) և ջերմաստիճանից (T): Ֆերոմագնիսական երևույթը արտաքին մագնիսական դաշտի բացակայության դեպքում դիտվում է որոշ բյութեղային կառուցվածքով նյութերում մինչև կյուրի ջերմաստիճանի կետը (θ<sub>կ</sub>), որոնց մոտ առաջանում են մակրոսկոպիկ շրջաններ (դոմեններ), որտեղ սպինային մոմենտները դասավորվում են իրար զուգահեռ (նկ.8.1):



Նկ. 8.1. Ֆերոմագնիսական երևույթի դոմենային կառուցվածք

Այսպիսով ֆերոմագնիսների ամբողջ ծավալը բաժանված է մեծ թվով տիրույթների՝ դոմենների, և առանձին դոմենների մագնիսական նոմենտների ուղղությունները նույն են և ուղղված են մինյանց գուգահեռ: Այս նյութերում արտաքին դաշտի բացակայության ժամանակ առաջանում է ինքնակամ մագնիսացում: Գումարային մագնիսական նոմենտը արտաքին դաշտի բացակայության դեպքում հավասար է զրոյի՝  $S=0$ : Դաշտ կիրառելիս բոլոր դոմենների սպինային նոմենտները ուղղվում են դաշտի ուղղությամբ՝ ստեղծելով մագնիսացման մեջ էֆեկտ: Դիմենային կառուցվածքը ֆերոմագնիսական նյութերում գոյություն ունի մինչև որոշակի թու ջերմաստիճան, որից բարձր ջերմաստիճանի դեպքում դոմենային կառուցվածքը քայլայվում է, և նյութը դառնում է պարամագնիս: Ֆերոմագնիսական նյութերից են պատկանում երկար, կոբալտը, նիկելը: Որոնց համար կյուրիի ջերմաստիճանային կետը՝

$$\theta_{\text{c}} (\text{Fe}) = 769^{\circ}\text{C},$$

$$\theta_{\text{c}} (\text{Co}) = 1128^{\circ}\text{C},$$

$$\theta_{\text{c}} (\text{Ni}) = 358^{\circ}\text{C}:$$

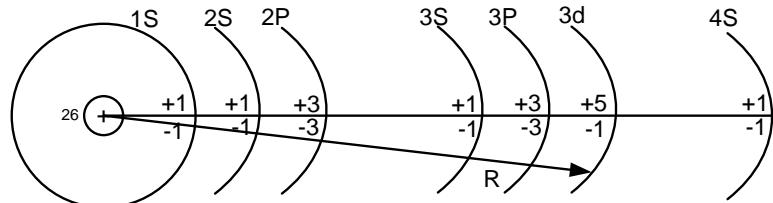
Քանի որ ինքնակամ (սպոնտան) մագնիսացումը վերաբերում է ներքին ատոմային երևույթներին, ապա նրա առաջացման բնույթը բացատրվում է քվանտային մեխանիկայի տեսությամբ, որից հետևում է, որ ինքնակամ (սպոնտան) մագնիսացումը առաջանում է այն նյութերում, որոնք ենթարկվում են երկու պայմանի՝

1. Ատոմները պետք է ունենան լրիվ չկառուցված ուղեծիրներ՝ մեծ մագնիսական թվով՝  $\ell$  (d կամ f):
2. Քարևան ատոմների միջև պետք է տեղի ունենա էլեկտրոնների փոխադարձ փոխանակում:

Առաջին պայմանին բավարարում են պարբերական համակարգի բոլոր անցողիկ էլեմենտները, իսկ երկրորդ պայմանին՝ այդ էլեմենտներից՝ երկար (Fe), կոբալտ (Co), նիկել (Ni):

Դիտարկենք ֆերոմագնիսականության երևույթը երկարի ատոմների օրինակով.

Երկաթի ատոմն ունի 26 էլեկտրոն, որոնք բաշխված են չորս ուղեծրերում ( $n=4$ ): Ակ. 8.2:



Ակ.8.2. Էլեկտրոնների բաշխումը ուղեծրերում՝ Երկաթի ատոմի օրինակով

Ինչպես Երևում է Ակ.8.2-ից  $1S$ ,  $2S$ ,  $2P$ ,  $3S$ ,  $3P$  և  $4S$  ենթա-ուղեծրերում գոյություն ունեն հավասար քանակով էլեկտրոններ, հակառակ վաքով սպիններով, այսինքն՝ տեղի է ունենում սպինային մոմենտների լրիվ հնքնակոմպեսացում, իսկ  $3d$  ենթաուղեծրում, որն ունի 6 էլեկտրոն, որից 4 կոնպենսացված չեն ենթաուղեծրում լրիվ կառուցված չեն և առաջացնում է 4 սպինային մոմենտ: Այսպիսով, Երկաթի ատոմում կատարվում է ինքնուրույն մազմի-սացման առաջն պայմանը և հարևան ատոմների միջև տեղի ունեցող էլեկտրոնների փոխազդեցության հետևանքով կատարվում է Երկրորդ պայմանը:

Պետք է նշել, որ էներգետիկ տեսանկյունից ավելի ձեռնատու է նրանց սպինային մոմենտների գուգահեռ դասավորումը ( $\uparrow\uparrow$ ): Էլեկտրոնների փոխադարձ փոխանակմանը համապատասխա-նում է որոշակի փոխանակման էներգիա ( $W_{փոխ}$ ):

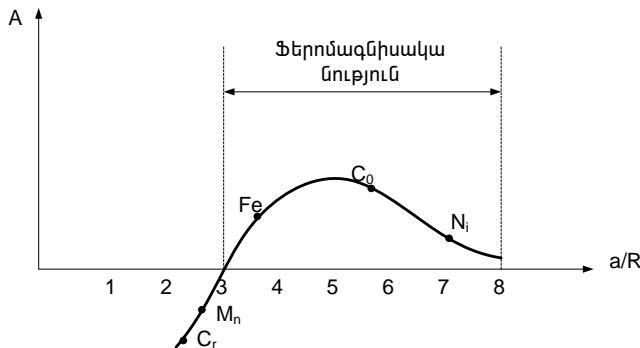
$$W_{փոխ} = -\mathbf{A} \mathbf{m}_{S_i} \cdot \mathbf{m}_{S_k} \quad (8.6)$$

Որտեղ  $m_{S_i}, m_{S_k}$ -ն փոխանակվող ատոմների մեխանիկական շարժման քանակի սպինային մոմենտներն են,  $A$ -ն փոխանակ-ման էներգիայի ինտեգրալն է:

$A > 0$  համապատասխանում է փոխանակվող ատոմների սպի-նային մոմենտների գուգահեռ դասավորմանը, իսկ  $A < 0$  համա-պատասխանում է հակազդության դասավորմանը:  $A > 0$  վիճակը

անհրաժեշտ պայման է ինքնուրույն (սպոնտան) մագնիսացման առաջացման: Երկարի, կորալտի, նիկելի համար  $A>>0$  –ից:

Փոխանակման էներիգիայի համեմատման ինտեգրալը՝  $A$ , կախված է  $a/R$  հարաբերությունից հետևյալ տեսքով (նկ.8.3)



Նկ. 8.3. Փոխանակման էներիգիայի  $A$  ինտեգրալի կախվածությունը  $a/R$  հարաբերությունից:

ա-ն միջատոմային տարածությունն է,  $R$ -ը՝ չկառուցված ենթառութեքրի շառավիղը

Ֆերոմագնիսական էրից մագնիսացման երևույթը բաղկացած է երկու հիմնական պրոցեսից.

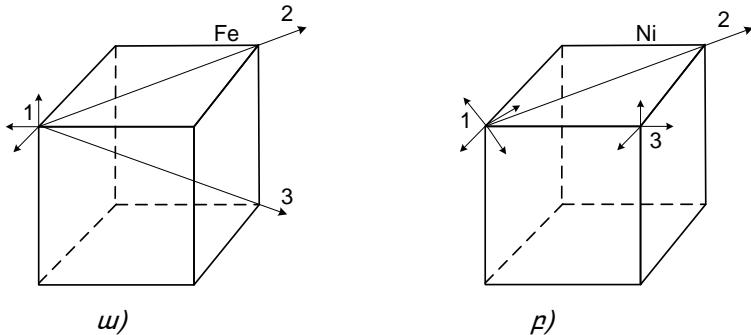
1. Սպինային մոմենտների կողմնորոշումը արտաքին մագնիսական դաշտի ուղղությամբ (կողմնորոշման պրոցես):

2. Դոմենների չափերի փոփոխումը դոմենային սահմանների հաշվին և բացատրվում է այն դոմենների մեծացումով, որոնց սպինային մոմենտները արտաքին դաշտի ուղղությամբ կազմում են նվազագույն անկյուն (սուր անկյուն), և դոմենների փոքրացումով, որոնց սպինային մոմենտները արտաքին դաշտի ուղղությամբ կազմում են առավելագույն անկյուն (բուր անկյուն) (շեղման պրոցես):

Ֆերոմագնիսական մոնոբյուրեղները բնութագրվում են մագնիսական անիզոտրոպիայով, որի հիմաստը մոնոբյուրեղի տարբեր մագնիսացումներն են մագնիսական դաշտի տարբեր առանցք-

Աերի ուղղությամբ:

Դիտարկենք երկարի և նիկելի մոնորյուրեղները (Ակ.8.4)



ա)

բ)

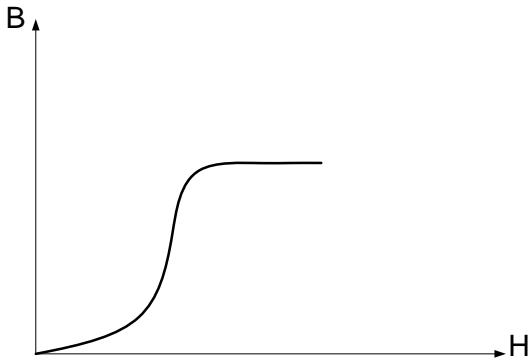
Նկ. 8.4. Երկարի (ա) և նիկելի (բ) մոնորյուրեղներ.

1-հեշտ մագնիսացում; 2-միջին մագնիսացում; 3-դժվար մագնիսացում

Եթե անհզատրոպիայի երևույթն արտահայտված է բավականին կտրուկ ձևով, ուրեմն, այդպիսի ֆերոմագնիսը օժտված է մագնիսական տեքստուրայով:

#### 8.4. Մագնիսացման կորերը

Մագնիսական դաշտում մագնիսական նյութերի վարքը բնորոշող հիմնանական բնութագիրն է մագնիսացման կորը, որը որոշում է ինդուկցիայի կախումն է մագնիսական դաշտի լարվածությունից՝  $B=f(H)$  (հիմնանական մագնիսացման կոր Ակ.8.5):



Նկ.8.5. Հիմնական մագնիսացման կոր

Հիմնական մագնիսացման կորի ցանկացած կետի համար կարելի է գտնել մագնիսական թափանցելիությունը՝  $\mu_0$ , որպես ինդուկցիայի՝  $B$ -ի, հարաբերությունը մագնիսական դաշտի լարվածությանը՝  $H$ -ից: Տարբերում են բացարձակ մագնիսական թափանցելիություն՝  $\mu_r$

$$\mu_r = \frac{B}{H} \quad (8.7)$$

և հարաբերական մագնիսական թափանցելիություն՝  $\mu$

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H} \quad (8.8)$$

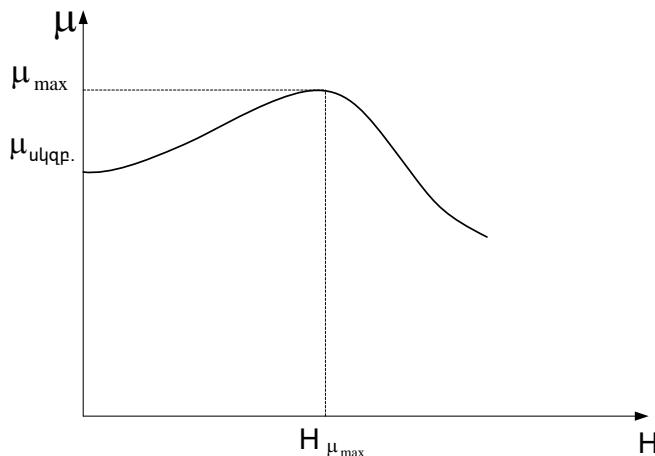
որտեղ  $\mu_0$ -ն վակուումի մագնիսական թափանցելիությունն է՝

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ ՏԾ/Ն}$$

Մագնիսական թափանցելիության ( $\mu$ ) կախվածությունը մագնիսական դաշտի լարվածությունից ( $H$ ) պատկերված է նկար 8.6-ում,

Տեղադրելով (8.7) և (8.8) բանաձևերում  $B$ -ի և  $H$ -ի ստուգ արժեքները՝ ստուգում են մագնիսական թափանցելիության տարբեր տեսակները, որոնք լայն կիրառում են գտել տեխնիկայում:

Շատ հաճախ օգտագործում են՝ հարաբերական՝  $\mu$ , սկզբնական՝  $\mu_{\text{սկզբ.}}$ , առավելագույն՝  $\mu_{\text{max}}$ , դիֆերենցիալ՝  $\mu_{\text{դիֆ.}}$ , իմպուլսային՝  $\mu_{\text{իմպ.}}$  և դինամիկ՝  $\mu_{\text{դին.}}$  մագնիսական թափանցելիություններ:

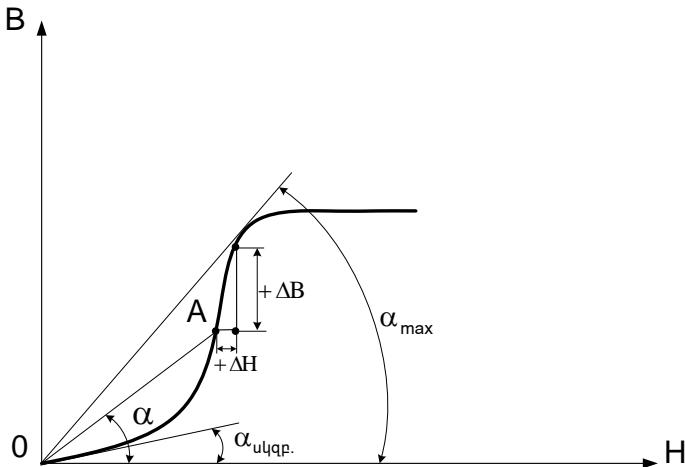


Նկ. 8.6. Մագնիսական թափանցելիության ( $\mu$ ) կախվածությունը  
մագնիսական դաշտի լարվածությունից ( $H$ )

Դիտարկենք հիմնական մագնիսացման կորը (նկ.8.7):

Հիմնական մագնիսացման կորի A կետի համար (նկ.8.7) մագնիսական թափանցելիութնունը ( $\mu$ ) որոշվում է OA-ի  $\alpha$  անկյան տցքի մեծությամբ, այսինքն՝

$$\mu = \frac{B_A}{\mu_0 H_A} = \operatorname{tg} \alpha \quad (8.9)$$



**Ակ.8.7. Հիմնական մագնիսացման կորը տարրեր տեսակի մագնիսական թափանցելիությունների բացատրության համար**

Սկզբնական և առավելագույն մագնիսական թափանցելիությունները հարաբերական մագնիսական թափանցելիության մասնակի դեպքերն են՝

$$\mu_{սկզբ} = \lim_{H \rightarrow 0} \frac{B}{\mu_0 H} = \operatorname{tg} \alpha_{սկզբ} \quad (8.10)$$

$$\mu_{\max} = \frac{B_{\mu_{\max}}}{\mu_0 H_{\mu_{\max}}} = \operatorname{tg} \alpha_{\max} \quad (8.11)$$

Դիֆերենցիալ մագնիսական թափանցելիությունը որոշվում է մագնիսական ինդուկցիայի ածանցյալով ըստ մագնիսական դաշտի լարվածության հիմնական մագնիսացման կորի ցանկացած կետի համար՝

$$\mu_{դիֆ} = \frac{dB}{\mu_0 dH} \quad (8.11)$$

Ինպուլսային մագնիսական թափանցելիությունը՝

$$\mu_{\text{հմա}} = \frac{\Delta B_{\text{հմա}}}{\mu_0 \Delta H_{\text{հմա}}} \quad (8.12)$$

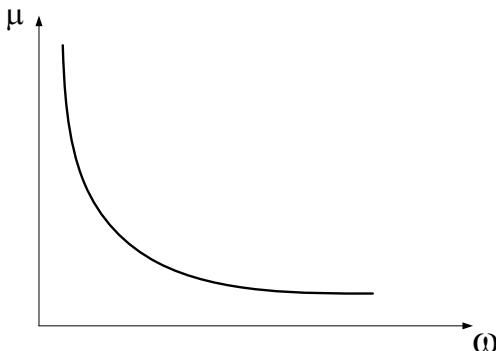
որտեղ  $\Delta B_{\text{հմա}}$ -ը մագնիսական ինդուկցիայի առավելագույն փոփոխությունն է, մագնիսական ինդուկցիայի՝  $\Delta H_{\text{հմա}}$ , դաշտի մագնիսացման դեպքում:

Դինամիկ մագնիսական թափանցելիությունը՝

$$\mu_{\sim} = \frac{B_m}{\mu_0 H_m} \quad (8.13)$$

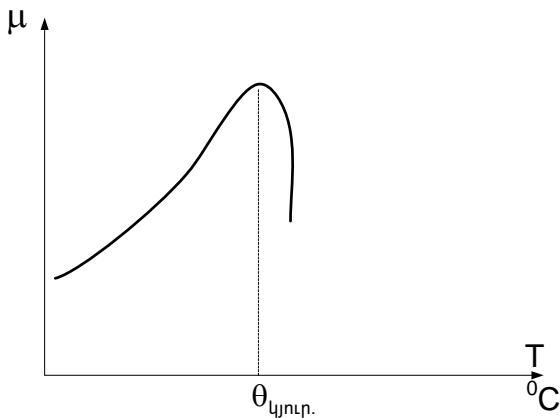
որտեղ  $B_m$  և  $H_m$  համապատասխանաբար ինդուկցիայի և մագնիսական դաշտի ամպլիտուդային արժեքներն են:

Փոփոխական մագնիսական դաշտի հաճախությունը մեծացնելիս մագնիսական թափանցելիությունը փոքրանում է, որը բացատրվում է մագնիսական երևույթների իներցիայով (նկ.8.8):



*Նկ.8.8. Մագնիսական թափանցելիության կախվածությունը հաճախությունից*

Մագնիսական թափանցելիության կախվածությունը զերմաստիճանից ( $\mu=f(T)$ ) ունի հետևյալ տեսքը (նկ.8.9):



**Նկ.8.9. Մագնիսական թափանցելիության կախվածությունը ջերմաստիճանից**

Ինչպես երևում է (Նկ.8.9)  $\theta_{Կյուր}$ -ի ջերմաստիճանից բարձր արժեքի դեպքում մագնիսական թափանցելիությունը կտրուկ նվազում է ( $\mu \approx 0$ ), որը բացատրվում է ֆերոնագնիսների կյուրիի ջերմաստիճանային կետն անցնելուց հրանց ատոմային ֆերոնագնիսային կապի խզումով, դոմենային կառուցվածքի քայլայումով և պարամագնիսական վիճակի անցնելուց:

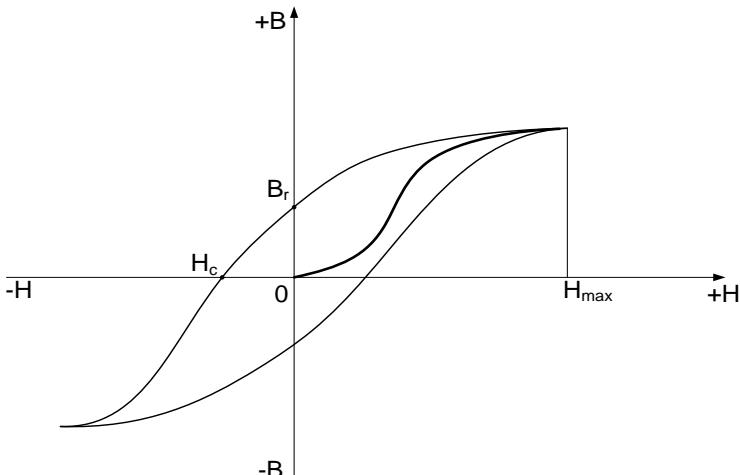
Սագնիսական թափանցելությունը բնութագրվում է մագնիսական թափանցելության ջերմային  $\alpha_\mu$  գործակցով:

$$\alpha_\mu = T k \mu = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{d\mu}{dt} \quad \text{աստ}^{-1} \quad (8.14)$$

## 8.5. Հիստերեզիսի օղակ

Ֆերոնագնիսների ցիկլիկ վերամագնիսացման ընթացքում մագնիսացման կորը հիստերեզիսի օղակ է (Նկ.8.10), որի երկրաչափական գագաթների կետերի տեղը հիմնական մագնիսացման կորեր են: Փոփոխական մագնիսական դաշտի կիրառման դեպքում հիստերեզիսի օղակը անվանում են դինամիկ հիստերեզիսային իսկ նրան համապատասխան հիմնական մագնիսացման կորը՝

դինամիկ: Յիստերեզիսի օղակը, որը ստանում են հագեցման պայմանի դեպքում, կոչվում է սահմանային օղակ: Յիտերեզիսի օղակի հիմնական բնութագրերն են՝ մնացորդային ինդուկցիան ( $B_r$ ), կուրցիստիվ ուժը ( $H_c$ ) և օղակի մակերեսը ( $S$ ), որը բնութագրում է հիգներոզիսային կորուստները ( $P_h$ ) վերամագնիսացման մեջ ցիկլի ընթացքում:



Նկ.8.10. Յիստերեզիսի օղակ

Մնացորդային ինդուկցիան  $B_r$  կոչվում է այն ինֆուլկցիան, որը մնում է նախապես մագնիսացված նմուշում արտաքին դաշտը վերացնելիս:

Կուրցիստիվ  $H_c$  ուժը՝ ապամագնիսացման այն դաշտի լարվածությունն է, որն անհրաժեշտ է կիրառել նախապես մագնիսացված նմուշին, որպեսզի մագնիսական ինդուկցիան նրանում հավասարվի զրոյի:

Այն նյութերը, որոնք ունեն մեծ մագնիսական թափանցելություն և փոքր կուրցիստիվ ուժ, կոչվում են մագնիսափափուկ նյութեր, իսկ այն նյութերը, որոնք ունեն փոքր մագնիսական թափանցելություն և մեծ կուրցիստիվ ուժ, կոչվում են մագնիսակոշտ նյութեր:

## 8.6. Կորուստները մագնիսական նյութերում

Ֆերոմագնիսների վերամագնիսացման ժամանակ փոփոխական դաշտում տեղի է ունենում հիստերեզիսի օղակի մակերեսի փոփոխությունը (մակերեսի մեծացում), որը բնութագրում է էներգիայի ծախսերը մեկ ցիկլ վերամագնիսացման ընթացքում, և պայմանավորված է հիտսերեզիսի երևույթների առաջացրած կորուստներով ( $P_h$ ), մրրկային հոսանքներով ( $P_d$ ) և լրացուցիչ կորուստներով ( $P_u$ ): Այնդաիս օղակը կոչվում է դինամիկական, իսկ կորուստների գումարը՝ լրիվ կամ գումարային կորուստներ:

Հիստերեզիսի կորուստները մեկ վերամագնիսացման ցիկլի համար, վերագրված նյութի միավոր ծավալին (տեսակարար կորուստներ)  $f$  հաճախության դեպքում որոշվում են հետևյալ բանաձևով՝

$$P_h = f \frac{\oint H dB}{\gamma} \quad (\text{Վտ/կգ}) \quad (8.15)$$

որտեղ  $\gamma$  -ն նյութի խտությունն է, կգ/մ<sup>3</sup>:

Մրրկային հոսանքներով պայմանավորված կորուստները կախված են ոչ միայն նյութի մագնիսական հատկություններից, այլ նաև էլեկտրական (տեսակարար էլեկտրական դիմադրություն) և միջուկի ձևից: Մրրկային հոսանքներով տեսակարար կորուստները թերթիկավոր նմուշի համար որոշվում են հետևյալ բանաձևով՝

$$P_d = \frac{164d^2 f^2 B_{\max}^2}{\gamma \rho} \quad (\text{Վտ/կգ}) \quad (8.16)$$

որտեղ  $B_{\max}$  -ը մագնիսական ինդուկցիայի ամպլիտուդն է,  $S_L$ ,

$f$ -ը փոփոխական հոսանքի հաճախությունն է,  $\text{Hz}$ ,

$d$ -ն նմուշի թերթիկի հաստությունն է, մ,

$\gamma$  -ն նյութի խտությունն է, կգ/մ<sup>3</sup>,

$\rho$  -ն տեսակարար էլեկտրական դիմադրությունն է,  $\Omega\text{m}$  · մ:

Լրացուցիչ կորուստները որոշվում են որպես լրիվ կորուստների և հիստերեզիսային ու մրրկային հոսանքի գումարային կորուստների տարբերություն՝

$$P_l = P - (P_h + P_{\text{որ}}) \quad (8.17)$$

Փոփոխական հոսանքի բարձր հաճախության դեպքում առաջին հերթին պետք է հաշվի առնել մրրկային հոսանքներով պայմանավորված կորուստները, քանի որ, դրանք կախված են հաճախությունից քառակուսի աստիճանով ( $t^2$ ):

## 8.7. Ցածր հաճախության մագնիսափափուկ նյութեր

Մագնիսափափուկ նյութերի դասակարգումը որոշվում է հիմնական քիմիական բաղադրությունից, որի հիման վրա մագնիսափափուկ նյութերը բաժանվում են հետևյալ խմբերի՝ տեխնիկապես մաքուր երկար, էլեկտրատեխնիկական պողպատներ, պերմալոյներ և ալսիֆերներ:

### *Տեխնիկապես մաքուր երկար.*

Այն պարումակում է 0.05% ածխածին և նվազագույն քանակով ծծումբ, ֆոսֆոր, մանգան և այլ խառնուրդներ: Տեխնիկապես մաքուր երկարը լինում է հետևյալ տեսակների՝

- ցածրածխածնային էլեկտրատեխնիկական պողպատ,
- էլեկտրոլիտիկ երկար,
- կարբոնիլային երկար:

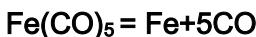
*Ցածրածխածնային էլեկտրատեխնիկական պողպատը* թողարկում են տաք կամ սառը գլանմամբ և արտադրում են բարակ թիթեղային և տեսակավորված:

Բարակ թիթեղային պողպատը պարունակում է 0.04%-ից ոչ ավելի ածխածին և 0.6%-ից ոչ ավել այլ խառնուրդներ և պատրաստվում է 0.2...4մն հաստության թիթեղներից: Պողպատի մակնիշները նշանակվում են հնգամիշ թվերով, առաջին նիշը՝ 1-իզոտրոպ տաք գլանման, 2-իզոտրոպ սառը գլանման, 3- անիզոտրոպ սառը գլանման, երկրորդ նիշը բնութագրում է սիլիցիումի պարունակությունը՝ «0»-0.3%, երրորդ նիշը բնութագրում է հիմնա-

կան նորմավորման բնութագրերը, չորրորդ և հինգերորդ նիշերը բնութագրում են հիմնական նորմավորված բնութագրերի քանակային արժեքները:

**Էլեկտրոլիտիկ երկաթը** պատրաստում են էլեկտրոլիզի միջոցով (Երկաթի ծծմբաթթվի՝ Fe(SO)<sub>4</sub> կամ երկաթի աղաթթվի FeCl միջոցով): Ընդ որում անողը պատրաստում են երկաթից, իսկ կաթոդը՝ որևէ փափուկ պողպատից: Էլեկտրոլիզի ընթացքում անջատված երկաթը նստում է կաթոդի վրա: Կաթոդը հանվում է վաճանայից, նստեցված երկաթը խնամքով լվանալուց հետո մանրացնում են գնդային աղացների միջով մինչև փոշիացում: Զրածնի բարձր հագեցվածության պատճառով այդպիսի երկաթի մագնիսական հատկությունները շատ ցածր են: Սակայն վակուումում վերահալեցման և բազմակի շիկամշակման միջոցով նրա հատկությունները կարելի է օգալի լավացնել: Այդ ձևով մշակված էլեկտրոլիտիկ երկաթը բնութագրվում է հետևյալ մագնիսական հատկություններով. H<sub>c</sub>=30 Ա/մ, μ<sub>max</sub>=15000: Բարձր ինքնարժեքի պատճառով էլեկտրոլիտիկ երկաթը հազվադեպ է կիրառվում:

Կարբոնիլային երկաթը ստանում են պենտակարբոնիլային երկաթի Fe(CO)<sub>5</sub> ջերմային տարրալուծումից:



Ընդ որում, կախված տարրալուծման պայմաններից՝ կարելի է ստանալ տարեր ձևի երկաթ՝ փոշենման ծակոտկեն և այլն: Բարձր մագնիսական հատկություններ ստանալու համար կարբոնիլային երկաթը պետք է ջերմամշակման ենթարկվի ջրածնի առկայությամբ: Կարբոնիլային երկաթը լայնորեն օգտագործվում է որպես ֆերոմագնիսական ֆազ մագնիսադիէլեկտրիկներում:

### **Էլեկտրատեխնիկական սիլիցիումային պողպատներ**

Էլեկտրատեխնիկական սիլիցիումային պողպատները երկաթում սիլիցիումի պինդ լուծույթ են: Տեխնիկապես մաքուր երկաթի լեգիրացնում է սիլիցիումի պինդ լուծույթ: Տեխնիկապես մաքուր երկաթի լեգիրացնումը սիլիցիումով կատարվում է նյութի տեսակարար էլեկտրական դիմադրությունը բարձրացնելու նպատակով:

Սակայն միաժամանակ սիլիցիումը ոչ միայն լավացնում է մի քանի մագնիսական պարամետրեր (մեծանում մագնիսական թափանցելիությունը, փոքրանում է կոէրցիտիկ ուժը), այլ նաև թողնում է և վնասակար ազդեցություն, որոշ չափով փոքրացնելով հագեցման ինդուկցիան և վատացնելով մեխանիկական հատկությունները (բարձրացնում են կարծրությունը և փխրունությունը): Այս պատճառով կիրառում են սիլիցիումային պողպատները սիլիցիումի 5%-ից ոչ ավելի պարունակությամբ: Ելեկտրատեխնիկական պողպատները արտադրվում են ըստ հետևյալ ստանդարտների ԳՈՍ 3836-83, ԳՈՍ 11036-75, ԳՈՍ 21427.1-83, ԳՈՍ 31427.2-83 և այլն, մակնիշավորվում են հնգամիշ թվերով առաջին նիշը՝ 1-իզոտրոպ տաք գլանման, 2-իզոտրոպ սառը գլանման, 3- անիզոտրոպ սառը գլանման, երկրորդ նիշը բնութագրում է սիլիցիումի պարունակությունը՝ «0»-0.4%, «1»-0.4...0.8%, «2»-0.8...1.8%, «3»-1.8...2.8%, «4»-2.8...3.8%, երրորդ նիշը բնութագրում է հիմնական նորմավորման բնութագրերը, չորրորդ և հինգերրորդ նիշերը բնութագրում են հիմնական նորմավորված բնութագրերի քանակային արժեքները:

### **Պերմալոյներ**

Պերմալոյները երկաթի ու նիկելի կամ երկաթի, նիկելի և կոբալտի համաձուլվածքներ են: Սովորաբար լեզիրացված են մոլիբդենով, քրոմով կամ այլ տարրերով: Դրանք ունեն շատ բարձր սկզբնական մագնիսական թափանցելիություն և կոէրցիտիկ ուժի ցածր արժեք: Տարբերում են պերմալոյների հետևյալ տեսակները.

ա) Բարձր նիկելային պերմալոյ, որը պարունակում է 72-80% նիկել, օգտագործում են փոքր գաբարիտային դրոսելներում, տրանսֆորմատորներում, ինչպես նաև թույլ հոսանքի տրանսֆորմատորներում, որպես միջուկ:

բ) Ցածր նիկելային պերմալոյ, որը պարունակում է 45-50% նիկել, ունի մոտ 2 անգամ ավելի բարձր հագեցման ինդուկցիա, քան բարձր նիկելայինը, և օգտագործում են ուժային տրանսֆորմատորներում, դրոսելներում, այսինքն՝ այնտեղ, որտեղ պետք է մագնիսական հոսքի մեջ կոնցենտրացիա:

Պերմալոյների թերությունը նիկելի բարձր արժեքն է և նրա սահմանափակ պաշարները (դեֆիցիտությունը) :

### **Ալսիֆերներ**

Ալսիֆերները փոխարինում են պերմալոյներին և երկարի, սիլիցիումի և այլումինի համաձուլվածք են (Fe-Si-Al): Ալսիֆերի օպտիմալ բաղադրությունն է՝ 9.5% սիլիցիում, 5.6% ալյումին և մնացածը երկար: Այդպիսի համաձուլվածքը աչքի է ընկնում պնդությամբ և փխրունությամբ:

Ալսիֆերների հիմնական հատկություններն են՝  $\mu_{\text{aq}} = 35000$ ,  $\mu_{\text{max}} = 120000$ ,  $H_c = 1.8 \text{ A/mm}^2$ ,  $\rho = 0.8 \text{ կՕհմ}\cdot\text{մ}$ :

Ալսիֆերներից պատրաստում են մագնիսական էկրաններ, տարբեր սարքավորումների իրաններ և այլն: Շնորհիվ ալսիֆերի փխրունության, այն կարելի է փոշիացնել և օգտագործել կարունիլային երկարի հետ միասին՝ բարձր հաճախային մամլված մագնիսական միջուկների պատրաստման համար:

## **8.8. Բարձր հաճախության մագնիսափափուկ նյութեր**

Այս թվին են պատկանում մագնիսադիելեկտրիկները և ֆերիտները:

**Մագնիսադիելեկտրիկները** փոշեծև ֆերոմագնիսական և օրգանական կամ անօրգանական կապակցող մեկուսչային նյութերի մամլված խառնուրդ են: Դիմքը հանդիսանում է կարբոնիլային երկար, ալսիֆեր, պերմալոյ, իսկ կապակցող մեկուսիչը՝ ֆենոլֆորմալդեգիդային կամ էպոքսիդային խեժեր, պոլիստիրոլ, ապակի և այլն: Դիմքը պետք է ունենա բարձր մագնիսական հատկություններ, իսկ կապակցող մեկուսիչը բարձր դիէլեկտրիկական հատկություններ և ընդունակություն փոշեծև ֆերոմագնիսական նյութի հատիկների միջև առաջացնելու առանց կտրվածքի հոժ մեկուսչային ժապավեն:

Սագնիսադիելեկտրիկի կորուստները բաղկացած են հիստերօգիսային, մրրկային հոսանքներից՝ առաջացած հետազոտեցության և դիէլեկտրիկական կորուստներից .

$$\mathbf{P}_{\text{նդ}} = \mathbf{P}_h + \mathbf{P}_{\text{սր}} + \mathbf{P}_{\text{հետ}} + \mathbf{P}_{\text{դ}} \quad (8.18)$$

Այս կորուստները բերում են մագնիսադիէլեկտրիկական միջուկով ինդուկտիվ կոճի ակտիվ դիմադրության մեծացման, այդ ակտիվ դիմադրությունը համարժեք է մագնիսադիէլեկտրիկի կորուստներին.

$$r_{\text{նդ}} = r_h + r_{\text{նդ}} + r_{\text{հետ}} + r_{\eta} + r_{\omega} \quad (8.19)$$

որտեղ  $r_{\omega}$  - ն կոճի պղնձյա փաթույթի կորուստներին համարժեք ակտիվ դիմադրությունն է :

Մագնիսադիէլեկտրիկի դիէլեկտրիկական թափանցելությունը որոշվում է հետևյալ հավասարումով՝

$$\varepsilon_{\text{նդ}} = \varepsilon_{\text{ն}}^{\alpha} \cdot \varepsilon_{\eta}^{1-\alpha} \quad (8.20)$$

որտեղ  $\varepsilon_{\text{ն}}$ -ը ֆերոմագնիսական հիմքի դիէլեկտրիկական թափանցելիությունն է:

$\varepsilon_{\eta}$ -ը կապակցող մեկուսչի դիէլեկտրիկական թափանցելիությունն է:

α -ը՝ մագնիսական ֆազի պարունակությունը:

Մագնիսադիէլեկտրիկները լայն կիրառում են գտել բարձր հաճախային սարքերում, բարձր հաճախային ինդուկտիվ կոռերում և այն:

### Ֆերիտներ

Ֆերիտները մագնիսական կերամիկա են, որոշ աննշան էլեկտրոնային հաղորդականությամբ, այսինքն՝ դրանք վերաբերվում են էլեկտրոնային հաղորդականության կիսահաղորդիչների շարքից են: Բարձր տեսակարար դիմադրությունը և հետևաբար մրրկային հոսանքներով պայմանավորված փոքր էներգիայի կորուստներ բարձր և գերբարձր հաճախություններում, բավականին բարձր մագնիսական հատկությունների հետ մեկտեղ, թույլ է տալիս ֆերիտներին լայնորեն կիրառել բարձր և գերբարձր հաճախություններում: Ֆերիտները երկարի օքսիդի ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) և երկվալենտային մետաղների օքսիդների համաձուլվածքներ են, որոնք համա-

պատրասխանում են ընդհանուր բանաձևի՝



որտեղ  $\text{Me}$ -ն երկվալենտային մետաղի նշանն է :

Տեխնիկայում լայնորեն կիրառվում են պինդ լուծույթները, մի քանի հասարակ օքսիդային միավորումներից, օրինակ տեխնիկայում լայն կիրառվող նիկել-ցինկային ֆերիտները



որտեղ  $m$ ,  $n$  և  $p$ -ն բաղադրամասերի միջև քանակական հարաբերակցության գործակիցներն են:

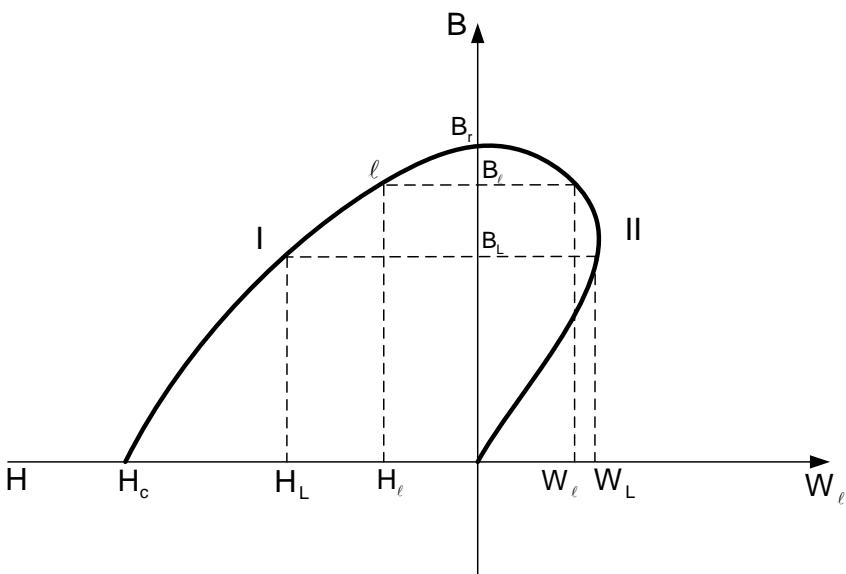
Ֆերիտների պատրաստման տեխնոլոգիան հետևյալն է՝ նախապես թրծված բոլոր ֆերիտային բաղադրությունները մաքրվում են խառնուրդներից, մանրացվում են և փոշով տեսքով խառնվում են միմյանց, ավելացնելով պլաստիկարար նյութ (սովորաբար պոլիֆինիլային սպիրտ) և ստացած ֆերիտային զանգվածը մեծ ճնշման տակ մամլում են՝ ստանալով տարբեր տեսակի իրեր, որոնք հետո  $1100\dots1400^\circ\text{C}$  ջերմաստիճանի տակ ենթարկվում են թրծման, որի ընթացքում տեղի է ունենում եռակալում և ֆերիտի պինդ լուչույթի առաջացում: Կախված օգտագործման պայմաններից՝ պատրաստում են մագնիսափակիուկ, մագնիսակոշտ և ուղղանկյուն հիգտերեզիսի օղակով և այլ ֆերիտներ:

## 8.9. Մագնիսակոշտ նյութեր

Այն նյութերը, որոնք ունեն մեծ կուրցիտիվ ուժ ( $H_c$ ) և փոքր մագնիսական թափանցելիություն ( $\mu$ ), կոչվում են մագնիսակոշտ նյութեր: Մագնիսակոշտ նյութերն օգտագործում են հաստատուն մագնիսների պատրաստման և ինֆորմացիայի գրանցման համար, որտեղ օգտագործում են մագնիսական էներգիա, այսինքն՝ հաստատուն մագնիսներով մագնիսական շղթաները պետք է բաց լինեն և ունենան օգտակար (աշխատանքային) օդային բացակ:

Հաստատուն մագնիսներում օգտագործվող նյութերի համար

կարևոր նշանակություն ունեն կուրցիտիվ ուժը ( $H_c$ ), մնացորդային ինդուկցիան ( $B_r$ ) և տեսակարար մագնիսական էներգիան արտաքին տարածության մեջ ( $W_\ell$ ): Մագնիսական հոսքը օդային բացակում առաջանում է, եթե հաստատում մագնիսը կարճատև մտցնում են ուժեղ մագնիսական դաշտի մեջ: Օրինակ, եթե ունենք հաստատում մագնիսից պատրաստված թորոիդային կոճ, ապա կոճում մագնիսական հոսք, ինչպես նաև մագնիսական էներգիա չի առաջանում: Եթե այդ կոճում ունենք օդային բացակ, կարճատև մագնիսական դաշտ կիրառելուց հետո առաջանում է մագնիսական հոսք և տեսակարար մագնիսական էներգիա: Դաստատում մագնիսներում օգտագործվող նյութերի համար կարևոր նշանակություն ունի իխստերեզիսի օղակի ապամագնիսացման տիրույթը (նկ.8.11):



Նկ.8.11. Ապամագնիսացման (I) և մագնիսացման էներգիայի (II) կորերը օդային բացակում

Մագնիսական ինդուկցիան բացակում ( $B_\ell$ ) շատ ավելի փոքր է քան մնացորդային ինդուկցիան ( $B_r$ ): Արտաքին դաշտը վերացնե-

Լուց հետո նյութի մագնիսական հատկությունները բնութագրվում են ապամագնիսացման կորով: Ապամագնիսացման կորի որևէ է կետի դիրքը որոշվում է  $H_\ell$  և  $B_\ell$  մեծություններով, ինչպես նաև  $W_\ell$  մագնիսական էներգիայով, որը թվապես հավասար է ստվերագծված ուղղանկյան մակերեսին՝

$$W_\ell = \frac{\mathbf{B}_\ell \cdot \mathbf{H}_\ell}{8\pi} \quad (8.21)$$

որտեղ  $B_\ell$ -ը թվացող մնացորդային ինդուկցիան է բացակում,  
 $H_\ell$ -ը դաշտի լարվածությունն է բացակում:

Եթե  $B_\ell = B_r$ , ապա  $H_\ell = 0$  և  $W_\ell = 0$  այս դեպքում կունենանք փակ բողոքիային կոճ:

Եթե բացակի երկարությունը շատ մեծ է, ապա  $H_\ell = H_c$ ,  $B_\ell = 0$ ,  $W_\ell = 0$ :

Այսպիսով, օդային բացակում աշխատանքային կետը ընտրում ենք այնպես, որ տեսակարար մագնիսական էներգիան լինի առավելագույնը:

$W_{առավ.}$ -ը գնահատում է մագնիսակոշտ նյութերի որակը:

Առավելագույն էներգիան ուղիղ համեմատական  $B_r$ -ին,  $H_c$ -ին և նյութի ապամագնիսացման կորի ուռուցիկության գործակցին: Այսպիսով, օդային բացակը ընտրվում է այնպիսին, որ հաշվի առնելով մագնիսական էներգիայի առավելագույն արժեքը՝ բացակում որոշվի հաստատուն մագնիսի լավագույն օգտագործումը:

## ԵՐՐՈՐԴ ՄԱՍ

### ՀԱՊՈՐՊԻՉՆԵՐ

#### 9.1. Հաղորդիչների տեսակները

Ելեկտրատեխնիկայում կիրառվող հաղորդիչ նյութերը լինում են՝ պինդ, հեղուկ և գազզային:

Պինդ նյութեր են համարվում մետաղները, դրանց համաձուլվածքները, ինչպես նաև ածխածնի որոշ տեսակներ:

Հեղուկ հաղորդիչների շարքին դասվում են հալված մետաղները, ինչպես նաև տարբեր էլեկտրոլիտներ:

Ելեկտրահաղորդականության տեսանկյունից հաղորդիչները կարող են լինել.

ա) առաջին կարգի հաղորդիչներ՝ էլեկտրոնային էլեկտրահաղորդականությամբ: Այդ տեսակին են պատկանում պինդ և հալված վիճակում գտնվող մետաղները:

բ) երկրորդ կարգի հաղորդիչներ՝ իոնային էլեկտրահաղորդականությամբ: Այդ տեսակին են պատկանում էլեկտրոլիտները և իոնային բյուրեղները:

Բոլոր գազերը և գոլորշիները, այդ թվում նաև մետաղների գոլորշիները՝ էլեկտրական դաշտի լարվածության բավականաչափ փոքր արժեքների դեպքում հաղորդիչներ չեն և օժտված են շատ մեծ տեսակարար դիմադրությամբ: Սակայն եթե էլեկտրական դաշտի լարվածությունը գերազանցում է որոշ կրիտիկական արժեքին, որը բավարար է իոնացում ստեղծելու համար, ապա գազը կարող է դառնալ հաղորդիչ էլեկտրոնային և իոնային էլեկտրահաղորդականությամբ: Խիստ իոնացված գազը, երբ դրական և բացասական լիցքերի քանակները միավոր ծավալում հավասար են, հատուկ հաղորդիչ միջավայր է, որը կոչվում է պլազմա:

## 9.2. Հաղորդիչների հիմնական հատկությունները

Հաղորդիչների հիմնական հատկություններն են՝

- էլեկտրահաղորդականությունը,
- ջերմահաղորդականությունը,
- պոտենցիալների կոնտակտային տարբերությունը և ջերմա-էլշուն,
- մեխանիկական ամրությունը,
- ջերմային ընդարձակումը:

Էլեկտրահաղորդականություն-Մետաղների բյուրեղային կառուցվածքը այնքան խիտ է, որ հարկան ատոմների ներքին լրացված քաղանթները հպվում են, իսկ արտաքին էլեկտրոնները ծգվում են բոլոր շրջակա միջուկների կողմից: Այսպիսով, մետաղները համակարգեր են, որոնք կառուցված են դրական ատոմների կմախքից և գտնվում են ազատ էլեկտրոնների միջավայրում: Ազատ էլեկտրոնների մեջ քանակը բերում է մետաղների բարձր էլեկտրահաղորդականության և ջերմահաղորդականության: Հոսանքի մեծությունը հաղորդիչներում որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$I = n_0 e V_{\text{միջ}} S \quad (9.1)$$

որտեղ ո<sub>o</sub>-ն ազատ էլեկտրոնների քանակն է, մետաղի միավոր ծավալում,

ո-ն էլեկտրոնի լիցքն է,

$V_{\text{միջ}}$ -ը էլեկտրոնի ուղղորդված շարժման միջին արագությունն է՝ էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ.

$S$ -ը հաղորդալարի կտրվածքն է:

Եթե (9.1) բանաձևում հաշվի առնենք էլեկտրոնների շարժունակությունը ( $V_{\text{միջ}} = U E$ ), ապա կստանանք.

$$I = n_0 e U E S \quad (9.2)$$

որտեղ  $U$ -ն էլեկտրոնի շարժունակությունն է,

Ե-ն էլեկտրական դաշտի լարվածությունն է :

Յոսանքի խտությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$j = \frac{I}{S} = n_0 e U E = \gamma E \quad (9.3)$$

որտեղ  $\gamma$ -ն տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունն է ( $\gamma = n_0 e U$ ):

$\gamma$ -ի հակադարձ մեծությունը կոչվում է տեսակարար դիմադրություն՝

$$\rho = R \frac{S}{\ell} \text{ (Оhm·m)} \quad (9.4)$$

որտեղ  $R$ -ը հաղորդալարի դիմադրությունն է (Ohm),  $\ell$ -ը երկարությունն է (m),  $S$ -ը հաղորդալարի կտրվածքն է (m<sup>2</sup>):

$$1 \text{ Ohm} \cdot \text{m} = 10^6 \frac{\text{Ohm} \cdot \text{m}^2}{\text{m}} = 10^6 \text{ мкOhm} \cdot \text{m}:$$

Յիմնական էլեկտրատեխնիկական մյութերի համար  
 $\rho = 0.016 \dots 10 \frac{\text{Ohm} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$

Օդիմակ՝

$$\rho_{Ag} = 0.016 \frac{\text{Ohm} \cdot \text{m}^2}{\text{m}} :$$

$$\rho_{Cu} = 0.0172 \frac{\text{Ohm} \cdot \text{m}^2}{\text{m}} :$$

$$\rho_{Al} = 0.028 \frac{\text{Ohm} \cdot \text{m}^2}{\text{m}} :$$

Զերմաստիճանը բարձրացնելիս ազատ լիքցերի քանակը հաղորդիչներում չի ավելանում, սակայն ուժեղանում են բյուրեղային ցանցի տատանումները, ավելանում են պատճեշները լից-

քերի ուղղորդված շարժման ճանապարհին, փոքրանում է էլեկտրոնի ազատ վազքի միջին երկարությունը: Այսինքն՝ ջերմաստիճանի բարձրացման հետ տեսակարար հաղորդականությունը փոքրանում է, իսկ տեսակարար դիմադրությունը մեծանում է: Տեսակարար դիմադրության մեծությունը ջերմաստիճանի լայն տիրույթի վերջում որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha_\rho \Delta t) \quad (9.5)$$

որտեղ  $\rho_0$  - տեսակարար դիմադրության արժեքն է տիրույթի սկզբում ( $20^{\circ}\text{C}$ ),

$\alpha_\rho$ -ն տեսակակար դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցն է, որը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$TK\rho = \alpha_\rho = \frac{\rho_t - \rho_0}{\rho_0 \Delta t} \quad (\text{1/աստ}) \quad (9.6)$$

$$TK\rho = \alpha_\rho = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} \quad (\text{1/աստ}) \quad (9.7)$$

Մաքուր մետաղների համար պինդ վիճակում՝

$$\alpha_\rho \approx \frac{1}{273} = 0.004 \text{ } \text{Կ}^{-1},$$

ֆերոմագնիսների համար (Fe, Co, Ni)

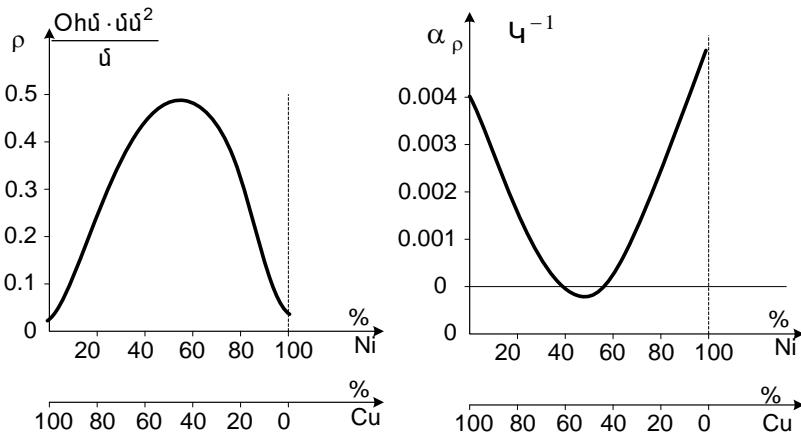
$$\alpha_\rho = 0.006 \text{ } \text{Կ}^{-1}:$$

Այն համաձուլվածքների համար, որոնք տարբեր մետաղներից բաղկացած պինդ լուծույթներ են, տեսակակար դիմադրությունը ավելի մեծ է, քան դրանց առանձին բաղադրիչներինը, իսկ  $\alpha_\rho$ -ն՝ հակառակը:

Պինդ լուծույթը այնպիսի համաձուլվածք է, որոնց երկու մետաղները բյուրեղանում են միաժամանակ, այսինքն՝ մի մետաղի ատոմները մտնում են մյուսի ատոմների բյուրեղային ցանցի մեջ:

Օրինակ, Cu-Ni-ի համար տեսակակար դիմադրության ( $\rho$ ) և ջերմաստիճանային գործակցի ( $\alpha_p$ ) կախումը Cu և Ni տոկոսային քանակային բաղադրությունից (0...100%) պատկերված է նկ.9.1-ում:

$\alpha_p$ -ի մեծությունը (Cu-Ni) պինդ լուծույթի համար ավելի փոքր է, քան նրա առանձին բաղադրիչներինը և կարող է ընդունել բացասական արժեք:



Նկ. 9.1. Պինդ լուծույթի՝ Cu-Ni, համար տեսակակար դիմադրության ( $\rho$ ) և ջերմաստիճանային գործակցի ( $\alpha_p$ ) կախումը Cu և Ni տոկոսային քանակային բաղադրությունից

**Ջերմահաղորդականություն - Մետաղների ջերմահաղորդականությունը սերտ կապված է էլեկտրահաղորդականության հետ, քանի որ այն տեղի է ունենում նույն ազատ էլեկտրոնների միջոցով: Դրանց քանակը մետաղում միավոր ծավալում չափազանց մեծ է: Այն մետաղները, որոնք ունեն բարձր էլեկտրահաղորդականություն, ունեն բարձր ջերմահաղորդականություն: Որքան մեծ է մետաղի տեսակարար էլեկտրական հաղորդականությունը՝  $\gamma$ -ն, այնքան մեծ է նրա ջերմահաղորդականության գործակիցը  $\lambda$ -ն: Ջերմաստիճանը բարձրացնելիս, երբ մետաղում էլեկտրոնների շարժումակությունը և համապատասխանաբար  $\gamma$  հաղորդակա-**

նությունը փոքրանում են, ապա մետաղի ջերմահաղորդականության գործակցի հարաբերությունը նրա տեսակարար էլեկտրական հաղորդականությանը՝  $\lambda/\gamma$  պետք է աճի: Մաթեմատիկորեն դա արտահայտվում է Վիդեման-Ֆրանց-Լորենցի օրենքով՝

$$\frac{l}{g} = L_0 T \quad (9.8)$$

որտեղ  $T$ -ն բացարձակ ջերմաստիճանն է, Կ,

$L_0$ -ն Լորենցի թիվն է, որը բոլոր մետաղների համար հաստատուն մեծություն է և հավասար է՝

$$L_0 = \frac{\pi^2}{3} \cdot \left( \frac{k}{e} \right)^2 = 2.45 \cdot 10^{-8} \text{ } \text{C}^2/\text{V}^2 :$$

որտեղ  $k$ -ն Բոլցմանի հաստատունն է,  $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$   $\text{J/K}$ ,

ե- էլեկտրոնի լիցքն է,  $e = -1.6 \cdot 10^{-19}$  Կլ:

Պոտենցիալների կոնտակտային տարբերությունը և ջերմաէլշում - Երկու տարբեր մետաղների համան ժամանակ դրանց միջև առաջանում է պոտենցիալների կոնտակտային տարբերություն: Այն պայմանավորված է առանձին մետաղներում էլեկտրոնների ելքի աշխատանքի արժեքների և հպվող մետաղների ազատ էլեկտրոնների կոնցենտրացիայի արժեքների տարբերությամբ: Եթե ունենք A և B մետաղներ, ապա դրանց համան կետում, համաձայն մետաղների էլեկտրոնային տեսության, պոտենցիալների կոնտակտային տարբերությունն է՝

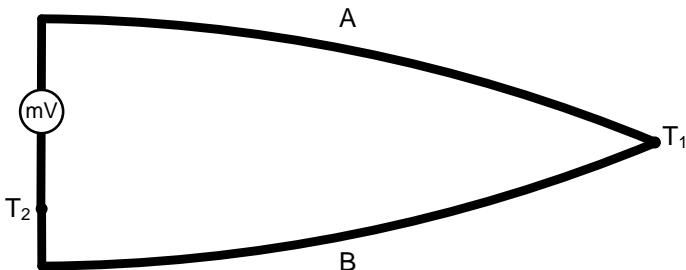
$$U_{AB} = U_B - U_A + \frac{kT}{\ell} \ln \frac{n_A}{n_B} \quad (9.9)$$

որտեղ  $U_A$  և  $U_B$ -ն համապատասխան հպվող մետաղների պոտենցիալներն են,

$n_A$  և  $n_B$  ազատ էլեկտրոնների կոնցենտրացիան է համապատասխանաբար A և B մետաղներում,

Սովորաբար պոտենցիալների կոնտակտային լարումը կարող է տատանվել միլիվոլտից մինչև մի քանի վոլտ:

Եթե ունենք երկու՝ A և B մետաղներից բաղկացած փակ շղթա, ապա եթե երկու համան կետերում  $T_1=T_2=\text{const}$ , փակ շղթայում պոնտենցիալների կոնտակտային տարբերությունը հավասար է զրոյի: Իսկ եթե  $T_1 \neq T_2$ , ապա  $U_{AB} + U_{BA} = U$



$$U = U_{AB} + U_{BA} = U_B - U_A + \frac{kT_1}{e} \ln \frac{n_A}{n_B} + U_A - U_B + \frac{kT_2}{e} \ln \frac{n_B}{n_A},$$

որտեղից

$$U = \frac{k}{e} (T_1 - T_2) \ln \frac{n_A}{n_B} = A(T_1 - T_2) \quad (9.10)$$

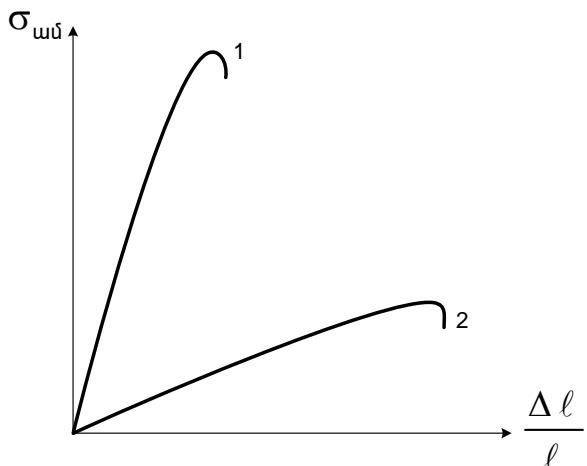
որտեղ A-ն տվյալ գույգ հաղորդիչների համար հաստատում գործակից է («ջերմա-էլշու-ի գործակից»), այսինքն ջերմա-էլշուն պետք համեմատական լինի զողվածատեղերի ջերմաստիճանների տարբերությանը:

Երկարությամբ իրարից մեկուսացված տարբեր մետաղներից կամ համաձուլվածքներից կազմված երկու լարերը («ջերմագույգ») կարելի է օգտագործել ջերմաստիճան չափելու համար: Ջերմագույգերում օգտագործում են հաղորդիչներ, որոնք ունեն մեծությամբ բարձր և կայուն ջերմա-էլշու-ի գործակից: Ընդհակառակը չափիչ սարքերի փառույթների և նմուշային ռեզիսորների համար ճգտում են օգտագործել հաղորդիչ մետաղներ և համաձուլվածք-

Աեր պղնձի նկատմամբ հնարավորին չափով փոքր ջերմա-էլշու-ի գործակցով, որպեսզի չափման շղթաներում խուսափեն պարագի-տային ջերմա-էլշու-ների առաջանալուց, որոնք կարող են սխալ-ներ առաջացնել ճշգրիտ չափումներ կատարելիս:

*Մեխանիկական ամրությունը – Յաղորդիչների մեխանիկա-կան հատկությունները բնութագրվում են ձգման դեպքում ամրու-թյան սահմանով (σ<sub>ամ</sub>) և խզման դեպքում՝ հարաբերական երկա-րացումով ( $\Delta\ell/\ell$ ):*

Ձգման դեպքում ամրության սահմանի (σ<sub>ամ</sub>) կախվածությունը խզման դեպքում հարաբերական երկարացումից ( $\Delta\ell/\ell$ ) ունի հետյալ տեսքը՝



Նկ. 9.2. Ձգման դեպքում ամրության սահմանի (σ<sub>ամ</sub>) կախվածությունը խզման դեպքում հարաբերական երկարացումից ( $\Delta\ell/\ell$ )

1-պինդ ձգված լարի համար, 2- թրծված լարի համարէ

Նկար 9.2-ից երևում է, որ թրծման ազդեցությունը բերում է ձգման դեպքում ամրության սահմանի (σ<sub>ամ</sub>) փոքրացմանը մոտ 1.5...2 անգամ, իսկ խզման դեպքում հարաբերական երկարաց-ման ( $\Delta\ell/\ell$ ) մեծացմանը մոտ 15...20 անգամ:

Ելեկտրատեխնիկայում օգտագործվող բոլոր հաղորդալարերը ենթարկվում են թրծման, որպեսզի մեծացվի դրանց ճկունությունը, փափկությունը:

**Զերմային ընդարձակումը** - Բնութագրվում է գծային ընդարձակման չերմային գործակցով ( $TK\ell$ ), որը գծային ընդարձակման հարաբերական փոփոխումն է, երբ չերմաստիճանը բարձրացնում ենք  $1^{\circ}\text{C}$ -ով:

$$TK\ell = \alpha_\ell = \frac{1}{\ell} \frac{\mathbf{d}\ell}{\mathbf{dt}} \quad (1/\text{աստ}) \quad (9.10)$$

Մետաղներում  $\alpha_\ell$ -ի և հալման չերմաստիճանների միջև կա հետևյալ կապը: Այն մետաղները, որոնք ունեն  $\alpha_\ell$ -ի բարձր արժեք, հալվում են ավելի ցածր չերմաստիճաններում, իսկ  $\alpha_\ell$ -ի ցածր արժեքի դեպքում մետաղները դժվարահալ են:

### 9.3. Բարձր հաղորդման նյութեր

**Պղինձ:** Պղինձի առավելություններն են՝ բարձր հաղորդականություն, բարձր մեխանիկական անդություն, հարաբերական կայունություն կոռոզիայի հանդեպ: Այն հեշտությամբ մշակվում և ենթարկվում է զոդման ու եռակցման: Պղինձը ստանում են՝ պղինձասուլֆիդային հոլմքը բազմաքանակ հալման և մաքրման ենթարկելով: Դրանից հետո այն ենթարկվում է էլեկտրոլիտիկ մաքրման և հալված վիճակում լցվում հատուկ ձևերի մեջ, որոնցից ստանում են ձուլվածքներ 100...200կգ քաշով: Այդ ձուլվածքները տաք գլանման եղանակով ձգում են՝ ստանալով 8...10 մմ տրամագծով պղնձալար (կատանկա), որի մակերեսը տաք գլանման ժամանակ օդի հետ մտնում է ռեակցիայի մեջ՝ մակերեսի վրա առաջացնելով օքսիդային շերտ ( $\text{CuO}$ ), որն ունի մեծ պնդություն և փխրունություն: Ստացված պղնձալարից (կատանկանից) սառը գլանման եղանակով ձգում են՝ ստանալով մինչև 0.02...0.03 մմ համապատասխան տրամագծով պղնձալարեր: Մինչև սառը գլանումը կատանկան ենթարկում են քիմինաքրոման, որպեսզի

Վերացվի օքսիդային շերտը: Այդ պրոցեսը կոչվում է խածատում, որը կատարում են  $H_2SO_4$ -ի 5%-ային ջրային լուծույթում: Օքսիդային շերտը վերացնելիս պղնձալարը (կատանկան) հեշտությամբ ենթարկում են սառը գլաննան:

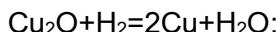
**Պղնձի մակնիշները:** Ժամանակակից պատրաստման տեխնիկական պրոցեսում պղնձի ամենաանցանկալի խառնուրդը թթվածինն է, որը վատացնում է մեխանիկական և էլեկտրական հատկությունները:

M1 մակնիշի պղնձում պարունակվում է 99.9 % պղնձ և 0.08% թթվածին:

M0 մակնիշի պղնձում պարունակվում է 99.95 % պղնձ և 0.02% թթվածին:

Կոչտ ճգված լարը մակնիշավորվում է MT –ով, որն ունի մեծ ամրության սահման՝ σ<sub>w</sub>: Թրծման ենթարկված պղնձալարը մակնիշավորվում է MM-ով, որն ունի մեծ ծկունություն համեմատաբար փոքր մեխանիկական ամրությամբ:

Էլեկտրավակուումային տեխնիկայում օգտագործում են անթթվածնային պղնձ MOO մակնիշի, որը պարունակում է 99.97% պղնձ: Թթվածինը պղնում գտնվում է  $Cu_2O$  –ի տեսքով (ենթօքսիդ), երբ ջրածինը ներթափանցում է պղնձի մեջ առաջանում է ռեկցիա.



Ուսակցիայի շնորհիվ առաջացած ջուրը դուրս գալով պղնձից ճնշման տակ՝ քայքայում է նրան, զգալիորեն նվազացնելով նրա մեխանիկական հատկությունները:

**Պղնձի համահալվածքները:** Պղնձի համահալվածքներն են բրոնզը և արույրը:  $Rho_{CuZn}$  պղնձի խարնուրդն է ֆոսֆորի, սիլիցիումի, բերիլիումի, կաղմիումի, անագի և այլ նյութերի հետ, որոնք որոշ չափով կարող են վատացնել հաղորդականությունը, բայց բավականին կտրուկ մեծացնել մեխանիկական հատկությունները ( $\sigma_w, \Delta\ell / \ell$ ): Բրոնզից պատրաստում են հոսանքատար զսպանակներ, սահող կոնտակտներ, խոզանակաբոնիչներ:

Կաղմիունական բրոնզից, որն ունի բավականին մեծ մեխանիկական ամրություն, պատրաստում են էլեկտրական հաղորդալարեր էլեկտրական տրանսպորտի համար: Բերիլիունական բրոնզից պատրաստում են հոսանքատար զապանակներ, սահող կոնտակներ, խոզանակաբռնիչներ և այլն:

**Արույրը** պղնձի և ցինկի համահալվածք է: Ունի բավականին մեծ հարաբերական երկարացում ( $\Delta\ell/\ell$ )՝ համեմատաբար մեծ ամրության սահմանի (σ<sub>ամ</sub>) դեպքում: Այստեղից էլ հետևում է նրա ճկունությունը, հեշտ մշակումը և այլն:

**Այումին:** Սուտ 3.5 անգամ թերև է պղնձից, բայց ունի ավելի ցածր մեխանիկական և էլեկտրական հատկություններ: Եթե համեմատենք նույն կտրվածքով և երկարությամբ երկու՝ այսումինե և պղնձե լարեր, ապա կտեսնենք, որ ալումինի էլեկտրական դիմադրությունը  $1.63$  անգամ մեծ է պղնձի դիմադրությունից ( $0.028/0.072 = 1.63$ ): Դետեկտոր որպեսզի ստանանք նույն դիմադրությամբ ալումինե լար, պետք է նրա կտրվածքը  $1.63$  անգամ մեծ լինի պղնձյա լարի կտրվածքից, այսինքն՝ այսումինե լարի տրամագիծը մոտ  $1.3$  անգամ մեծ պետք է լինի պղնձյա լարի տրամագծից: Դամեմատելով նույն երկարությամբ և դիմադրությամբ երկու պղնձյա և այսումինե լարերը՝ կտեսնենք, որ չնայած ալումինե լարի տրամագիծը մեծ է պղնձյա լարից, սակայն նրա զանգվածը մոտ երկու անգամ փոքր է:

Այս հանգամանքը բերել է նրան, որ շատ դեպքերում էլեկտրահաղորդման օդային գծերի և՝ փոքր հզորությամբ, և՝ լարմանք լարերի, և՝ կարելների պատրաստման ժամանակ հիմնականում օգտագործում են այլումինե լարեր պղնձի փոխարեն:

Այսումինե լարերի պատրաստումը (տաք և սառը գլանումը, թրծումը) կատարում են նույն եղանակով, ինչպես պղնձե լարերինը:

Տաք գլանման ժամանակ ալումինե լարի (կատանկախ) մակերեսը ծածկվում է օքսիդային շերտով, որը պաշտպանում է մետաղը հետագա օքսիդացումից: Սակայն ալումինե լարը (կատանկան) քիմիաքրման չի ենթարկվում, քանի որ օքսիդային

շերտը չունի մեծ պնդություն և չի խանգարում սառը գլաննան եղանակին:

**Ալումինի մակնիշները:** Էլեկտրատեխնիկական այումինը մակնիշավորվում է A1-ով, որի մեջ կան 0.5% -ից ոչ ավել խառնուրդներ:

ABOO մակնիշի այումինը պարունակում է 0.03 %-ից ոչ ավել խառնուրդներ և օգտագործում են այումինե նրբարիթեղ պատրաստելու համար:

Լավ մաքուր այումինը մակնիշավորվում է ABOOO, որի մեջ պարունակվում են 0.004%-ից ոչ ավել խառնուրդներ: Էլեկտրատեխնիկական այումինից պատրաստում են այումինանրբարիթեղ 6...7 մկմ հաստությամբ, որն օգտագործում են էլեկտրական կոնդենսատորների շրջադիրների պատրաստման համար:

**Ալյումինի համահալվածքները:** Ալյումինի մեխանիկական հատկությունները մեծացնելու համար այն լեզիրում են (մետաղը բարելավում են՝ նրա հալվածքի մեջ այլ մետաղներ ներմուծելով) մագնեզիրումով, սիլիցումով և երկաթով՝ 0.2...0.4% ամեն մի էլեմենտից:

Այդպիսի լեզիրացված այումինը կոչվում է **ալդրեյ** և մակնիշավորվում է AD31-ով, AD33-ով, որոնք մեխանիկապես ամուր են և պլաստիկ:

#### 9.4. Դժվարահալ մետաղներ

Դժվարահալ մետաղները, որոնք ստանում են փոշեմետաղագործության տեխնոլոգիայով, օգտագործում են էլեկտրավակումնային սարքավորումների և լույսի աղբյուրների պատրաստման համար:

Դժվարահալ մետաղներին են՝

**1. Վոլֆրամ (W):** Վոլֆրամը և նրա համահալվածքները օգտագործում են շիկացնան մարմինների պատրաստման համար (կատողներ, պարուրալարեր, տաքացուցիչներ և այլ) որոնք աշխատում են մինչև  $2900^{\circ}\text{C}$  ջերմաստիճանի տակ: Վոլֆրամի հալման ջերմասիճանը  $3380^{\circ}\text{C}$ : Վոլֆրամից նաև պատրաստում

Են տարբեր տեսակի կախիչներ, քանի որ վոլֆրամն ունի բարձր մեխանիկական ամրություն և առաձգականություն: Կախված տարբեր բաղադրությամբ հանքատեսակներից՝ տարբերում են հետևյալ մակնիշի վոլֆրամներ՝ **BM** (սիլիցիումահիմքային և բրոհիումի հավելանյութերով), օգտագործում են շիկացման լարերի և պարուրալարերի պատրաստման համար ( $t_{աշխ}=2100^{\circ}\text{C}$ ), **BI** (իտրիումի հավելանյութով), որից պատրաստում են եռակցման էլեկտրոններ:

- 2. Մոլիբդեն (Mo):** Մոլիբդենը վոլֆրամին զիջում է իր հալման ջերմաստիճանով ( $2620^{\circ}\text{C}$ ), սակայն ավելի պլաստիկ է: Mo օգտագործում են էլեկտրավակուումային տեխնիկայում: Տարբերում են հետևյալ մակնիշի մոլիբդեններ՝ **MЧ** (նաքուր, առանց հավելանյութի) որից պատրաստում են ցանցեր ռադիոլամպերի համար, **МК** (սիլիցիումահիմքային հավելանյութով), որն ունի բարձր մեխանիկական ամրություն բարձր ջերմաստիճանների դեպքում:
- 3. Տանտալ (Ta):** Հալման ջերմաստիճանը  $2977^{\circ}\text{C}$  է: Տանտալի տեխնոլոգիական առանձնահատկությունն այն է, որ նրա պատրաստում կատարում են վակուումային վառարաններում, որպեսզի այն գագեր չկլանի, որոնք ազդում են նրա փիսրունության վրա: Տանտալից պատրաստում են գեներատորային լամպերի համար անոթներ և ցանցեր: Էլեկտրավակուումային սարքավորումներում տանտալը հանդիսանում գագակլանիչ է:
- 4. Ռեմիում (R<sub>e</sub>):** Հալման ջերմաստիճանը  $3180^{\circ}\text{C}$  է: Ունիումը ունի բարձր մեխանիկական ամրություն, պլաստիկություն և տեսակարար դիմադրություն: Այն հեռանկարային նյութ է, բայց ներկայունս օգտագործում են որպես վոլֆրամի և մոլիբդենի հավելանյութ: Պատրաստման տեխնոլոգիան բարդ է և բանկ:

## 9.5. Բարձր դիմադրության համահալույթներ

Բարձր դիմադրության համահալույթները բաժանվում են երեք հիմնական խմբի:

- I. Եշգրիտ էլեկտրաչափիչ սարքավորումների համար:
- II. Տարբեր նշանակության դիմադրությունների (ռենստատ-ների) համար:
- III. Տաքացուցիչ սարքավորումների համար:

Առաջին խմբի համահալույթների համար կարևոր դեր է խաղում R դիմադրության կայունությունը, TKρ-ի և թերմոէլշուկ փոքր մեծությունը պղնձի հանդեպ: Այդ խմբի հիմնական հալույթներից մեկն է մանգանը (86% Cu, 12% Mn, 2% Ni), թերմոէլշուն հավասար է  $1\text{մկՎ/աստ}$ ,  $\rho=0.43$  մկՕհմ·մ,  $\text{TKρ}=10^{-5}$  աստ $^{-1}$ : Տարբերում են մանգանի հետևյալ մակնիշները ՊՄԴ-պինդ ծգած և ՊMMC-փափուկ:

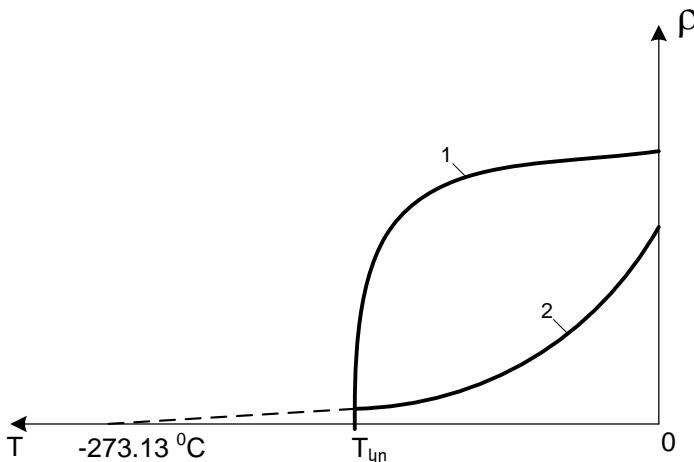
Երկրորդ խմբի համահալույթների համար էական է աշխատանքային ջերմաստիճանը և ցածր արժեքը: Թերմոէլշուն և TKρ-ն խաղում են երկրորդական դեր: Այս խմբի հիմնական համահալույթն է կոնստատանը (60% Cu, 40% Ni)  $\rho=0.45\dots0.48$  մկՕհմ·մ փափուկ մակնիշի համար և  $\rho=0.46\dots0.54$  մկՕհմ·մ պինդ մակնիշի համար: Օգտագործում են էլեկտրական դիմադրությունների դեպքում: Օքսիդացված կոնստատանե լարով պատրաստում են ռենստատներ:

Երրորդ խմբի համահալույթների կարևոր պահանջներն են բարձր աշխատանքային ջերմաստիճանը և օքսիդային շերտի բացակայությունը: Այդ տեսանկյունից լավագույն նյութ է պլատինը ( $P_t$ ), որի  $\rho=0.105$  մկՕհմ·մ: Պլատինը օգտագործում են լաբորատոր վառարաններում  $1300^\circ\text{C}$  աշխատանքային ջերմաստիճանով: Թերությունը թանկությունն է: Հիմնական համահալույթ տաքացուցիչ սարքավորումների համար նիքրոմն է ( $\text{Ni-Cr}$ ՝ նիկելի և քրոմի համահալույթ) տարբերում են նիքրոմի տարբեր մակնիշներ՝ X15H60-  $\rho=1.0\dots1.2$  մկՕհմ·մ,  $t_{\omega\gamma\eta}=1000^\circ\text{C}$ ,

X20H80 -  $\rho=1.0\dots1.1$  մկՕհմ·մ,  $t_{\omega\gamma\eta}=1100^\circ\text{C}$  և այլն:

## 9.6. Գերհաղորդիչներ և կրիոհաղորդիչներ

1911թ. հոլանդացի գիտնական Կամեռլինգ-Օննեսը հայտնաբերեց գերհաղորդականության երևույթը: Պարզվեց, որ 4.2Կ ջերմաստիճանի դեպքում սնդիկի էլեկտրական դիմադրությունը կտրուկ դաշնում է զրո, այսինքն՝ սնդիկը ձեռք է բերում անսահման մեջ հաղորդականություն: Այն երևույթը, որի դեպքում մետաղները սառեցման ջերմաստիճանի ժամանակ ձեռք են բերում անսահման մեջ հաղորդականություն, կոչվում է գերհաղորդականություն: Կրիտիկական սառեցման ջերմաստիճանը, որի դեպքում տեղի է ունենում նյութի անցում գերհաղորդիչ վիճակի, կոչվում է գերհաղորդականության անցման ջերմաստիճան ( $T_{կր}$ ), իսկ նյութերը՝ գերհաղորդիչներ: Այսպիսով, գերհաղորդիչները կոչվում են այն մետաղները կամ նրանց համաձուլվածքները որոնք որոշակի կրիտիկական ջերմաստիճանում կորցնում են իրենց էլեկտրական դիմադրությունը, այսինքն  $\rho \rightarrow 0$ ,  $\gamma \rightarrow \infty$ : Յարկ է նշել, որ գերհաղորդիչ շղթայում մեկ անգամ ստեղծված էլեկտրական հոսանքը երկար ժամանակ (տարիներով) կշրջի այդ շղթայով առանց նկատելի չափով փոքրացնելու իր ուժը, ընդ որում, արտաքինից առանց որևէ էներգիա մատուցելու: Ներկայումս հայտնի են 27 հասարակ (մաքուր մետաղներ) և հազարից ավելի բարդ (համաձուլվածքներ և միացուցուններ) գերհաղորդիչներ: Ամենաբարձր սառեցման կրիտիկական ջերմաստիճան ( $T_{կր}$ ), մաքուր մետաղների մոտ ունի նիորիումը՝ Nb, ( $T_{կր}=9.4Կ$ ) իսկ ամենացածրը ունի իրիդիումը՝ Ir, ( $T_{կր}=0.140 Կ$ ), Յամաձուլվածքների մոտ համեմատաբար բարձր սառեցման կրիտիկական ջերմաստիճան ունեն՝ 44%Nb+56%Ti ( $T_{կր}=8.7 Կ$ ), 50%Nb+50% Zr ( $T_{կր}=9.5 Կ$ ) համաձուլվածքները: Մետաղների տեսակարար դիմադրության փոփոխումը խոր սառեցման դեպքում բերված է նկ. 9.3-ում

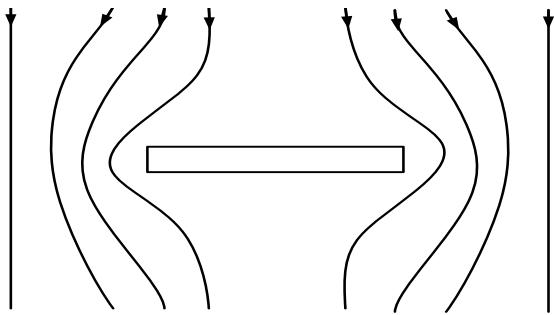


**Նկ. 9.3. Մետաղների տեսակարար դիմադրության փոփոխումը խոր սառեցման դեպքում**

1-գերհաղորդիչ, 2-սովորական մետաղ

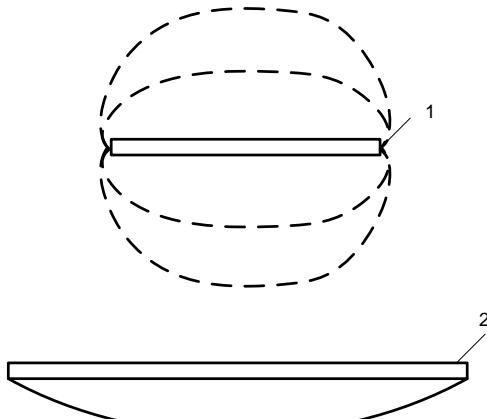
Յարկ է նշել, որ գերհաղորդականության երևույթը դարձելի է, այսինքն՝ ջերմաստիճանի բարձրացման ժամանակ մինչև  $T_{\text{կր}}$  գերհաղորդականությունը խախտվում է, բացի այդ, գերհաղորդականության երևույթը խախտվում է նաև գերհաղորդիչի մակերևութին որոշակի կրիտիկական արժեքից մեծ ինդուկցիայով՝  $B_{\text{կր}}$ , մագնիսական դաշտ առաջանալիս, և գերհաղորդիչի կրիտիկական ջերմաստիճանի  $T_{\text{կր}}$  ամեն մի արժեքին հաճապատասխանում է մագնիսական դաշտի անցողիկ կրիտիկական ինդուկցիա՝  $B_{\text{կր}}$ ,

1933թ. կատարվեց երկրորդ հիմնավոր հայտնագործությունը գերհաղորդականության բնագավառում. պարզվեց, որ գերհաղորդիչները գերհաղորդականության վիճակի անցնելիս դառնում են «դիդամական դիամագնիսներ», այսինքն՝ նրանց մագնիսական  $\mu$  թափանցելիությունը թիջքածու ընկնում է  $\mu \approx 1$ -ից մինչև  $\mu = 0$ : Այդ պատճառով արտաքին մագնիսական դաշտը չի թափանցում գերհաղորդիչ մարմնի մեջ (Նկ.9.4), եթե մարմնի գերհաղորդականության վիճակի անցումը տեղի է ունենում մագնիսական դաշտում, ապա դաշտը «վանվում» է գերհաղորդիչի կողմից:



**Նկ. 9.4. Սագմիսական դաշտը՝ նրանում գերհաղորդիչ մարմին մտցնելու դեպքում**

Այդ էֆեկտը ցուցադրվել է Վ.Կ.Արկադի կողմից իր նշանավոր «կախված մագմիս» փորձում: Եթե 1 մագմիսը (նկ.9.5) իջեցնում են գերհաղորդիչ վիճակով 2 ափսեի մեջ, այդ մագմիսը վանվում է ափսեի կողմից և հավասարակշռված վիճակում մնում է օդում՝ չհավելվով ափսեին: Կամ հակառակը՝ գերհաղորդիչ մարմինը գերհաղորդման վիճակում կկախվի մագմիսի մակերևույթի վերևում: Մաքուր մետաղները ներկայացնող գերհաղորդիչները կոչվում են փափուկ, իսկ համաձուլվածքները կամ քիմիական միացություններից գերհաղորդիչներինը՝ կարծր գերհաղորդիչներ:



**Նկ.9.5. Վ.Կ.Արկադի փորձը «կախված» մագմիսով**

Գերհաղորդականությունից բացի, լայն կիրառում է գտել կրիոհաղորդականության երևույթը, այսինքն՝ որոշակի մետաղների նույն կրիոգենային ջերմաստիճաններում (բայց ՏԿ-ից բարձր ջերմաստիճաններում, եթե տվյալ մետաղը պատկանում է գերհաղորդիչներին) այնպիսի շատ փոքր ք-ի ստացում, որը հարյուր և հազար անգամ փոքր է, քան ք-ն նորմալ ջերմաստիճանում։ Այն նյութերը, որոնք օժտված են կրիոհաղորդականության օգտագործման համար բացառիկ բարենպաստ բնութագրերով, կոչվում են կրիոհաղորդիչներ (հիպերհաղորդիչներ)։ Կրիոհաղորդիչների կիրառումը էլեկտրական մեքենաներում, ապարատներում, կաբելներում և այլն, ունի զգալի առավելություններ, քանի որ գերհաղորդականության սարքավորումներում որպես հովացնող նյութ օգտագործում են հեղուկ հելիում, իսկ կրիոհաղորդիչների աշխատանքային ջերմաստիճանը ստացվում է ավելի բարձրաեռ և էժան սառցագենտների՝ հեղուկ ջրածնի կամ նույնիսկ հեղուկ ազոտի միջոցով։ Դա զգալիորեն պարզեցնում և էժանացնում է սարքավորման իրագործումն ու շահագործումը։

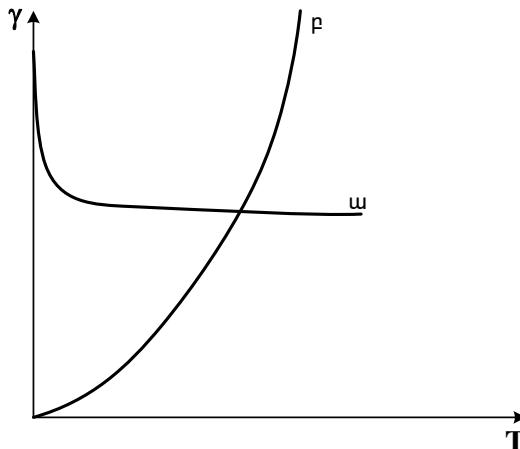
## ԶՈՐՈՐՈԴ ՄԱՍ

### ԿԻՍԱՀԱՊՈՐԻՉ ՆՅՈՒԹԵՐ

#### 10.1. Ընդհանուր տեղեկություններ կիսահաղորդիչ նյութերի վերաբերյալ

Կիսահաղորդիչները, ըստ տեսակարար դիմադրության, որը սենյակի ջերմաստիճանում կազմում է  $10^{-6}...10^{-9}$  Ohm·մ, մետաղների և դիէլեկտրիկների միջև գրադեցնում են միջանկյալ դիրք: Ի տարբերություն մետաղների, կիսահաղորդիչները ջերմաստիճանային մեծ միջակայքում ունեն տեսակարար դիմադրության բացասական ջերմաստիճանային գործակից՝ TK<sub>r</sub>, այսինքն՝ տեսակարար հաղորդականության դրական ջերմաստիճանային գործակից՝ TK<sub>y</sub> (նկ. 10.1):

Կիսահաղորդիչային նյութերի առանձնահատուկ հատկությունները, դրանց տեխնիկական լայն կիրառությունները նպաստեցին ամենատարբեր սարքեր՝ կիսահաղորդչային դիոդներ, տրանզիստորներ, ֆուտոտրանզիստորներ, լուսադիոդներ, կիսահաղորդչային լազերներ, ինչպես նաև ճնշման, մագնիսական դաշտերի, ջերմաստիճանի, ճառագայթման հայտնիչներ և այլ սարքեր պատրաստելուն: Կիսահաղորդիչների օգտագործումը արմատական վերափոխություններ առաջացրեց ռադիոտեխնիկայում, կիբեռնետիկայում, ավտոմատիկայում, հեռուստատեխնիկայում: Կիսահաղորդիչային էլեկտրոնիկան էլեկտրոնային միկրոմանրաչափ էլեկտրոնային սարքավորումներ պատրաստելու նոր ուղիներ բացեց:



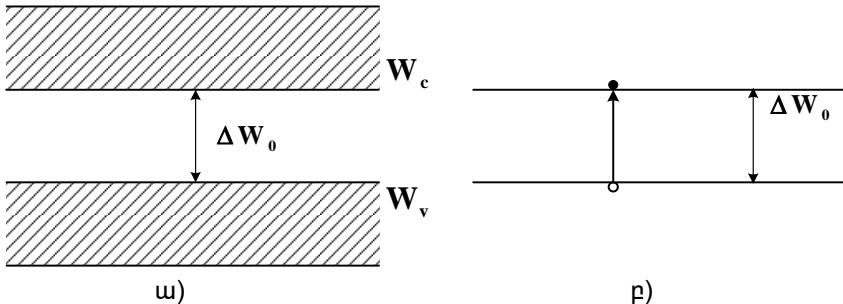
Նկ. 10.1. Մետաղների ( $\omega$ ) և կիսահաղորդիչների ( $\rho$ ) տեսակարար հաղորդականության կախումը ջերմաստիճանից

Էլեկտրոնները մեկուսացված ատոմում ձգտում են զբաղեցնել նվազագույն էներգիայով մակարդակներ, վերին էներգետիկ մակարդակները մնում են ազատ: Դետևաբար պինդ մարմնի ոչ բոլոր էներգետիկ գոտիներն են զբաղեցված էլեկտրոններով: Դանալրված գոտիներից ամենավերինը անվանում են վալենտական գոտի, իսկ ազատ գոտիներից ամենացածրը՝ հաղորդականության գոտի:

Քանի որ էլեկտրոնի շարժումը արտաքին էլեկտրական դաշտում կապված է նրա արագության և էներգիայի փոփոխման հետ, ապա էներգետիկ սխեմայում այդպիսի շարժումը համապատասխանում է էլեկտրոնի տեղափոխությանը թույլատրված գոտու մոտակա մակարդակներով: Դա նշանակում է, որ էլեկտրահաղորդականությանը կարող են մասնակցել միայն այն էլեկտրոնները, որոնք դասավորված են էլեկտրոններով ոչ լրիվ համալրված գոտիներում:

Կիսահաղորդիչների և դիէլեկտրիկների վալենտական հաղորդականության գոտիների միջև գոյություն ունի արգելված գոտի: Բացարձակ զրո ջերմաստիճանում և արտաքին ազդեցությունների

բացակայության դեպքում դրանց վալենտական գոտին լրիվ համարված է, իսկ հաղորդականության գոտին ազատ է էլեկտրոններից: Այս տեսանկյունից դիելեկտրիկների և կիսահաղորդիչների միջև տարբերությունը գույտ քանակական է: Պայմանականորեն կիսահաղորդիչների շարքը դասում են  $\Delta W_i = 0.05\text{f}^3$  ԵՎ արգելված գոտու շերտով նյութերը, իսկ դիելեկտրիկներին՝  $\Delta W_i > 3$  ԵՎ նյութերը:



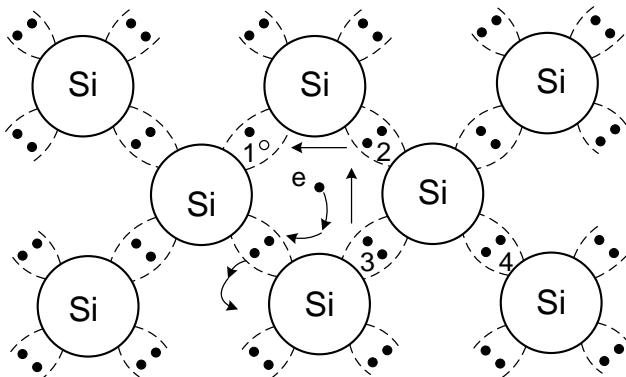
Նկ. 10.2. Սեփական կիսահաղորդչի գոտույին դիագրամը

Սեփական կոչվում են այն կիսահաղորդիչները, որոնք չեն պարունակում դոնորային և ակցեպտորային խառնուրդներ: Այդպիսի կիսահաղորդիչների գոտիների դիագրամը ցույց է տրված նկ. 10.2-ա -ում, որտեղ  $W_c$  –ն հաղորդականության գոտու էներգիայի ստորին մակարդակն է, որը կոչվում է հաղորդականության գոտու հատակ,  $W_v$  –ն վալենտական գոտու էներգիայի վերին մակարդակն է, որը կոչվում է վալենտական գոտու առաստաղ,  $\Delta W_0$ -ն արգելված գոտու լայնությունն է:

Գործնականում հաճախ օգտվում են նկ. 10.2 բ-ում պատկերված էներգետիկ սխեմայից, որտեղ ցույց են տրված միայն վալենտական գոտու առաստաղն ու հաղորդականության գոտու հատակը: Սլաքով ցույց է տրված էլեկտրոնի անցումը վալենտական գոտուց հաղորդականության գոտի, որը կարելի է իրականացնել բյուրեղացանցի ջերմային տատանման էներգիայի միջոցով կամ կիսահաղորդչի վրա ազդող արտաքին էներգիայով: Էլեկտրոնի

անցումը հաղորդականության գոտի կիսահաղորդչի վալենտական գոտում ստեղծում է էներգետիկ ազատ վիճակ, որը կոչվում է խոռոչ, իսկ ինքը՝ վալենտական գոտին դաշնուն է ոչ լրիվ համալրված:

Որպես սեփական կիսահաղորդչի օրինակ դիտենք սիլիցիումի միաբյուրեղը: Սիլիցիումի բյուրեղացանցի հարթ մոդելը պատկերված է նկ. 10.3-ում, որտեղ ցույց է տրված կովալենտ կապի պատկերման սիմվոլը, որում մասնակցում են երկու էլեկտրոններ: Կովալենտ կապի խզման դեպքում սիլիցիումի ատոմների միջև առաջանում է ազատ էլեկտրոն և անավարտ կապ, որին գոտային դիագրամի վրա համապատասխանում է հնարավոր, բայց էլեկտրոնի կողմից վալենտական գոտում զբաղեցված վիճակ՝ խոռոչ:



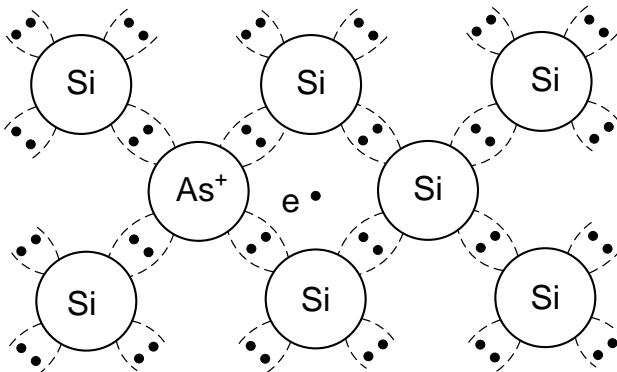
Նկ. 10.3. Սեփական կիսահաղորդչի (սիլիցիումի) բյուրեղացանցի հարթ մոդելը

Արտաքին էլեկտրական դաշտի բացակայության դեպքում խոռոչը, ինչպես և էլեկտրոնը, բյուրեղի մեջ կկատարի քառսային շարժում: Դա տեղի ունի այն պատճառով, որ հարևան կովալենտ կապի էլեկտրոնը բյուրեղացանցի ջերմային էներգիայի տատանումների հաշվին կարող է լրացնել անավարտ կովալենտ կապը, որի հետևանքով խոռոչը 1 դիրքից կանցնի 2 դիրքը: Նույն ձևով այն կարող է անցնել 3,4 և այլ դիրքերը: Յետևաբար խոռոչի շարժումը իրականացվում է այն էլեկտրոնի տեղափոխության հաշվին,

որը կովալենտ կապին:

Այսպիսով, կովալենտ կապի խզումից առաջանում են լիցքակիրների ազատ գույք՝ հաղորդականության գոտում էլեկտրոն, իսկ վալենտական գոտում՝ խոռոչ, որոնք ստեղծում են կիսահաղորդիչների սեփական էլեկտրահաղորդականությունը: Խառնուրդային կոչվում են այն կիսահաղորդիչները, որոնք պարունակում են դոնորային և (կամ) ակցեպտորային խառնուրդներ:

Եթե սիլիցիումի կամ գերմանիումի մեջ խառնուրդ մտցվի Մենդելևի աղյուսակի V խճի տարր, օրինակ, արսեն, ապա խառնուրդի ատոմը հիմնական նյութի ատոմի հետ կովալենտ կապերը ավարտելու համար անհրաժեշտ են չորս վալենտական էլեկտրոններ (Նկ.10.4): Խառնուրդի ատոմի հինգերորդ վալենտական էլեկտրոնը կովալենտ կապին չի մասնակցում: Այս ձով առաջացած խառնուրդի դրական իոնները էլեկտրահաղորդականությանը մասնակցել չեն կարող, քանի որ դրանք տեղայնացված են: Գտնվելով կիսահաղորդչի բյուրեղացանցի հանգույցում, դրանք հանդիսանում են նրա կառուցվածքային տարրը:



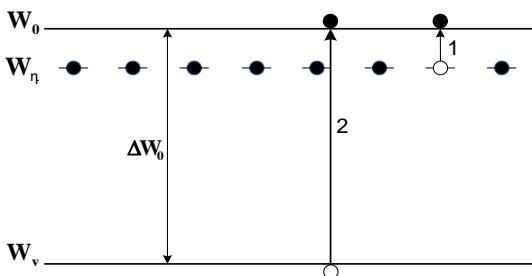
Նկ. 10.4. *n*-տիպի կիսահաղորդչի բյուրեղացանցի հարթ մոդելը  
(սիլիցիում՝ լեգիրացված արսենով)

Այն խառնուրդը, որն ունի ավելի վալենտական էլեկտրոններ, քան անհրաժեշտ է հիմնական նյութի մոտակա կապերը ավարտելու, և արդյունքում ընդունակ լինելու էլեկտրոններ տալու

համար, անվանում են դոնորական, իսկ այդպիսի խառնուրդով կիսահաղորդչին՝ էլեկտրոնային էլեկտրահաղորդականությամբ կիսահաղորդիչ:

Որպեսզի հինգերորդ վալենտական էլեկտրոնը դառնա ազատ (էներգետիկ սխեմայում անցնի հաղորդականության գոտի), անհրաժեշտ է ծախսել զգալիորեն ավելի փոքր էներգիա, քան կովալենտ կապը խցելու համար: Այս առումով գոտային դիագրամի վրա հինգերորդ վալենտական էլեկտրոնի էներգետիկ մակարդակը պետք է դասավորված է լինի արգելված գոտում՝ հաղորդականության գոտու հատակին մոտ (նկ.10.5):

Բացարձակ զրո ջերմաստիճանում և կիսահաղորդչի վրա արտաքին ազդեցության բացակայության դեպքում նրա վալենտական գոտին լրիվ հանալոված է, հաղորդականության գոտին դատարկ է, դոնորային խառնուրդի տեղայնացված էներգետիկ մակարդակները  $W_n$  զբաղեցված են էլեկտրոններով: Ջերմաստիճանի աճի հետ սկզբուն էլեկտրոնների մասը, իսկ այնուհետև տեղայնացված  $W_n$  մակարդակներից բոլոր էլեկտրոնները կանցնեն հաղորդականության գոտի (1 անցումները, նկ.10.5): Դրան զուգընթաց կատարվեն և 2 անցումները, պայմանավորված լինելով կովալենտ կապերի խզումով, որի հետևանքով կազմվում է ազատ լիցքակիրների զույգ՝ էլեկտրոն և խոռոչ:

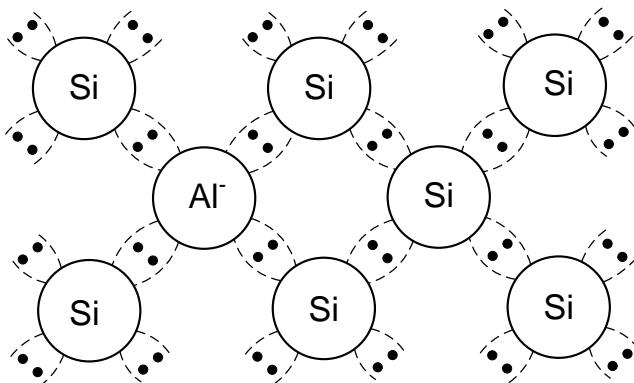


Նկ. 10.5.  $n$ -տիպի կիսահաղորդչի գոտային դիագրամը

Այն խառնուրդը, որն ունի ավելի պակաս վալենտական էլեկտրոններ, քան անհրաժեշտ է հիմնական նյութի մոտակա ատոմնե-

ոի միջև կապելու ավարտելու համար, և դրա հետևանքով ընդունակ լինելու էլեկտրոններ զավթել, անվանում են ակցեպտորային, իսկ այդպիսի խառնուրդով կիսահաղորդիչը՝ խոռոչային էլեկտրահաղորդականությանը (կամ  $p$ -տիպի) կիսահաղորդիչ:

Անվարտ կապը, բյուրեղացանցի ջերմային տատանումների հետևանքով, կարող է համարվել հարևան կապի էլեկտրոններով, որը իր հերթին կդառնա անվարտ (նկ.10.6) :

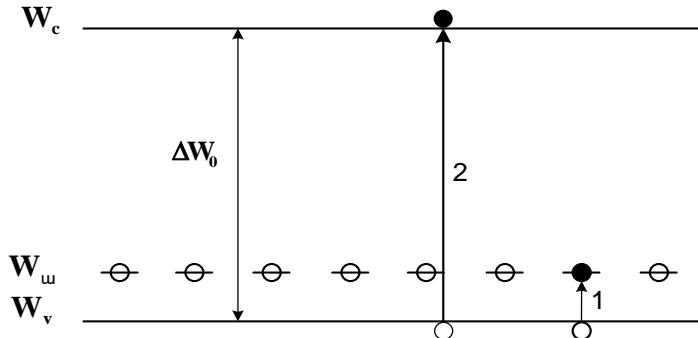


Նկ. 10.6.  $p$ -տիպի կիսահաղորդչի բյուրեղացանցի հարթ մոդել  
(սիլիցիում, լեգիրացված այլումինով)

Անվարտ կապ՝ խոռոչը բյուրեղացանցի ջերմային տատանումների հետևանքով կկատարի քառային շարժում բյուրեղի սահմաններում: Ակցեպտորային խառնուրդի այն ատոմը, որն ընդունել է չորրորդ էլեկտրոնը կովալենտ կապը ավարտելու համար, դառնում է բացասական իոն: Այդպիսի իոնը անվանում են ակցեպտորային խառնուրդի իոնացված ատոմ: Այն չի կարող մասնակցել էլեկտրահաղորդականությանը, քանի որ բյուրեղի կառուցվածքային տարր է: Բացարձակ զրո ջերմաստիճանում և կիսահաղորդչի վրա արտաքին ազդեցության բացակայության դեպքում ակցեպտորային մակարդակները ազատ են էլեկտրոններից: Ջերմաստիճանի աճին զուգընթաց վալենտական գոտու էլեկտրոնները կիամարվեն այս մեկուսացված մակարդակները վալենտական գոտում առաջացնելով խոռոչների քանակի պակաս (նկ.10.7, 1

անցումները): Միաժամանակ հնարավոր են և 2 անցումները, որոնց դեպքում կազմվում է ազատ կրիչների զույգ՝ էլեկտրոն-խոռոչ:

ρ-տիպի կիսահաղորդիչներում հիմնական լիցքակիրներն են խոռոչները, ոչ հիմնական՝ էլեկտրոնները:



Նկ. 10.7.  $\rho$ -տիպի կիսահաղորդչի գոտային դիագրամը

## ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Б.М.Тареев, Н.В. Короткова, В.М.Петров, А.А.Преображенский. Электрорадиоматериалы: Учебное пособие.-М.: Высш. Школа, 1978.-336с.
2. Богоодицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы: Учебник для вузов.-Л.: Энергоатомиздат, 1985.-304с.
3. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники: Учебник для вузов.-М.: Высш. школа, 1986.-367с.
4. Ելեկտրառադինյուրեր. Ուս. ձեռնարկ. Թարգմանիչ Ժ.Գ.Վրահամյան.-Եր.Լույս, 1982.-443էջ:
5. Базумкин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений. Учебник для вузов.-М.: Энергоатомиздат, 1986.-464с.
6. Преображенский А.А. Магнитные материалы и элементы.-М.: Высшая школа, 1976.-336с.
7. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов.-М.: Энергоиздат, 1982.-320с.
8. Еильман Л.С. Проводниковые материалы в электротехнике.-М.: Энергия, 1974.-302с.
9. Маюофис И.М. Химия диэлектриков. Учебное пособие для вузов.-М.: Высшая школа, 1970.-332с.
10. Киреев П.С. Физика полупроводников.-М.: Высшая школа, 1975.-305с.



ԵՂՈՒԱՐԴ ԽԱՉԱՏՈՒՐԻ ՄԱՐՏԻԿՅԱՆ  
ԵՂՈՒԱՐԴ ՎԱՂԱՐԾԱԿԻ ԿՈՒՐԴԻՆՅԱՆ  
ՄԱՐԻԱՄ ՍԱՀԱԿԻ ԹՈՎՄԱՅԱՆ

## ՆՅՈՒԹԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

ՈՒՍՈՒՄՆԱԿԱՆ ԶԵՐՈՆԱՐԿ

ЭДУАРД ХАЧАТУРОВИЧ МАРТИКЯН  
ЭДУАРД ВАГАРШАКОВИЧ КУРГИНЯН  
МАРИАМ СААКОВНА ТОВМАСЯН

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Խմբագիր՝ Ն. Ա. Խաչատրյան

Ստորագրված է տպագրության՝ 18.11.2011  
Թուղթ՝ «օֆսեթ»: Տպագրություն՝ ռիզո, Ֆորմատ՝ (60×84) 1/16:  
Շարվածքը՝ համակարգչային:  
Տառատեսակը՝ Arial Armenian: 9.75 տպ. մամ.:  
Պատվեր՝ 809 Տպաքանակ՝ 100

Հայաստանի Պետական  
Ճարտարագիտական  
Համալսարանի տպարան  
Երևան, Տերյան 105 Հեռ.՝ 52-03-56

Типография Государственного  
Инженерного Университета Армении  
Ереван, ул. Теряна 105      Тел.: 52-03-56