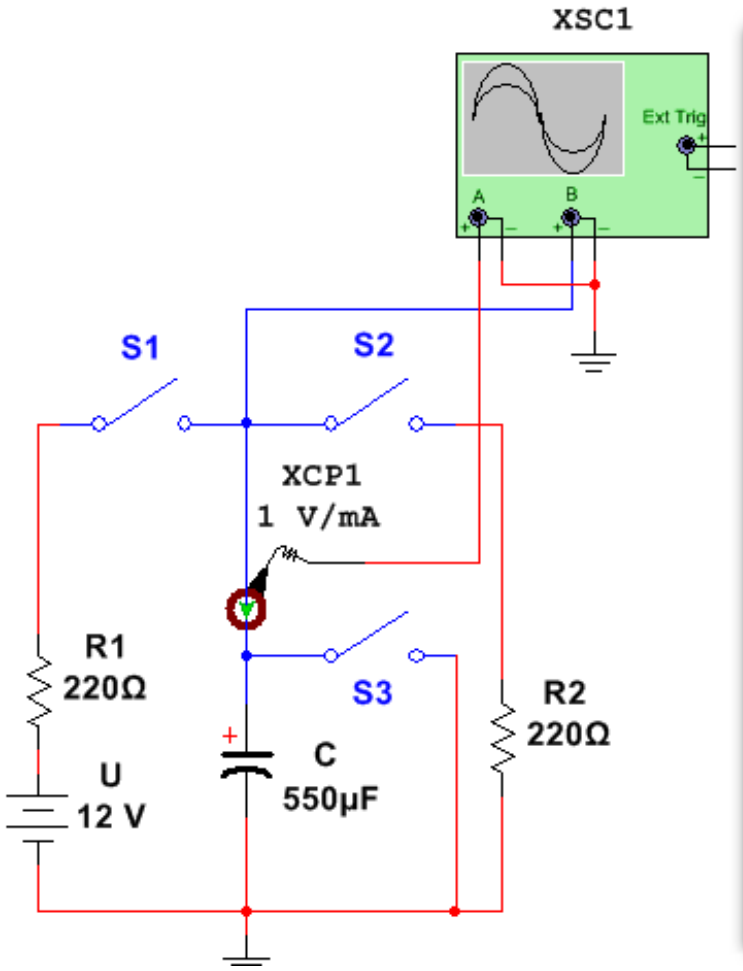
ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
Физика-техникалық факультеті

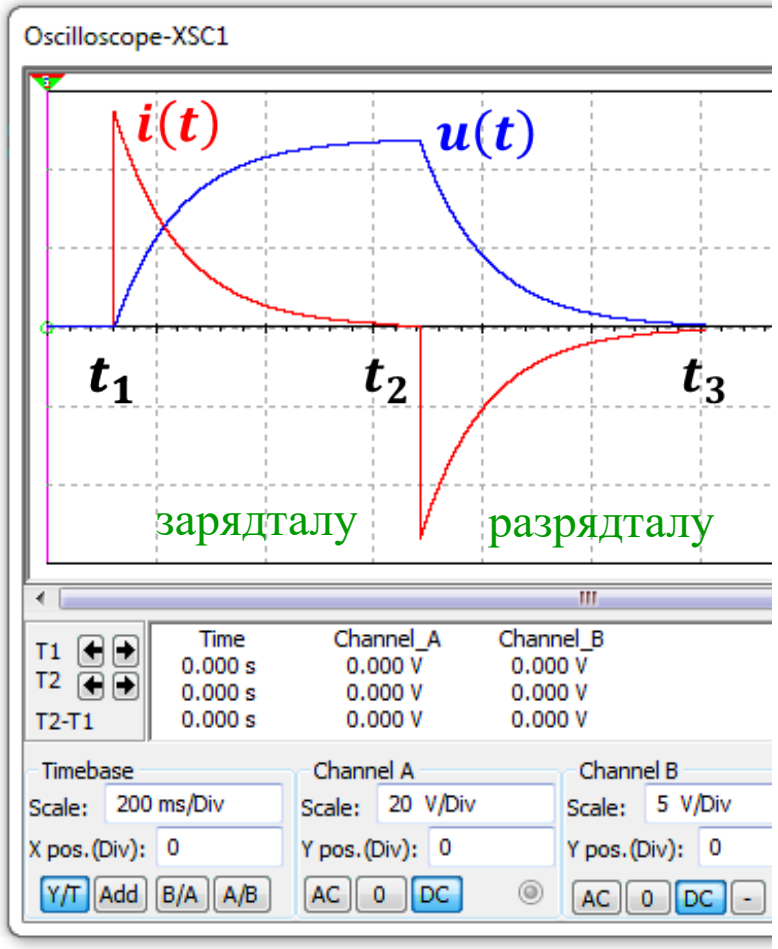
ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

Профессор Досболаев М.Қ.
merlan@physics.kz

Электр тізбегіндегі өтпелі процестер
Конденсатордың зарядталуы және разрядталуы. RC тізбек



1-сурет



2-сурет

Квазистационар ток шарты

$$t \ll T$$

Тізбек бойымен сигналдың таралу уақыты: $t = \frac{L}{c}$

$L = 3$ м $\rightarrow t = 10^{-8}$ с

$T = 10^{-6}$ немесе $f = 10^{6}$ Гц

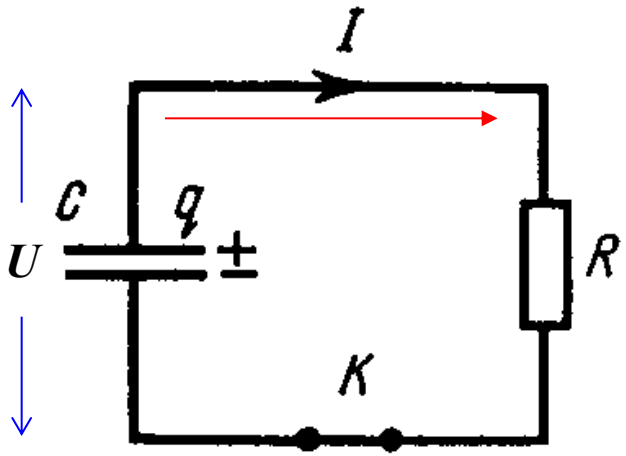
L – тізбек ұзындығы
c –жарық жылдамдығы
T – сигнал периоды.

Конденсатордың разрядталуы

(1) $I = -\dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} \rightarrow RI = U$ (2) $\leftarrow U = \dfrac{q}{C}$

Конденсатордағы зарядтың азаюы

$$\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} + \frac{q}{RC} = 0 \quad (3)$$



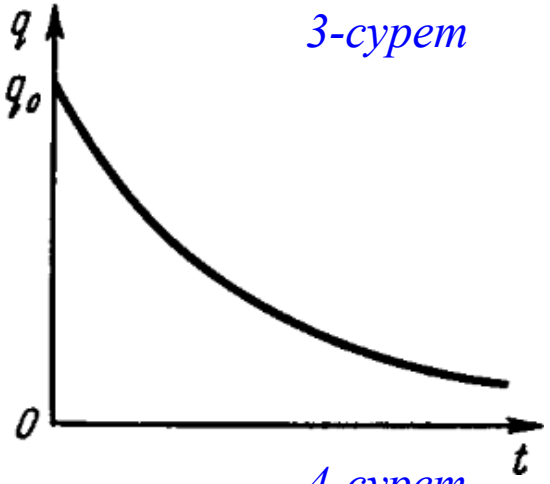
3-сурет

Айнымалыларды бөліп интегралдаймыз

$$q = q_0 \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4)$$

$\tau = RC$
релаксация уақыты

$$\tau \left[\text{Ом} \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = \text{Ом} \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{В}} = \text{с} \right]$$



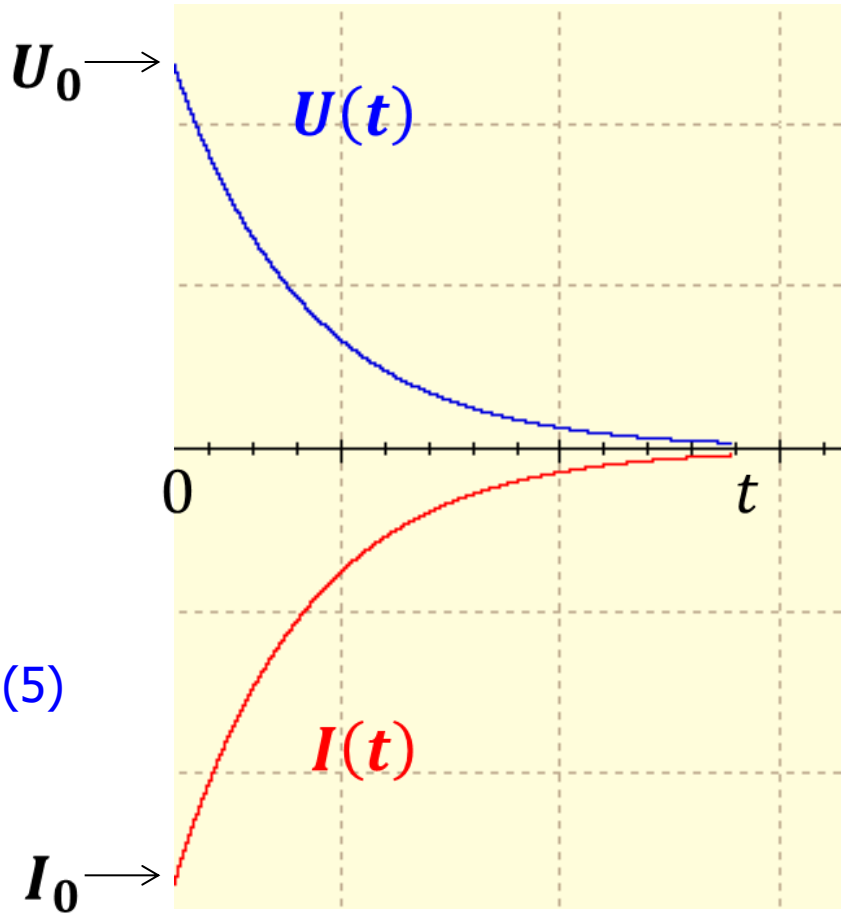
4-сурет

q_0 – конденсатордың бастапқы заряды

$$q = q_0 \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4)$$

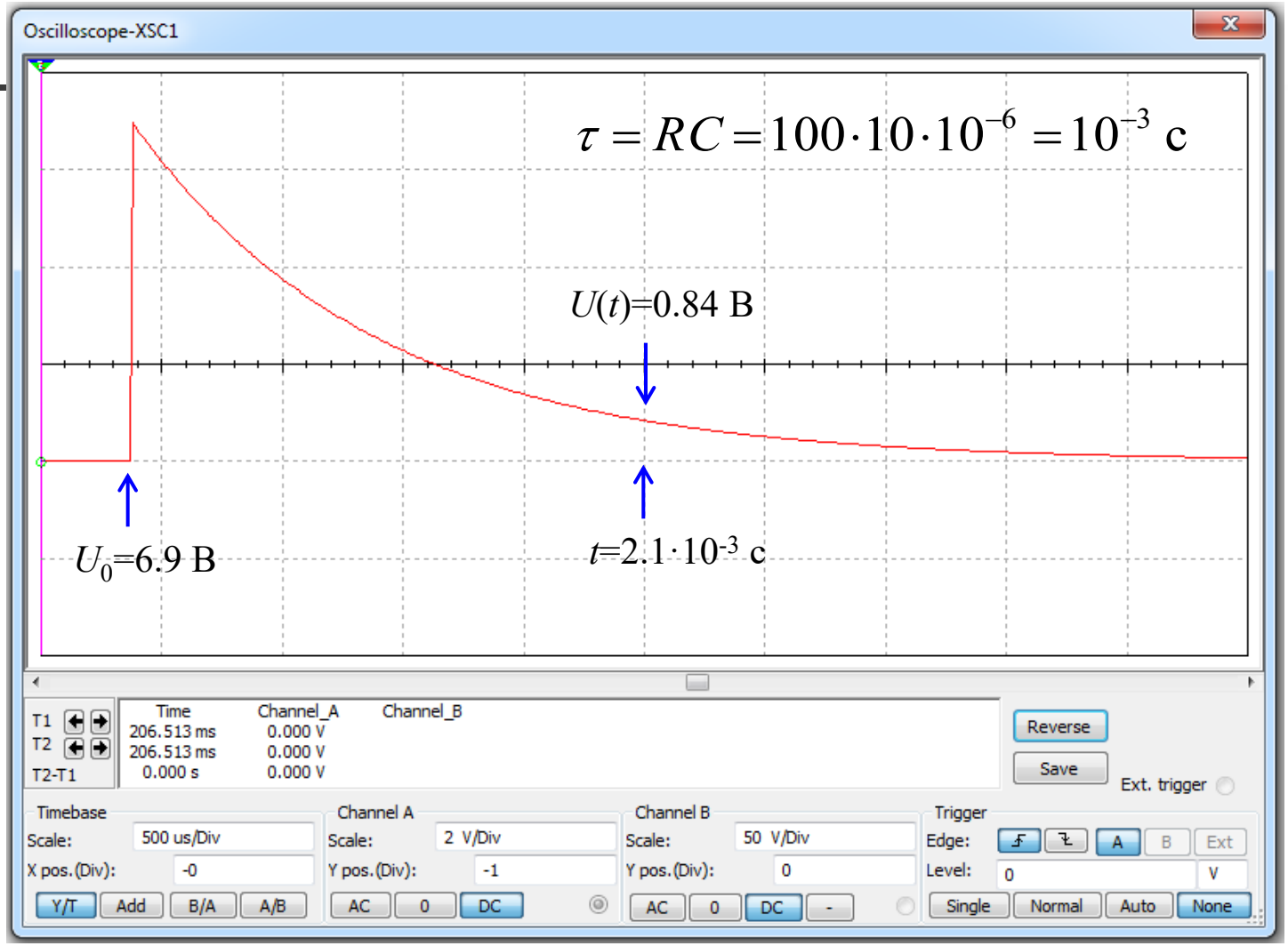
Дифференциалдау арқылы ток өзгерісін табамыз

$$U(t) = U_0 \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}$$



$$I(t) = -\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = I_0 \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5)$$

$$U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} = 6.9 \cdot \exp\left(-\frac{2.1 \cdot 10^{-3}}{10^{-3}}\right) = 0.84\ \text{В}$$



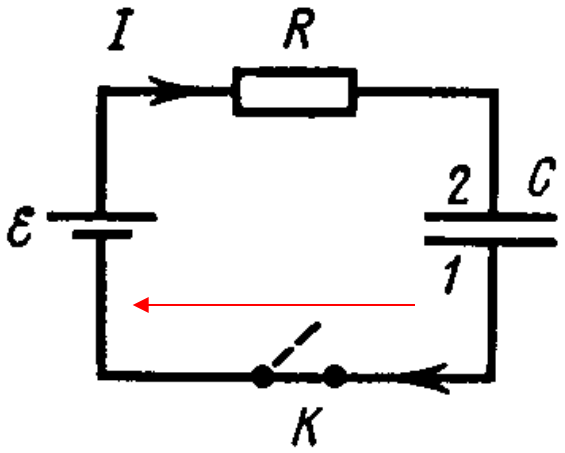
Конденсатордың зрядталуы

$1\varepsilon R2$

$$I = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} \quad (6) \longrightarrow RI = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon \quad (7)$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = U = \frac{q}{C}$$

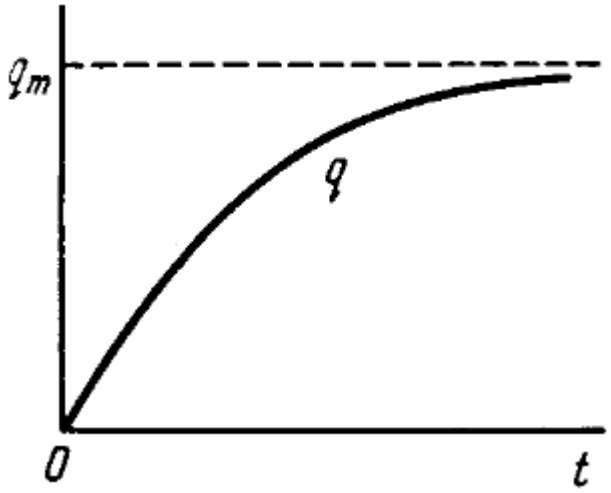
$$\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = \frac{\varepsilon - \frac{q}{C}}{R} \quad (8)$$



6-сурет

Конденсатордың зрядталуы

$$\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = \frac{\varepsilon - \frac{q}{C}}{R} \quad (8)$$



7-сурет

Айнымалыларды бөліп, t=0 кезінде q=0 деп интегралдаймыз

$$\frac{R\mathrm{d}q}{\varepsilon - q/C} = \mathrm{d}t \quad (9) \longrightarrow RC\ln\left(1 - \frac{q}{\varepsilon C}\right) = -t \quad (10)$$

$$q = q_m\left(1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (11)$$

$$t \to \infty \longrightarrow q_m = \varepsilon \cdot C$$

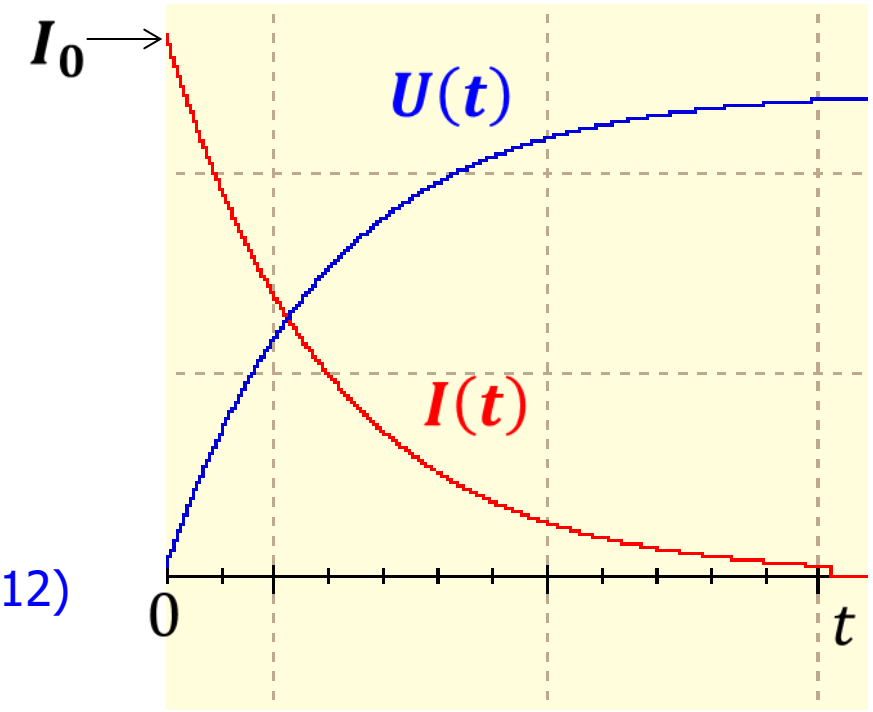
Конденсатор зарядының шектік мәні

$$q = q_m\left(1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (11)$$

Конденсатордың зрядталуы

$$U(t) = \varepsilon\left(1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

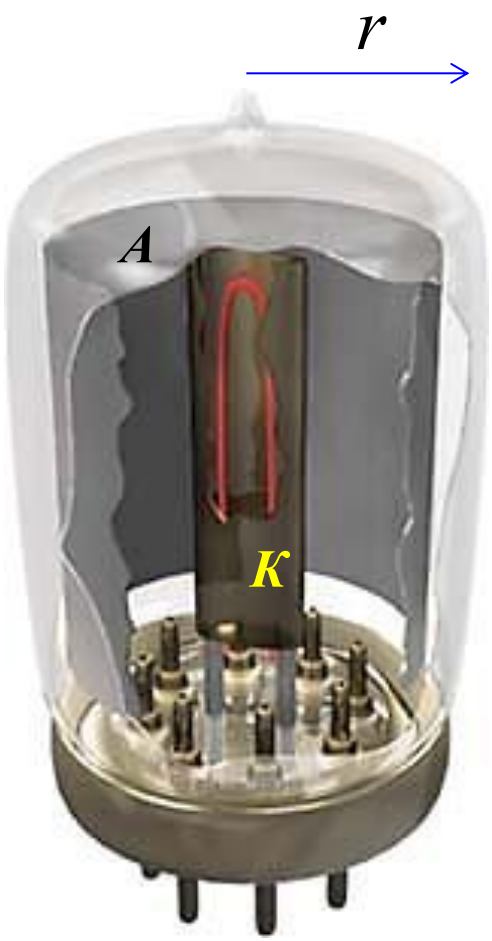
$$I(t) = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = I_0 \cdot \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} \quad (12)$$



8-сурет

$$I_0 = \mathcal{E}/R$$

Вакуумдағы электр тогы. Вакуум. Вакуумдық диод ($p \approx 10^{-6}$-10^{-7} мм.сын.бағ.)



9-сурет

Вакуум шарты

$$r < \lambda$$

λ - еркін жүру жолының ұзындығы

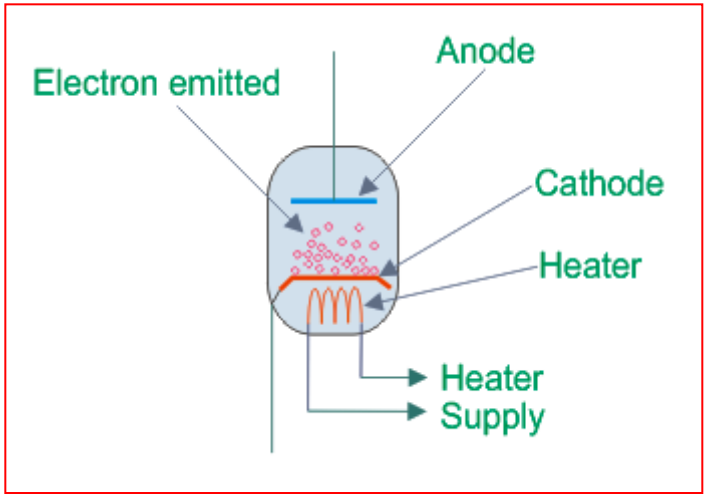
$$\lambda \approx \frac{1}{p}$$

p – газ қысымы

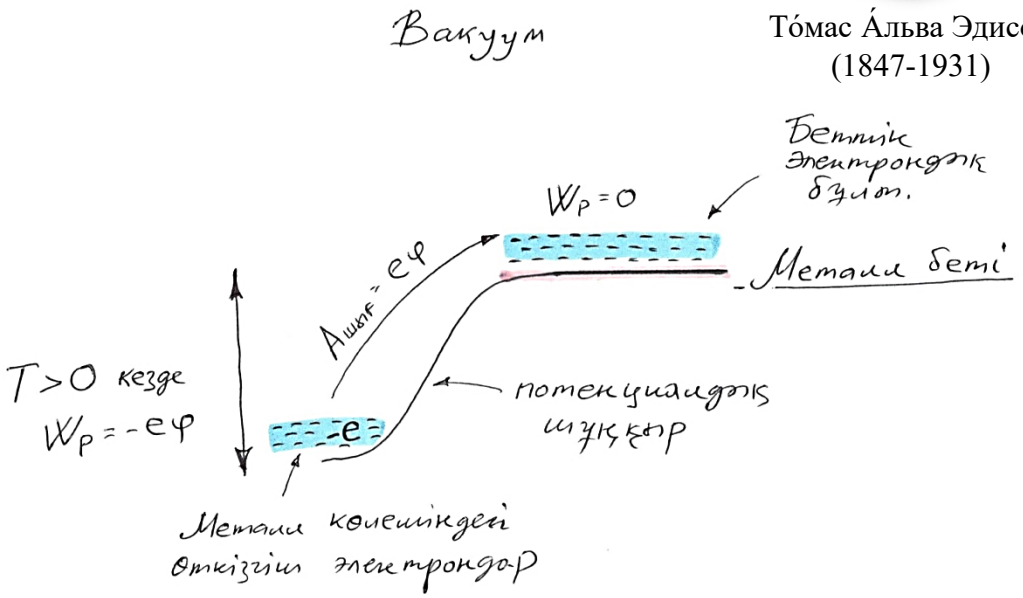
Термоэлектрондық эмиссия (1883)



Тóмас Áльва Эдисóн
(1847-1931)



10-сурет



10*-сурет

$$A_{\text{шығ}} = e\varphi` - E_F$$

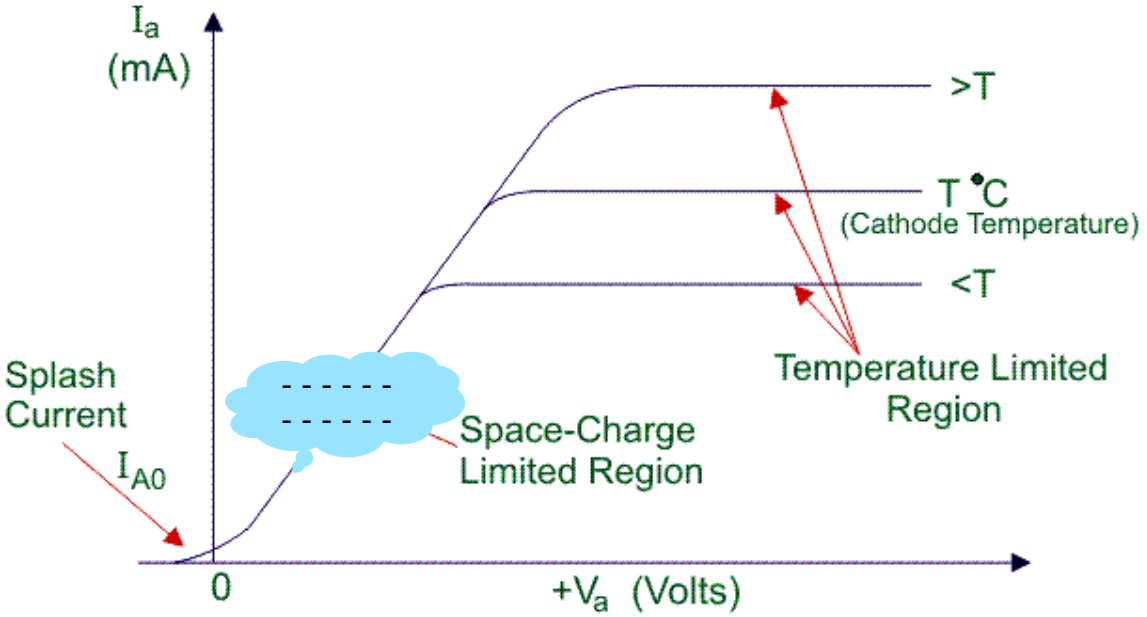
Вакуумды диодтың ВАС-ы



Ирвинг Ленгмюр
(1881-1957)



Сергей Анатольевич
Богуславский
(1883-1923)



I-V Characteristics of Vacuum Diode under forward bias

11-сурет

Екіден үш заңы немесе
Ленгмюр-Богуславский заңы

$$I_a = kU_a^{3/2} \quad (13)$$

k – анод өлшемі мен лампа конструкциясынан тәуелді коэффициент

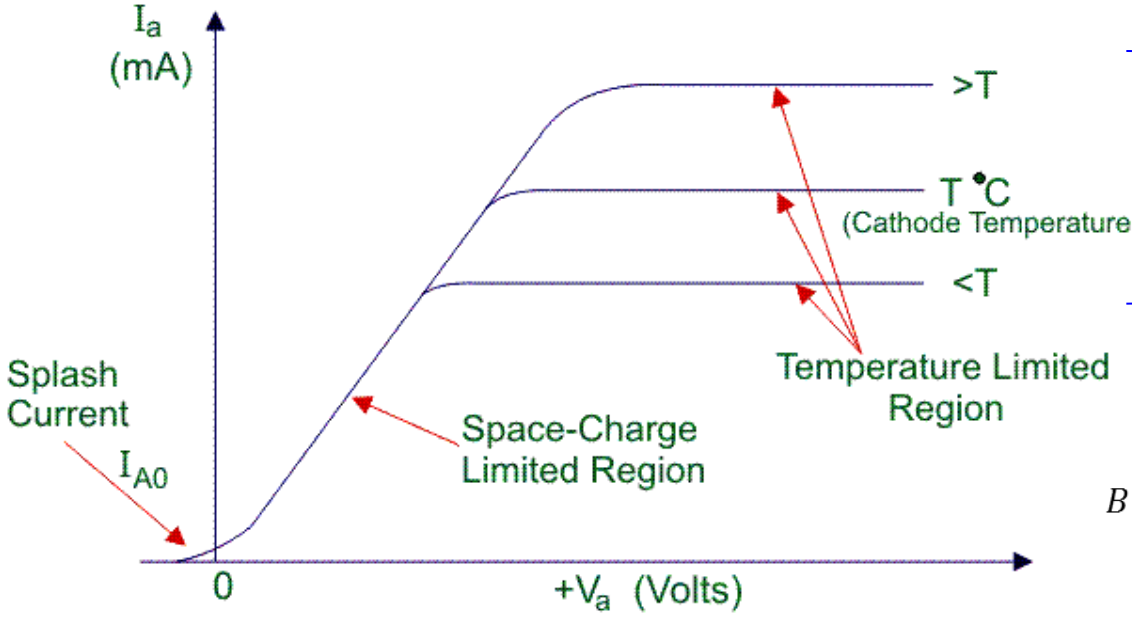
Вакуумды диодтың ВАС-ы



Оуэн Уилланс Ричардсон
(1879-1959)



Саул Дэшман
(1883-1954)



I-V Characteristics of Vacuum Diode under forward bias

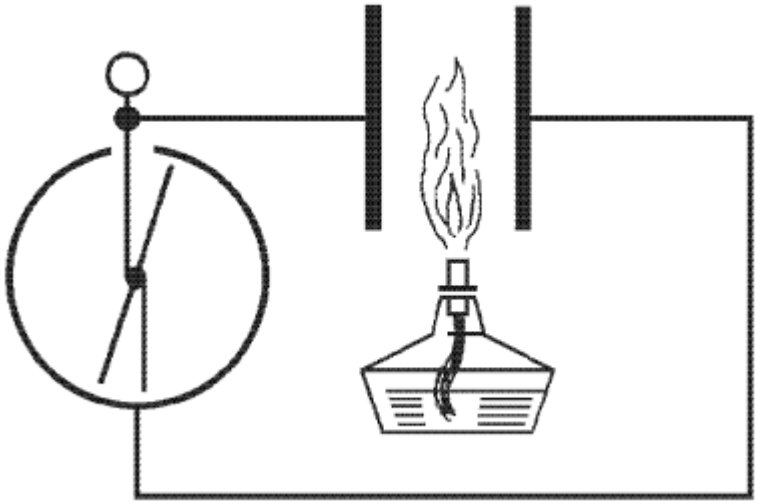
$$j_{\text{қан}} = BT^2 e^{-\frac{A_{\text{шығ}}}{kT}}$$

Ричардсон-Дэшман (1928)

$B = 6.02 \cdot 10^5$ А/м^{2}К – Ричардсон тұрақтысы

11-сурет

Газдардағы электр тогы



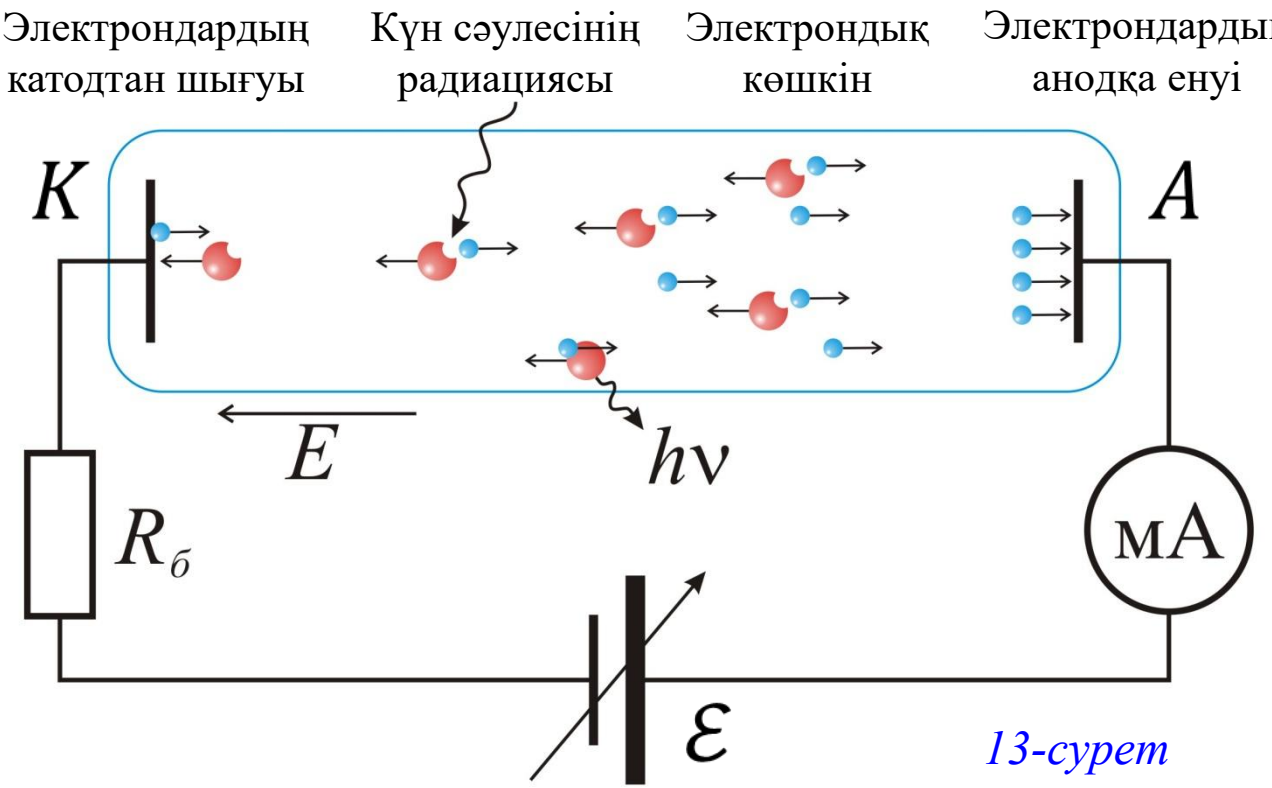
12-сурет

Газдық разряд

Электрондық (Таунсендтік) көшкіннің пайда болуы



Джон Си́ли Э́двард Та́унсенд (1868—1957)

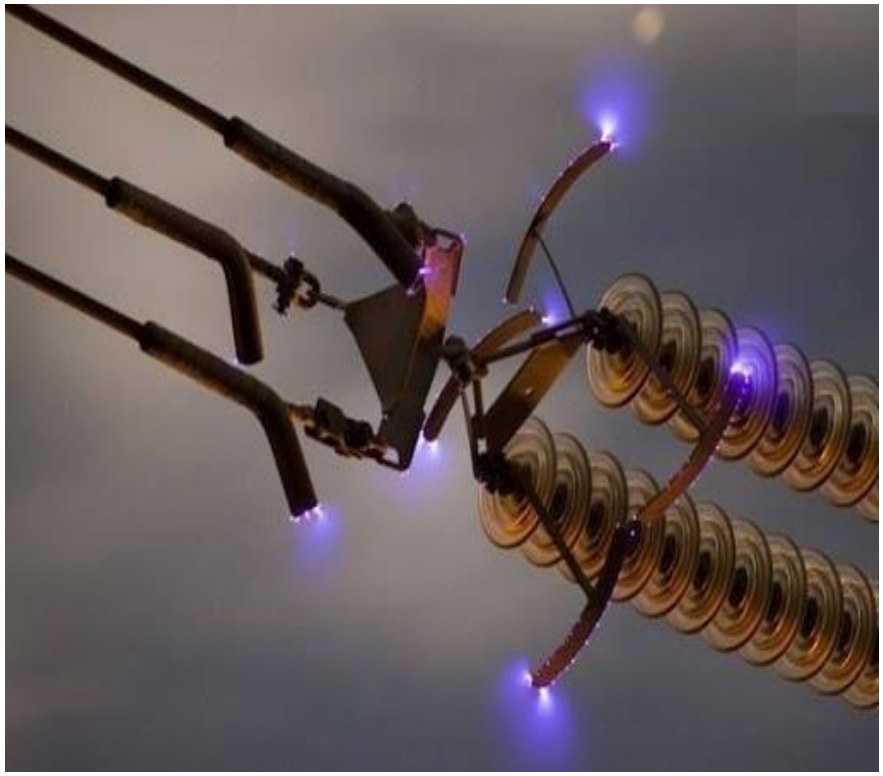


13-сурет

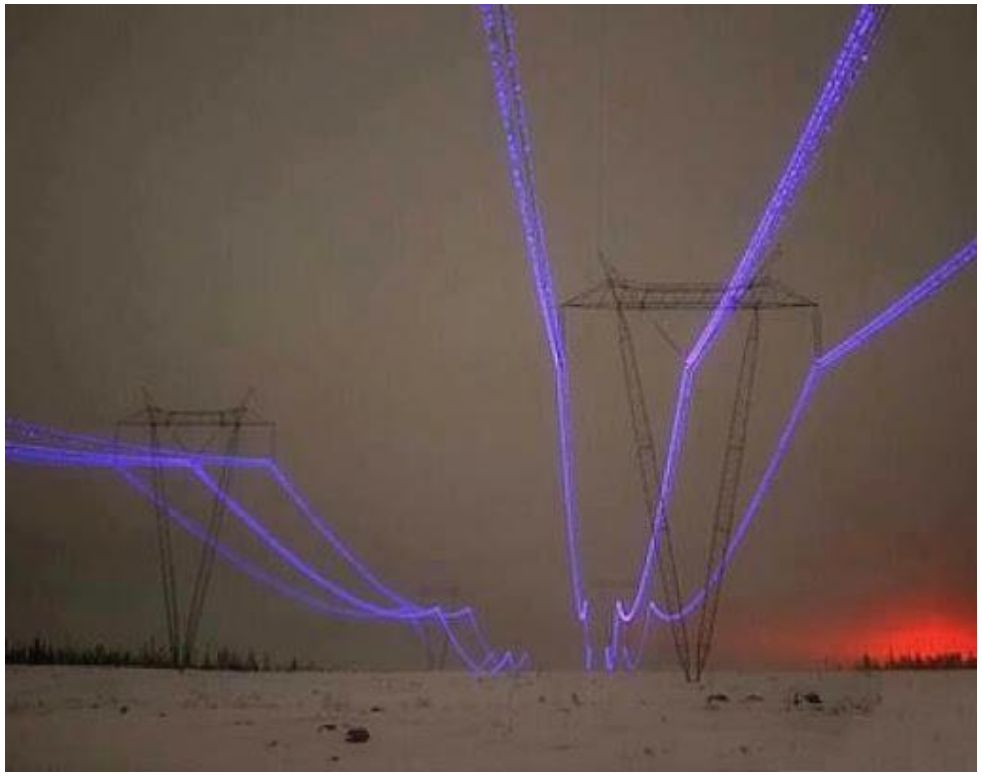
Кейбір газдардың иондалу энергиясы: He→24.6 эВ; Ne→21.6 эВ; Ar→15.8 эВ

Тәжді разряд

Номинал кернеу, кВ	Тәж кезіндегі қуаттың меншікті шығыны, кВт/км			
	жақсы	құрғақ қар	жаңбыр	аяз
1150	11,2	34,3	108,3	278
750	4,2	16,55	60	122,5
500	2,3	8,8	29	76



14-сурет



15-сурет

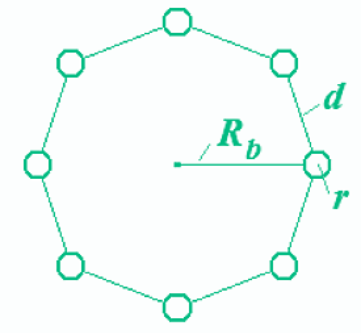
Жоғары кернеулі электр желілері

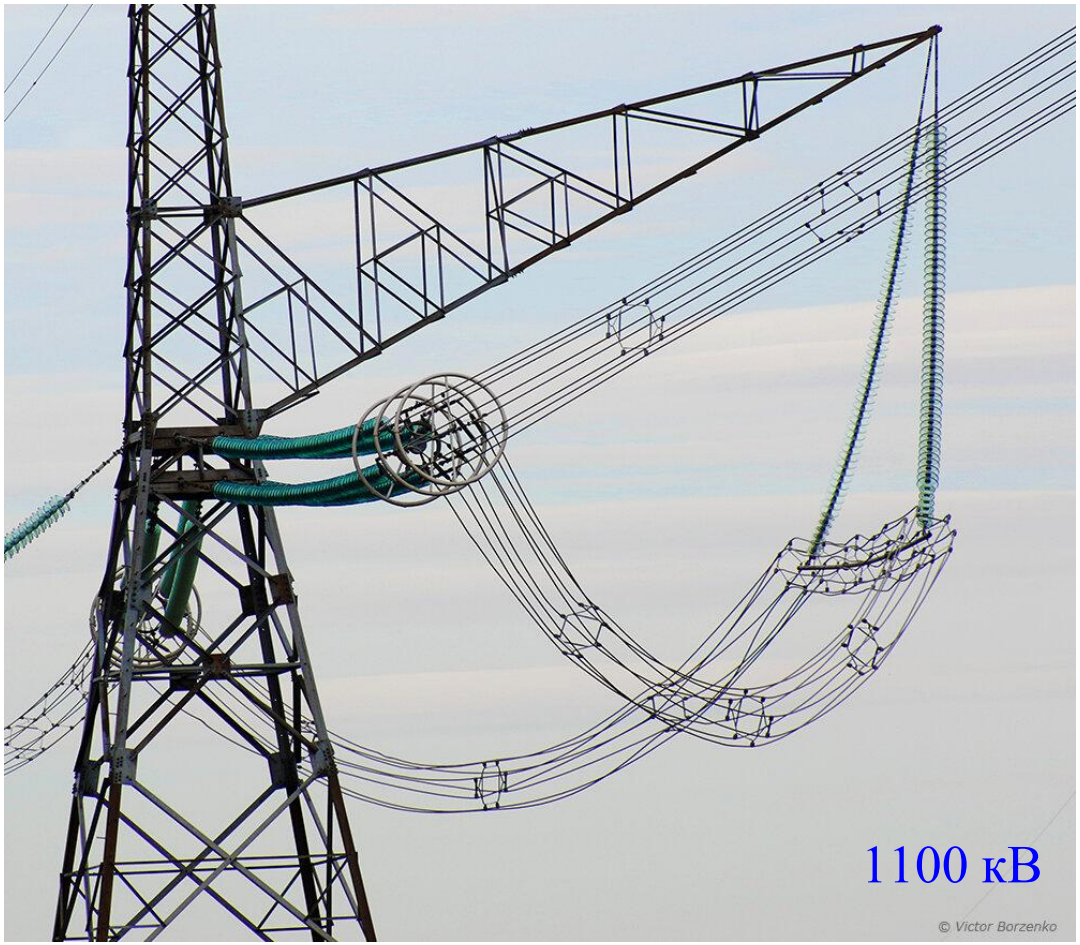
Электр желілерінің фазалық сымын бөлу (жіктеу)

$$E_{\text{ф}.max}(n,r) = \frac{U}{k_L L Z_w}$$

U – номинал кернеу

$L = 2\pi nr$ – фаза периметрі

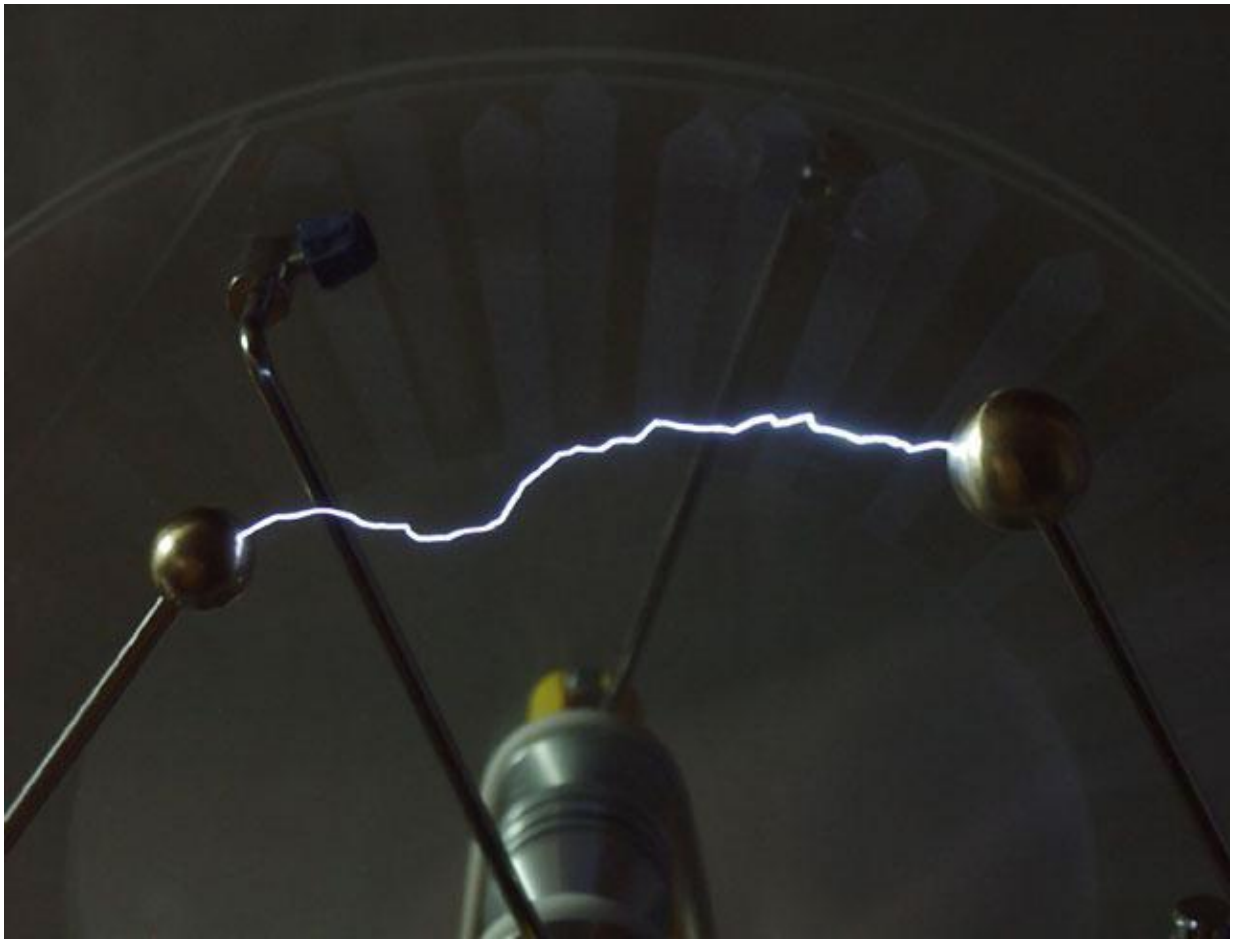




Солғын разряд



Ұшқын разряд



Ұшқын разряд



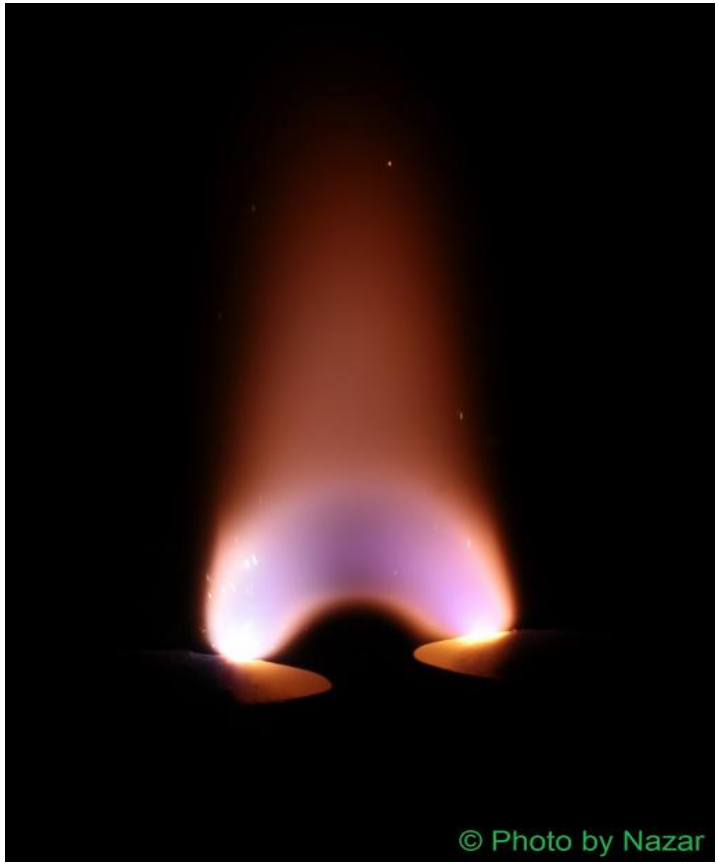
https://www.zr.ru/users/1247/

Ұшқын разряд. $I \approx 10 \div 300 \cdot 10^3$ А, $U \approx 10^6 \div 10^9$ В



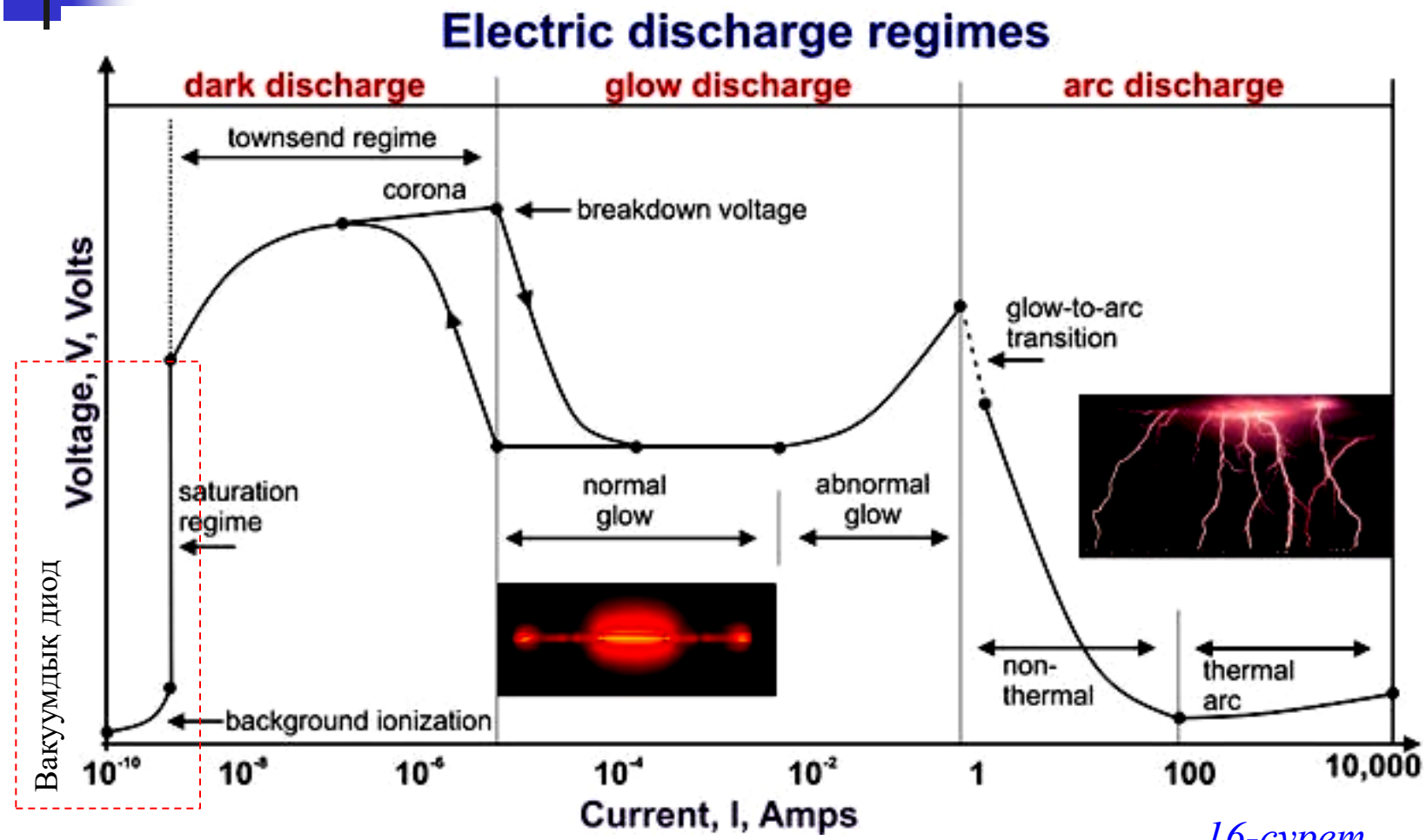
Craig Eccles

Доғалы разряд





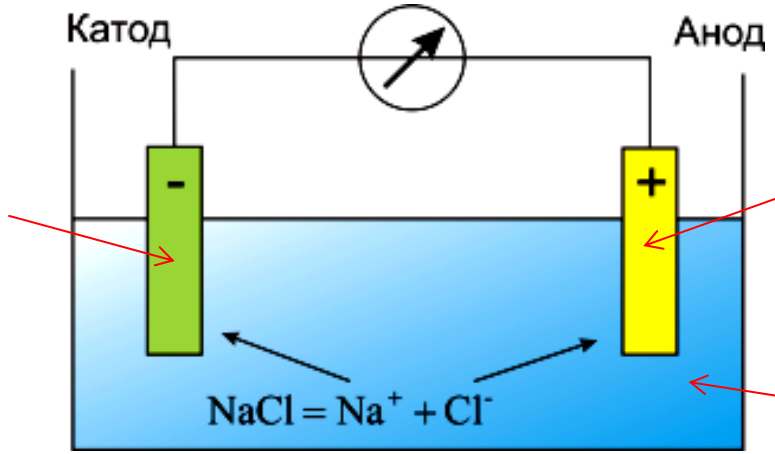
Газдық разрядтың ВАС-ы



16-сурет

Қышқылдар, сілтілер және тұздар

Сұйықтықтағы (электролиттегі) ток



Толығу (электрондар береді)

Тотығу (электрондар алады)

Электролиттер, екінші текті өткізгіштер. Ом және Джоуль-Ленц заңы жұмыс істейді

17-сурет

Оң иондардың (катиондар) және теріс иондардың (аниондар) бөлінуі – электролиттік диссоциация деп аталады
(Теория, 1884-1887 ж., Р Клаузиус және С. Аррениус)

Дистилденген су – минералды тұздар мен органикалық заттардан тазартылған су

СҰЙЫҚТЫҚТАҒЫ (ЭЛЕКТРОЛИТТЕГІ) ТОК



Майкл Фарадéй
(1791-1867)

Сұйықтық арқылы ток өткен кезде анодта тотығу, ал катодта толығу процесі жүреді (электролиз), демек зат тасымалданумен байланысты болып отыр

Фарадейдің бірінші заңы: $m = kq = kIt$ (1832-1834)

m – электролиз кезінде электродқа отырған зат массасы, k – заттың электр химиялық эквиваленті, t – электролиз жүрген уақыт

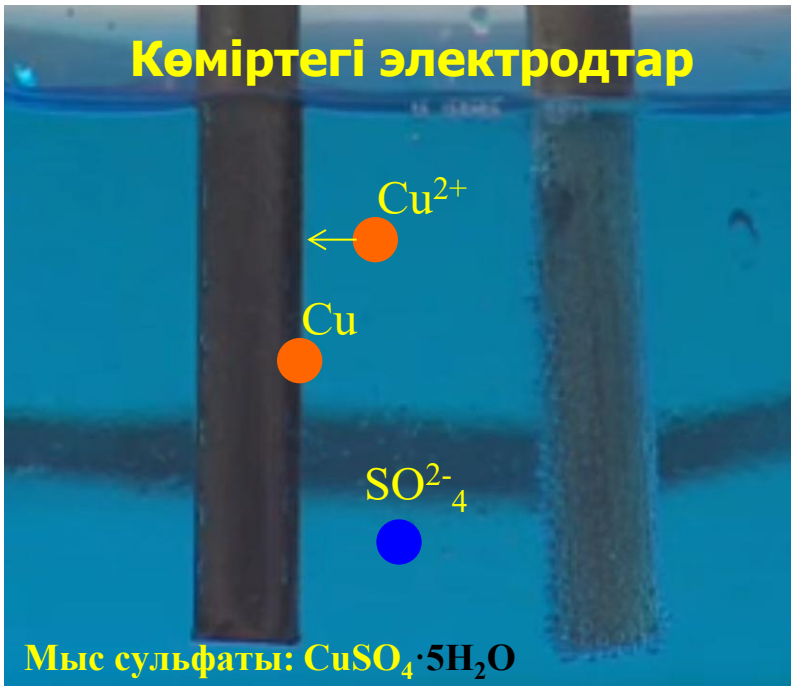
Фарадейдің екінші заңы: $k = \frac{1}{F}\frac{\mu}{Z}$

Заттың электр химиялық және химиялық (масса) эквиваленттері арасындағы байланыс

$F = |e| \cdot N_A = 9.65 \cdot 10^4$ Кл/моль – Фарадей саны, N_A – Авогадро саны. μ/Z – ионның химиялық эквиваленті, μ – мольдік масса, Z – зат иондарының валенттік саны.

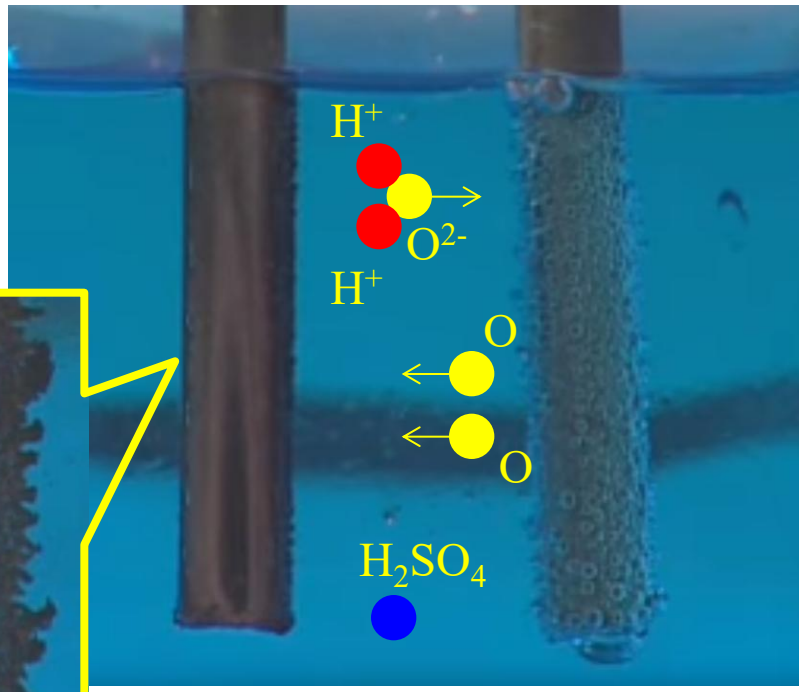
Электролиз (ыдырау). 1800, У. Никольсон және А. Карлейл

Катод (-) Анод (+)



18-сурет

Катод (-) Анод (+)



19-сурет

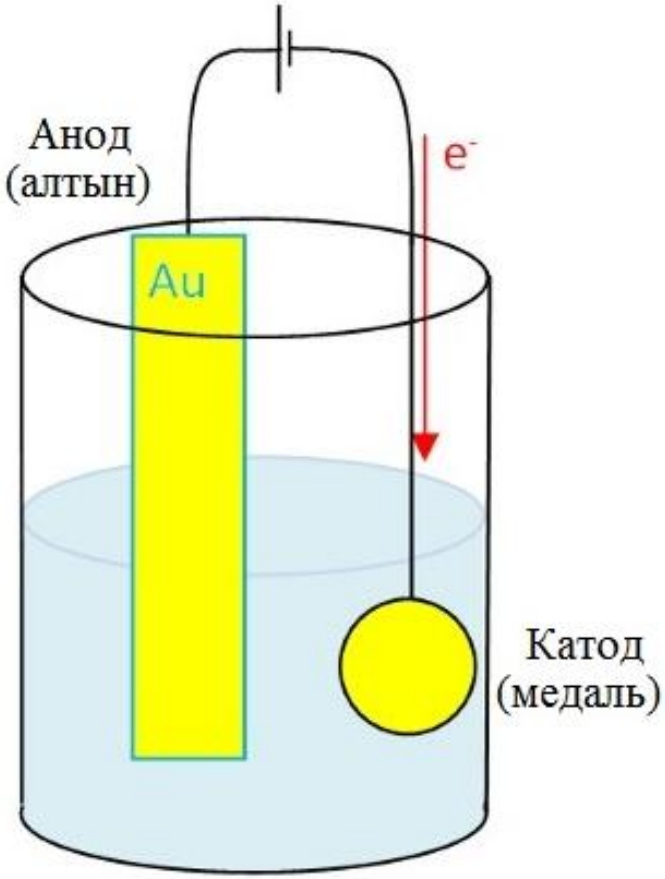


Катод бетіне мыс иондарының отыруы, толығу процесі

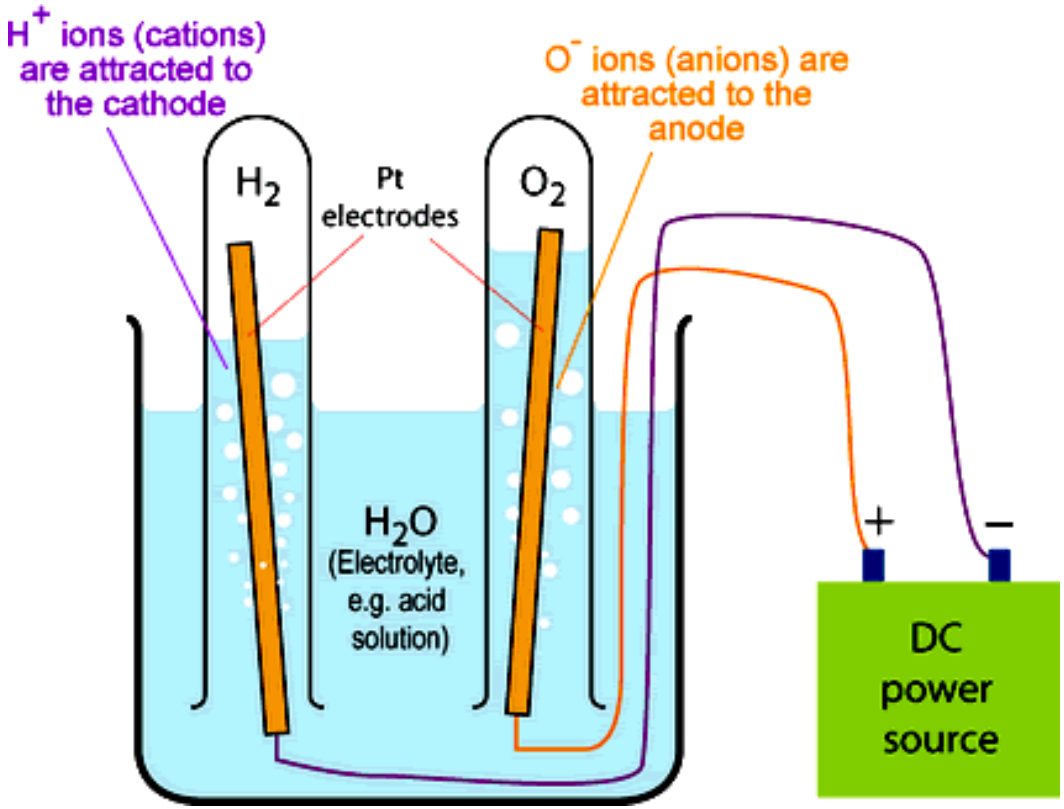
Электролизді қолдану. Гальваностегия. Гальванопластика



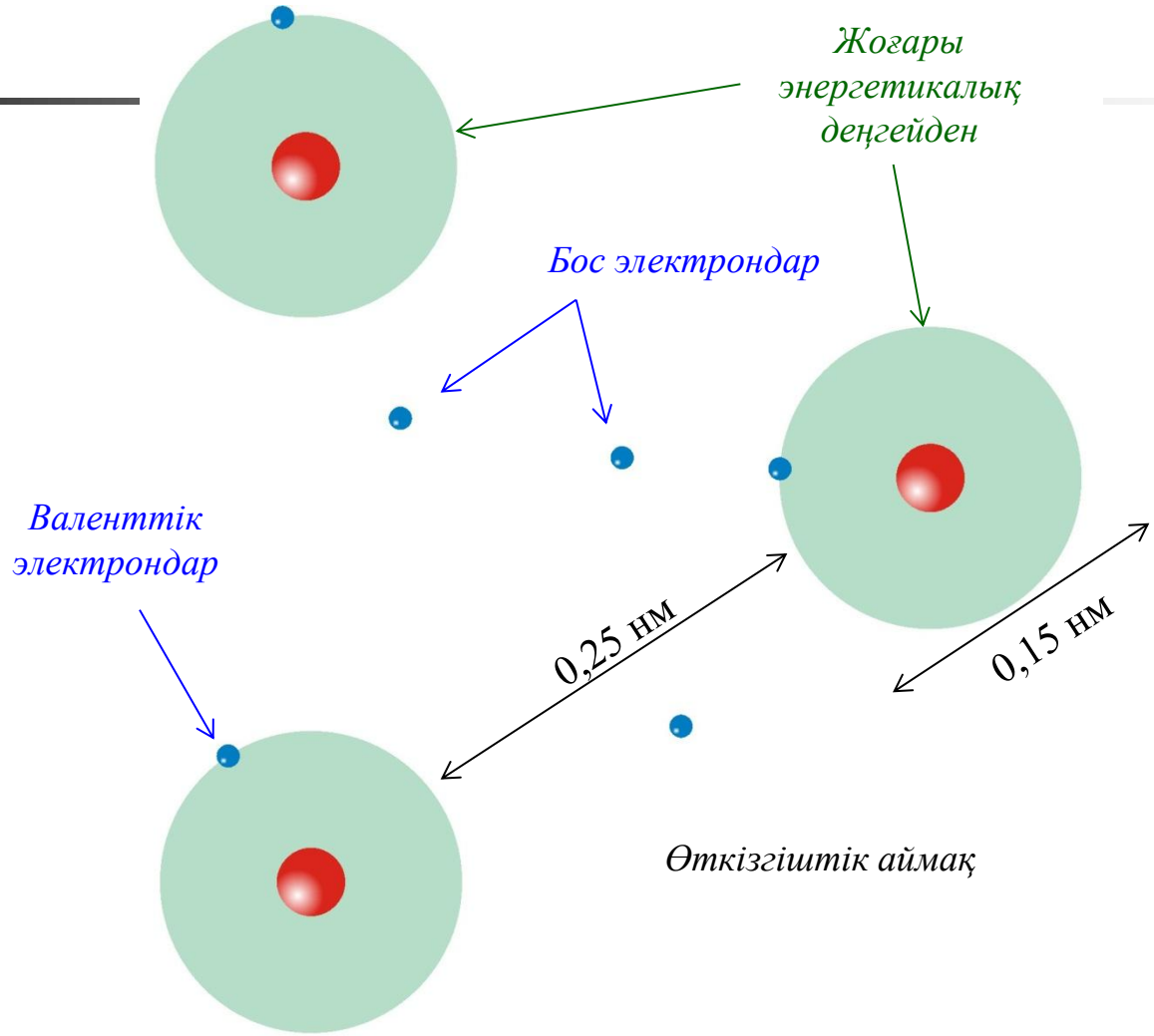
Мориц Герман Якóби
(1801-1874)



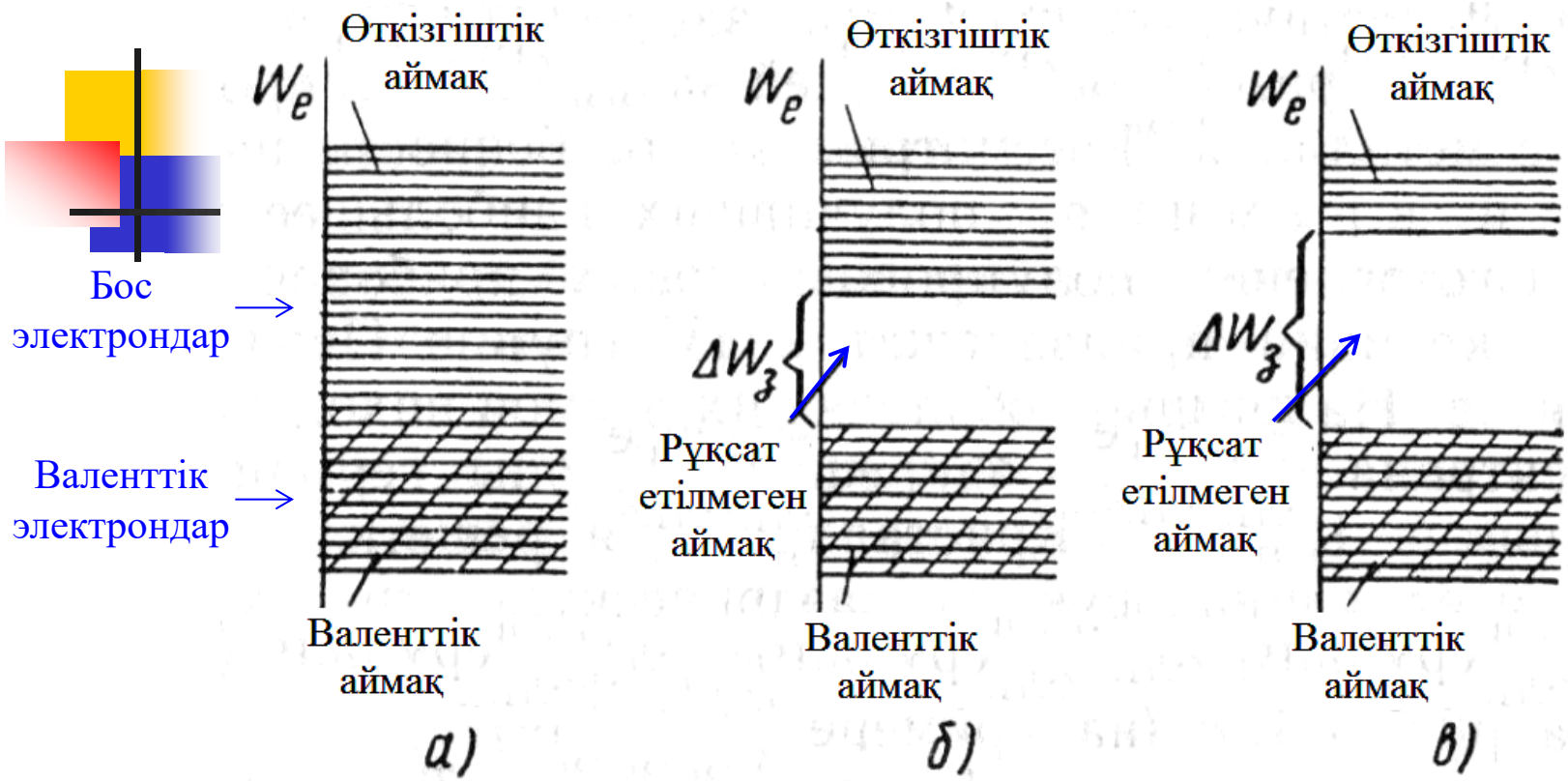
Су электролизі (сутегі мен оттегі газдарын өндіру)



Атом құрылымындағы ядро маңайында электрондар энергия шамалары дискретті болатын деңгейлерде орналасады



Энергетикалық деңгейлер

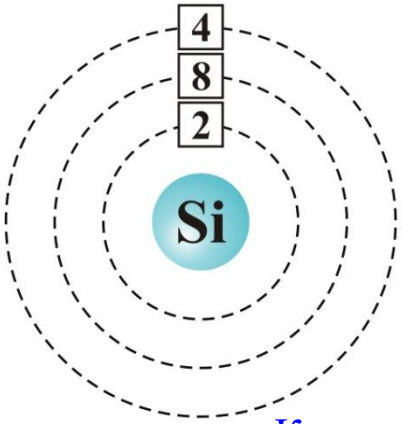


а) өткізгіштер, *б*) жартылай өткізгіштер ($0{,}01 \le \Delta W_з \le 3$ эВ) *в*) диэлектриктер ($\Delta W_з > 3$ эВ)

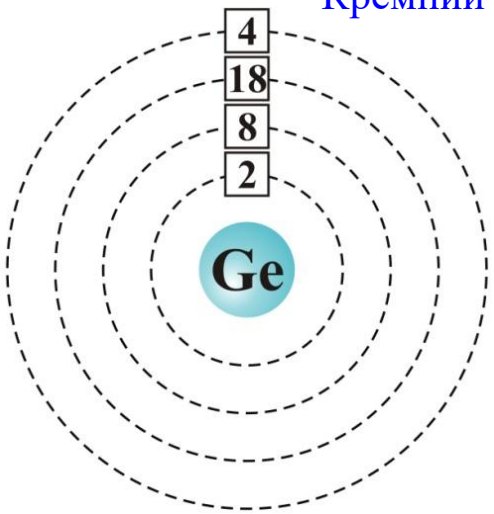
Бір электрон вольт дегеніміз потенциалдар айырымы 1 В болатын электрстатикалық өріс кеңістігіндегі нүктелер арасында элементар зарядты тасымалдауға қажет энергия. q зарядының тасымалдануы кезіндегі жұмыс qU-ға тең (мұндағы U – потенциалдар айырымы). Элементар заряд $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл болғандықтан: 1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

$n_{i(Ge)}=2.5\cdot10^{13}см^{-3}$ - өздік заряд тасымалдаушылардың концентр.

Қарапайым таза жартылай өткізгіш материалдар

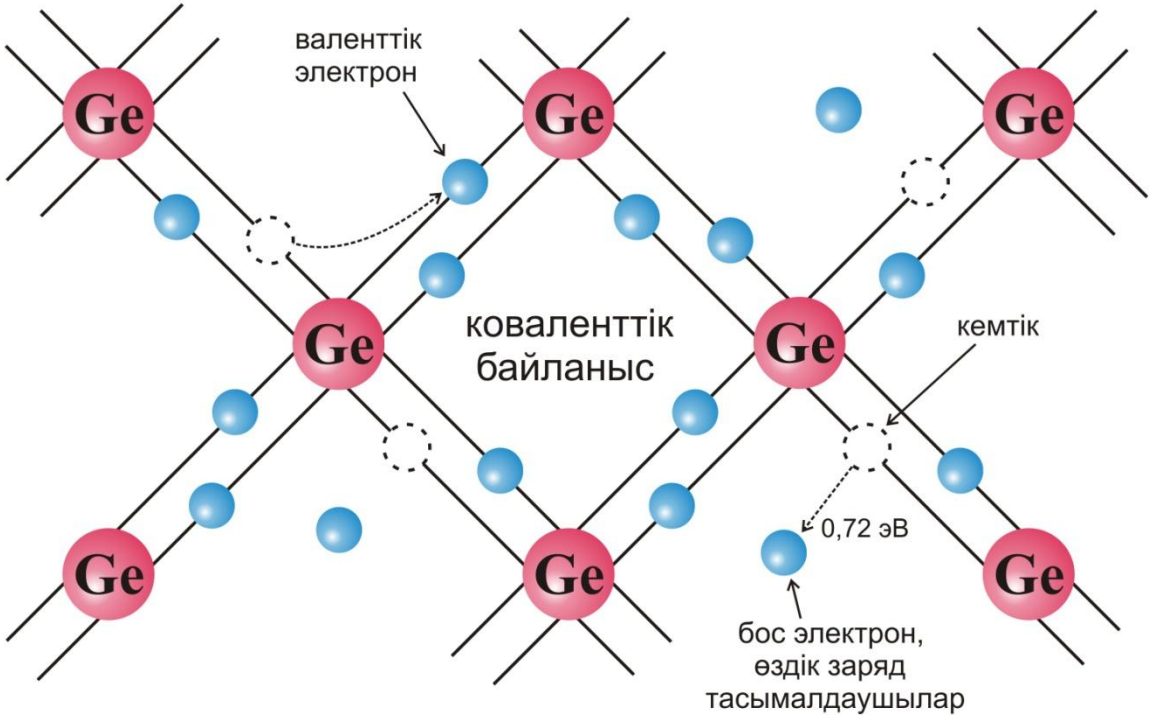


Кремний



Германий

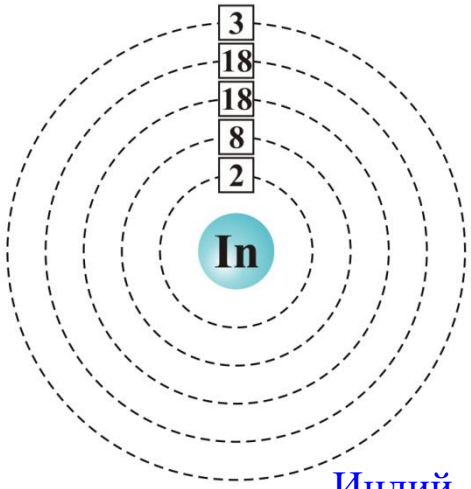
Электрондардың кемтікпен рекомбинациясы



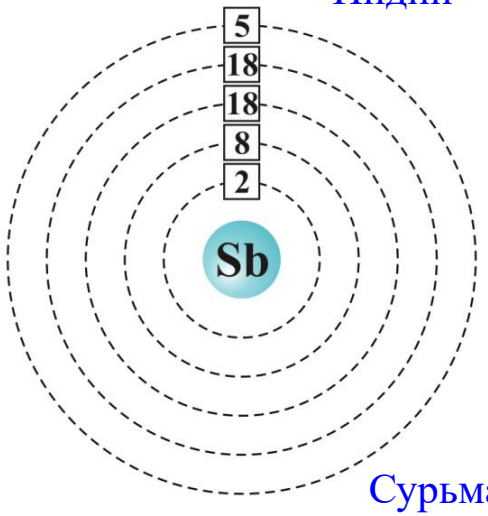
$$n_i = p_i$$

Фонондық әсер кезіндегі
электрондардың термогенерациясы

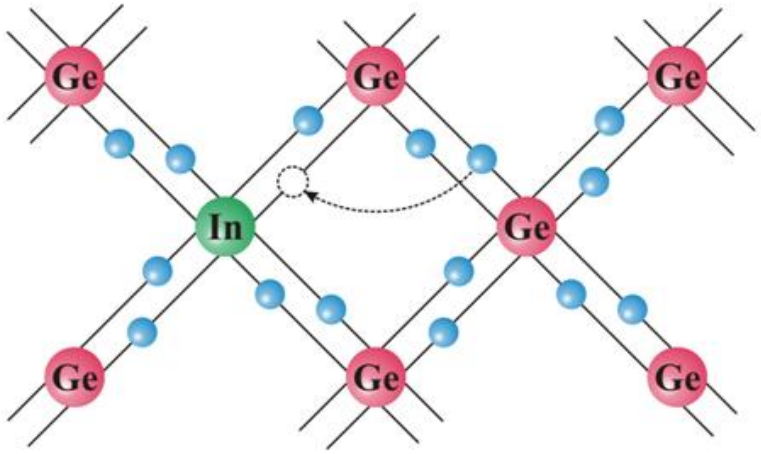
Легирленген жартылай өткізгіштер



Индий



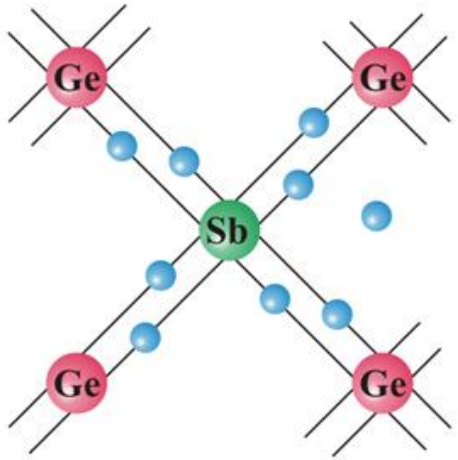
Сурьма



Акцепторлық қоспа (Accept)

$n \ll p$

$p_p = 10^{18}$ см$^{-3}$



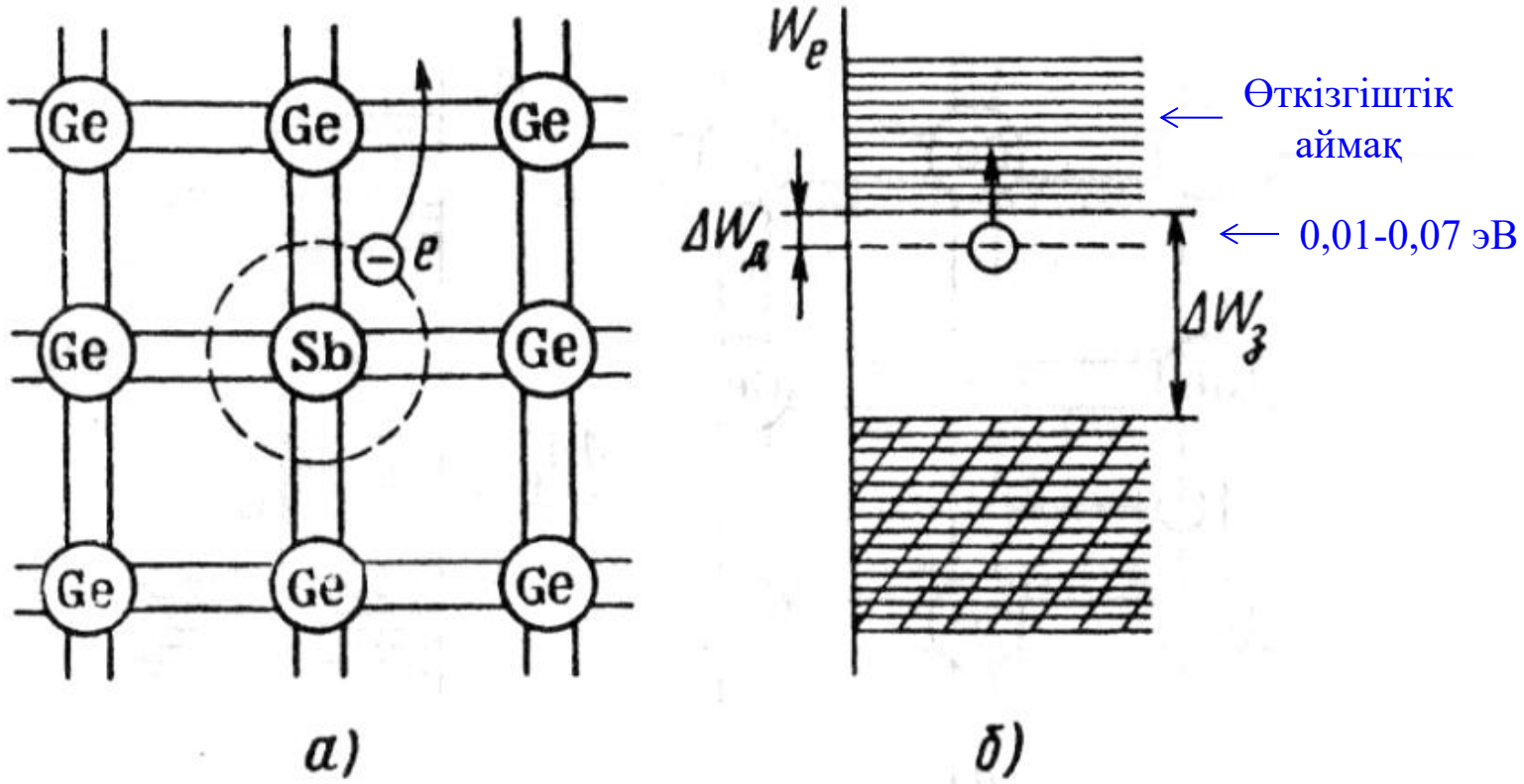
Донорлық қоспа

$n \gg p$

$n_n = 10^{15}$ см$^{-3}$

20-сурет

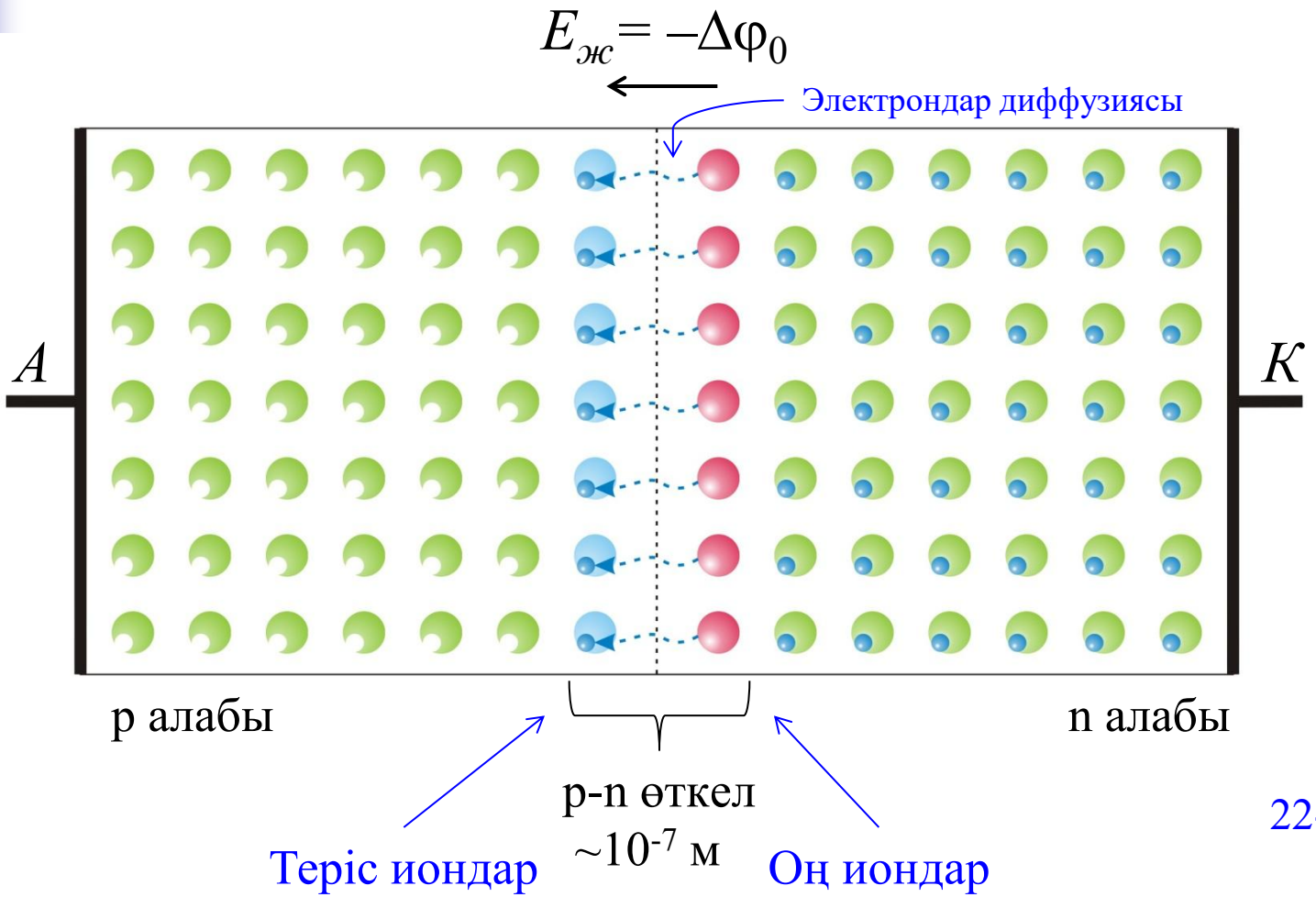
n типті кристалда бос электронның пайда болуы



21 сурет.

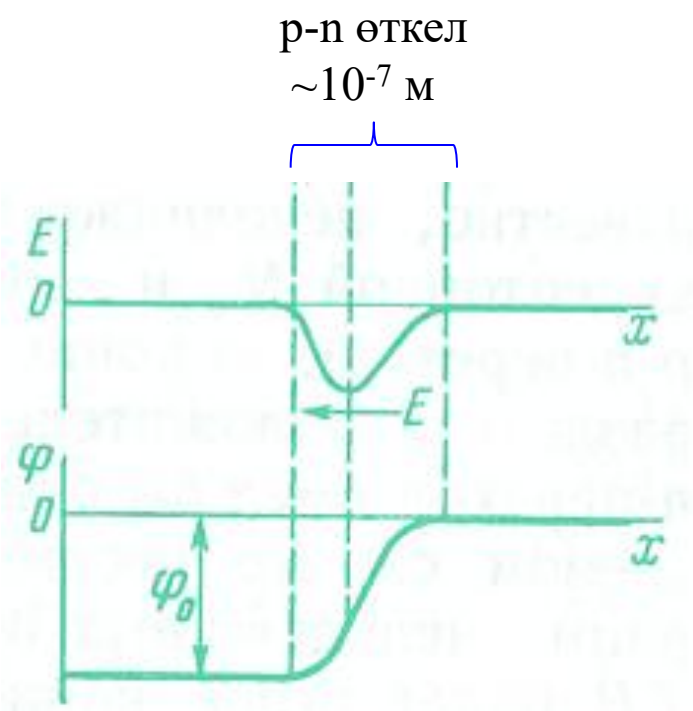
Легирленген электрон ядромен әлсіз байланысып өткізгіштік аймаққа жақын орналасады, сол себепті болмашы ғана энергия (бөлме температурасы) берілген кезде ол бос электронға айналады. Жалпы жағдайда жартылай өткізгіштің толық заряды бейтарап.

p-n өткел



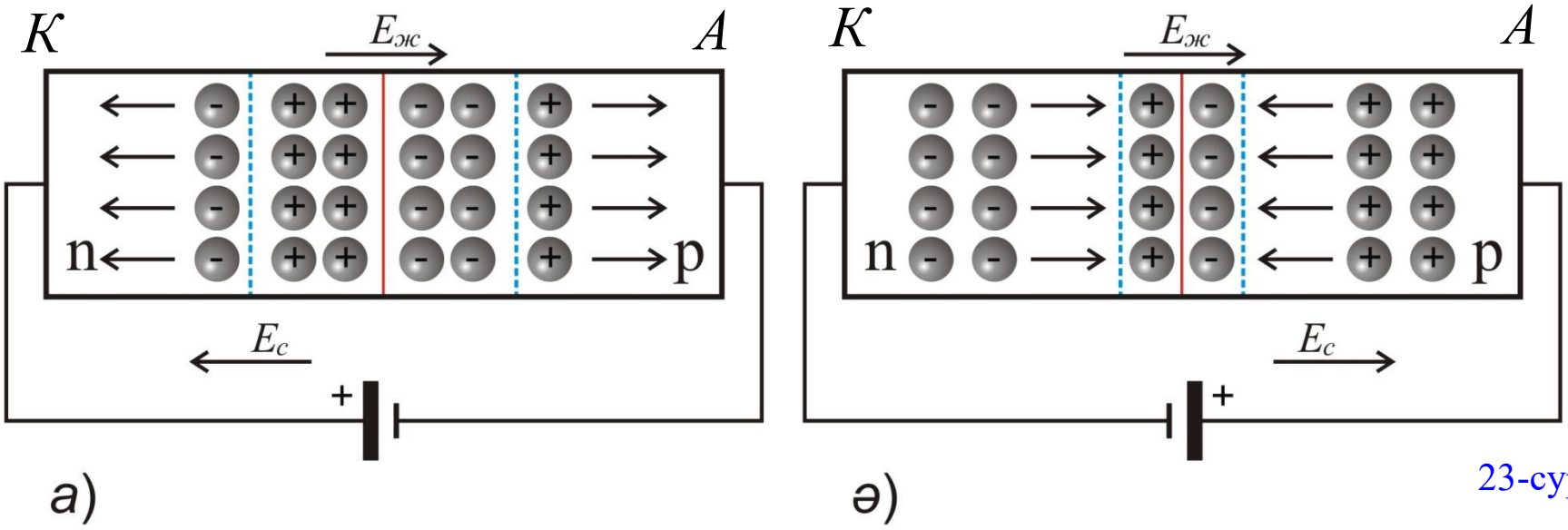
22-сурет

p-n өткел өрісімен потенциалы



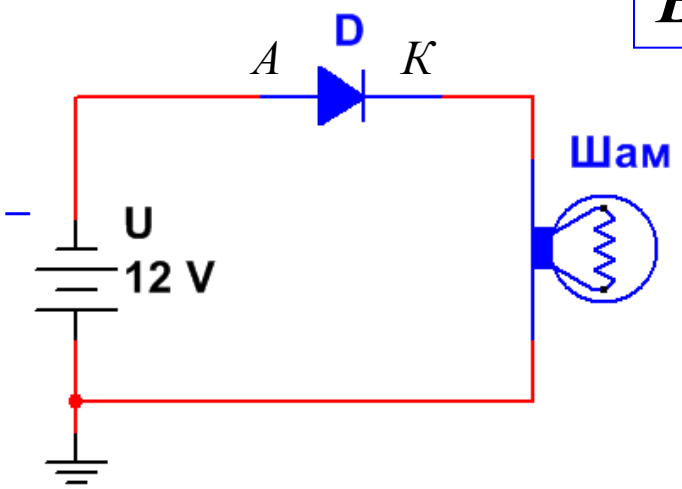
$\varphi_{0Ge} \approx 0{,}4$ В; $\varphi_{0Si} \approx 0{,}7$ В

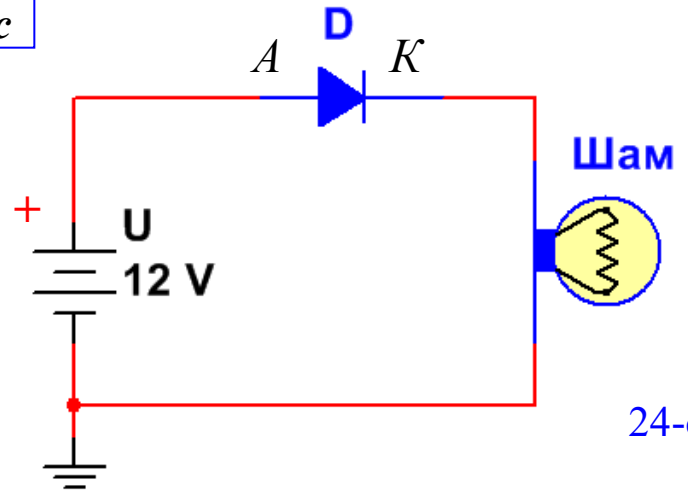
Электр тізбегіне жалғанған жартылай өткізгішті диод



23-сурет

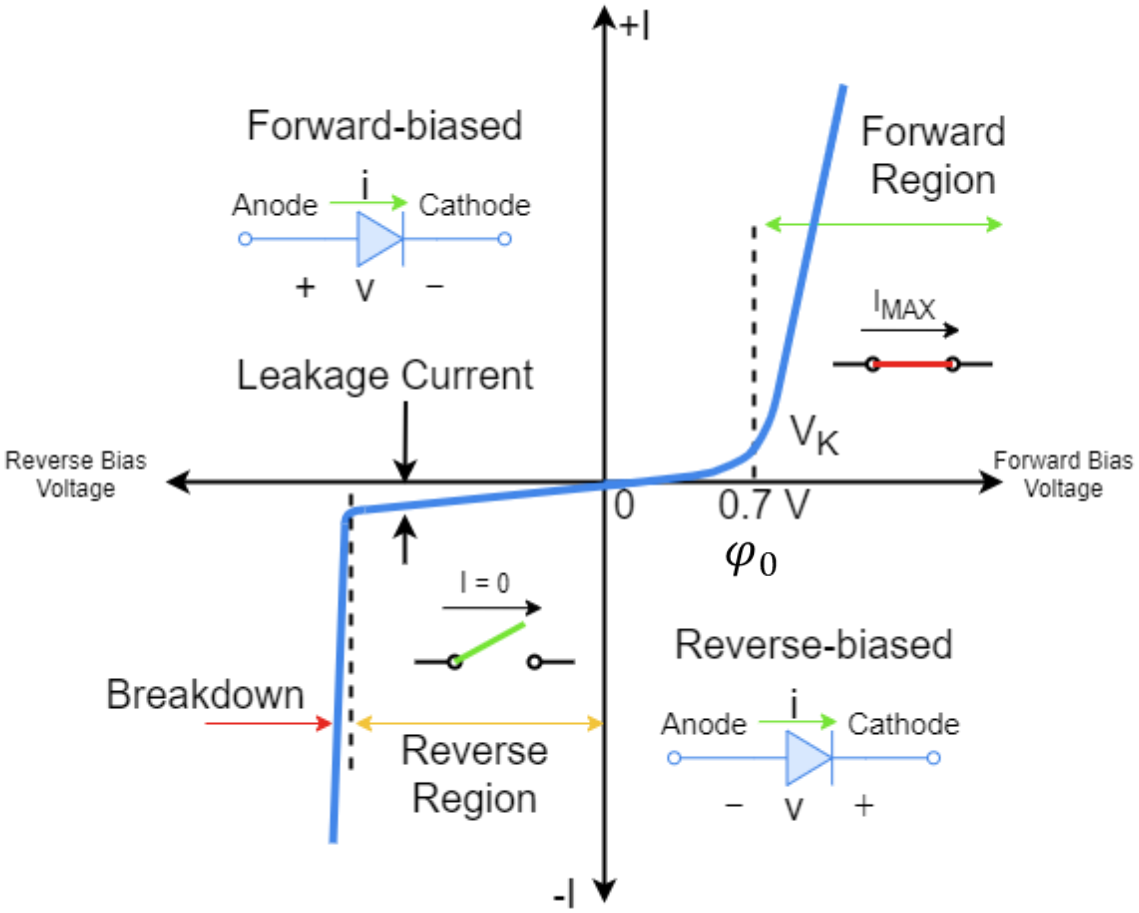
$$E_{қор}=E_{ж}-E_c$$



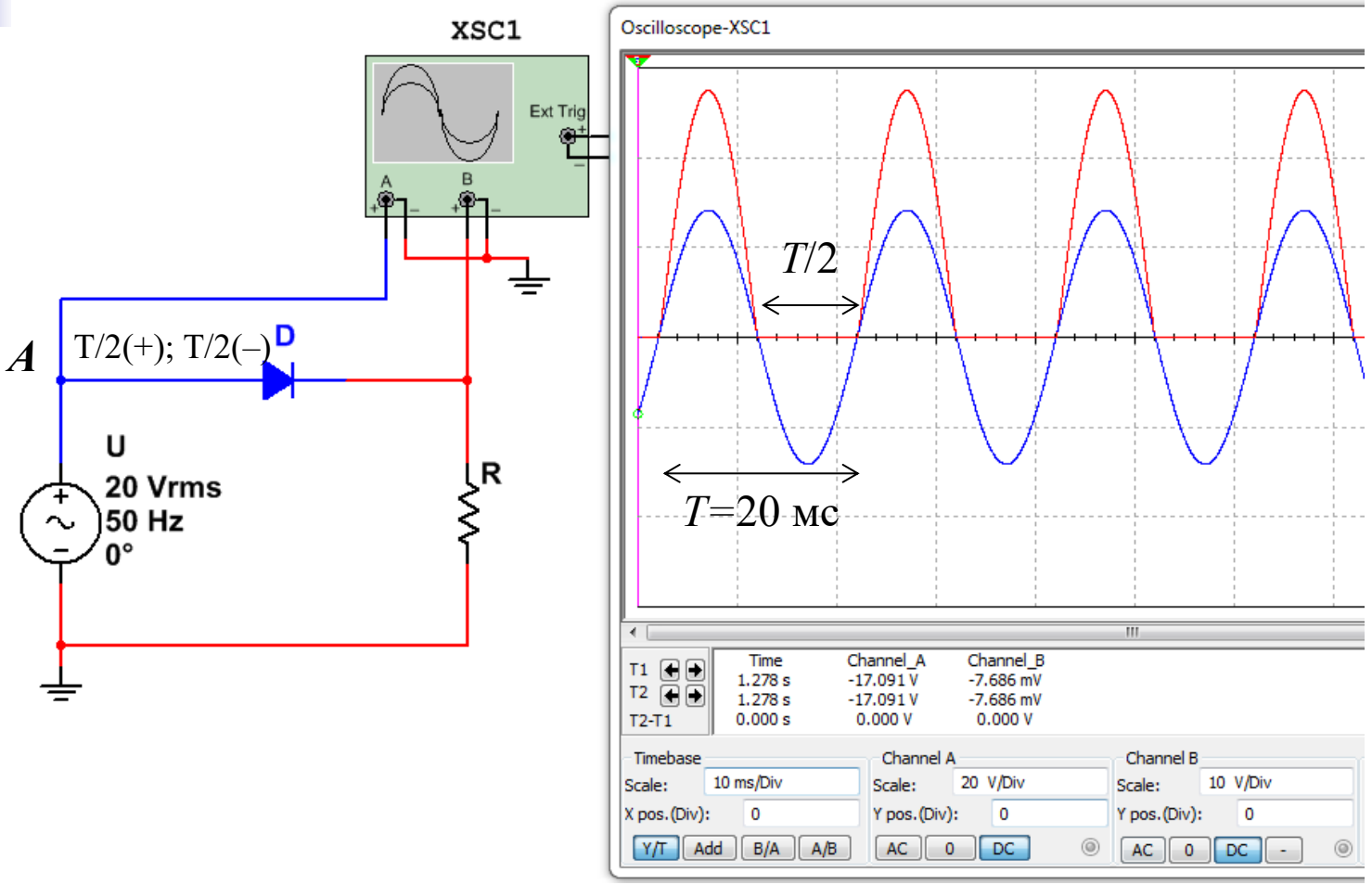


24-сурет

Диодтың вольтамперлік сипаттамасы



Айнымалы кернеуді (токты) тұрақтыға түрлендіру

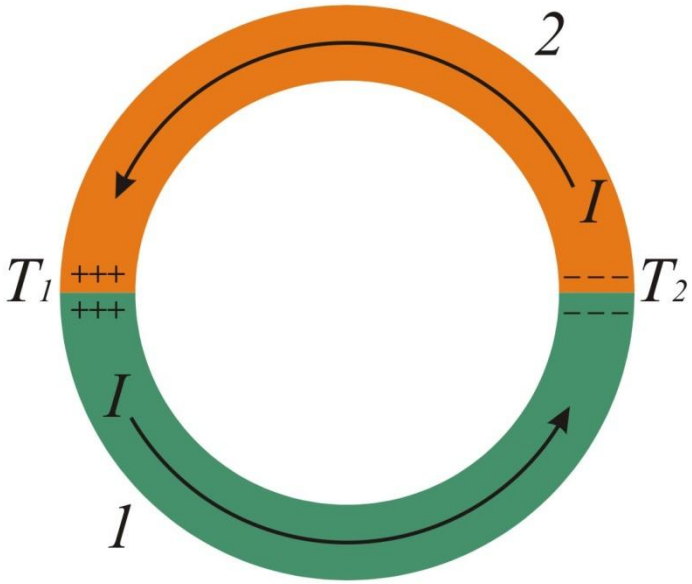


Зеебек эффектісі (1821)



Томас Иоганн Зеебек
(1770-1831)

$T_1 > T_2$



25-сурет

$$E = \alpha_{12}(T_2 - T_1) \quad (13)$$

$$\mathcal{E} = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_{12}(T)dT \quad (14)$$

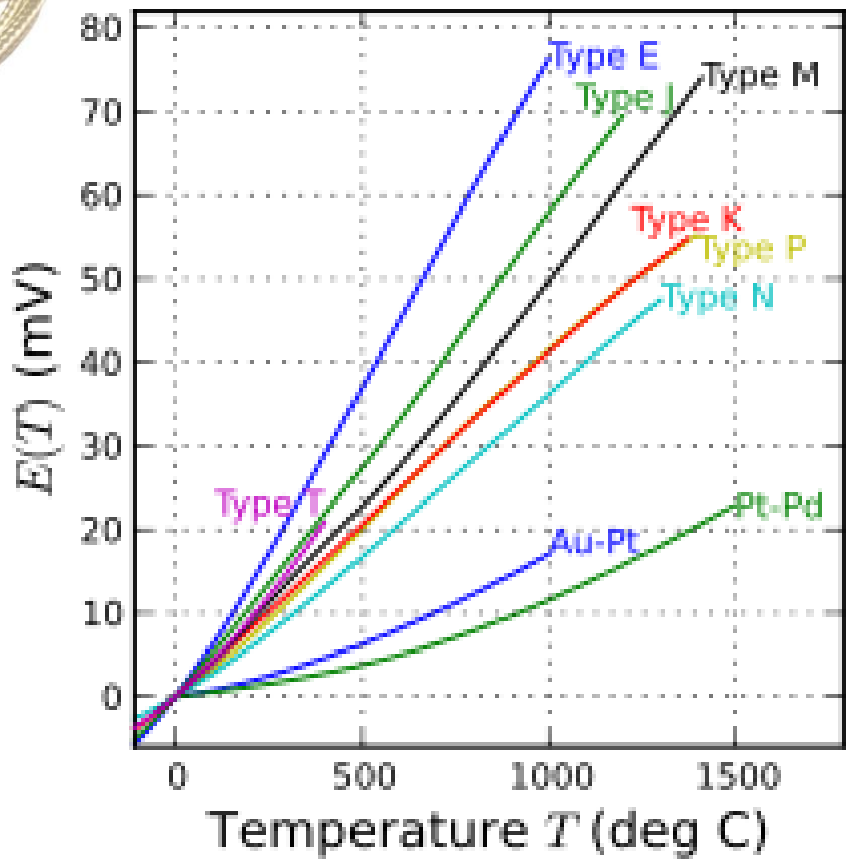
α_{12} – термо ЭҚК коэфф. материал табиғатына тәуелді

ΔT =100 °C → мыс-константан ε=4,25 мВ, нихром-никель ε=4,1 мВ

Термоқосақ (Термопара)



26-сурет

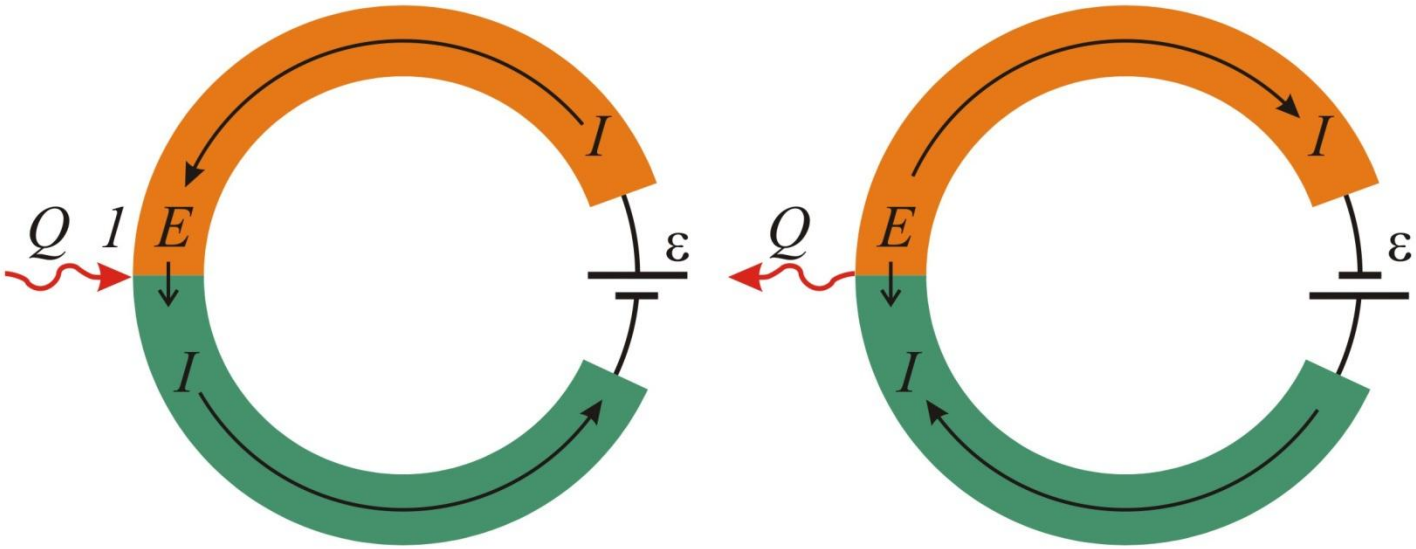


27-сурет

Пельтье эффектісі (1834)



Жан Шарль Пельтьé
(1785-1845)

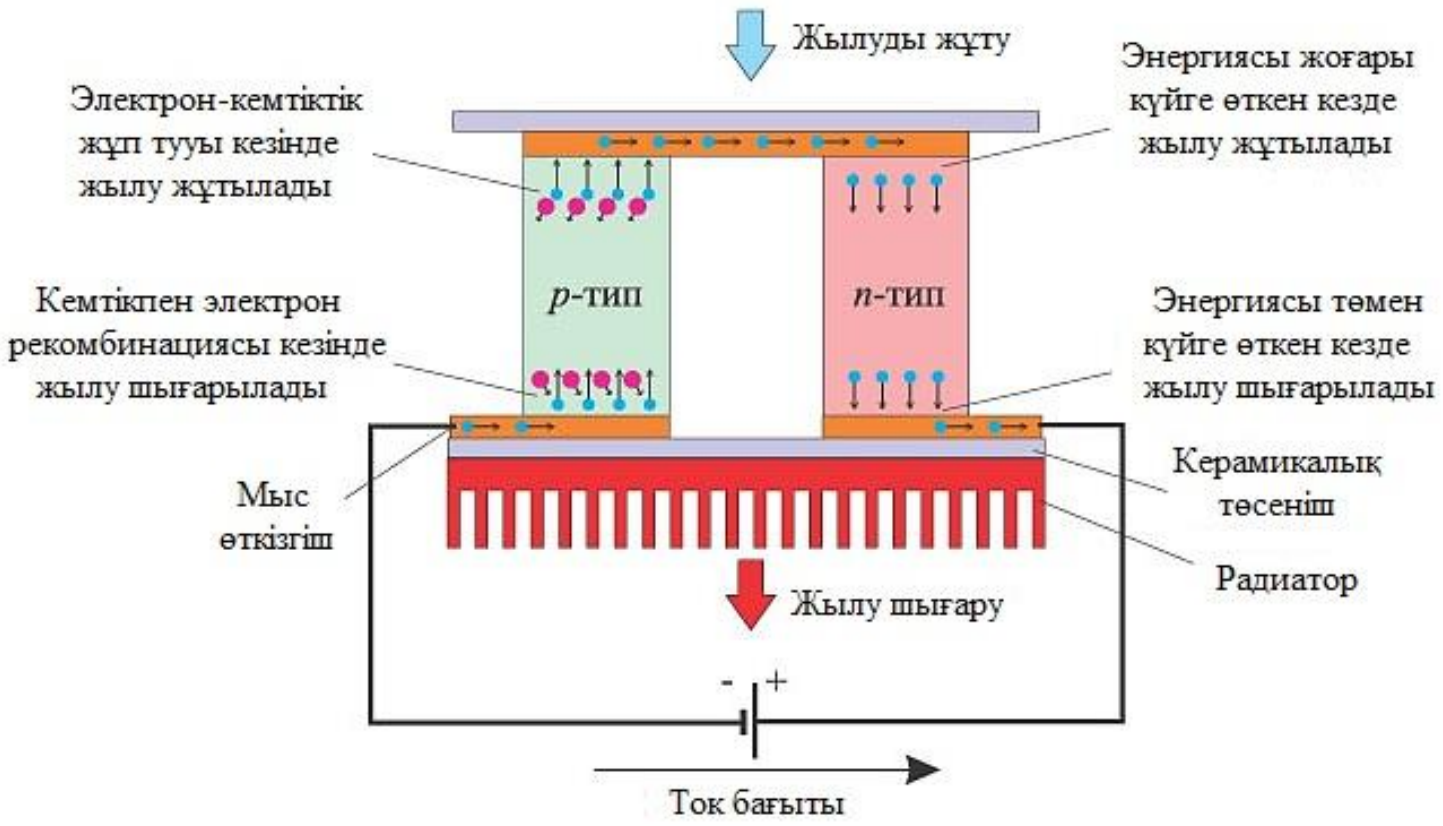


28-сурет

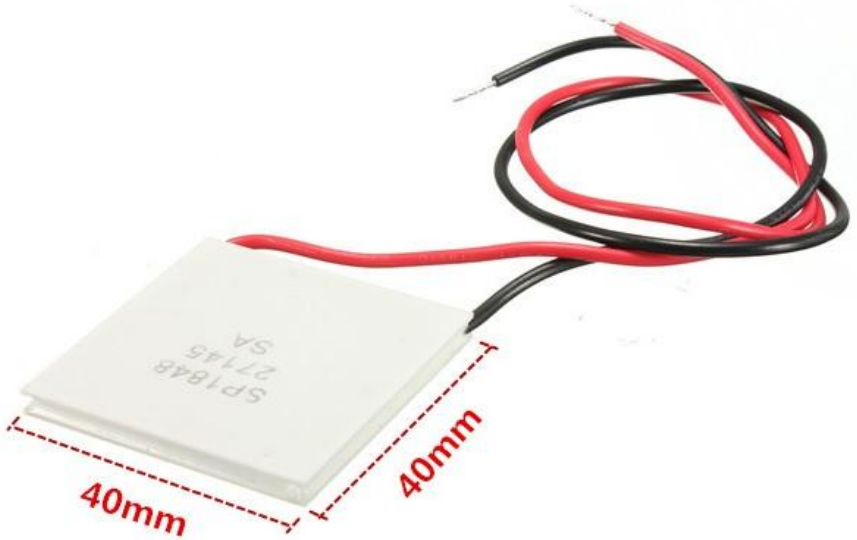
$$Q = \Pi_{12} It = (\Pi_2 - \Pi_1) It \quad (15)$$

$\Pi = \alpha T -$ Пельтье коэфф. T – абсолют температура [K]

Пельтье элементінің жартылай өткізгішті моделі



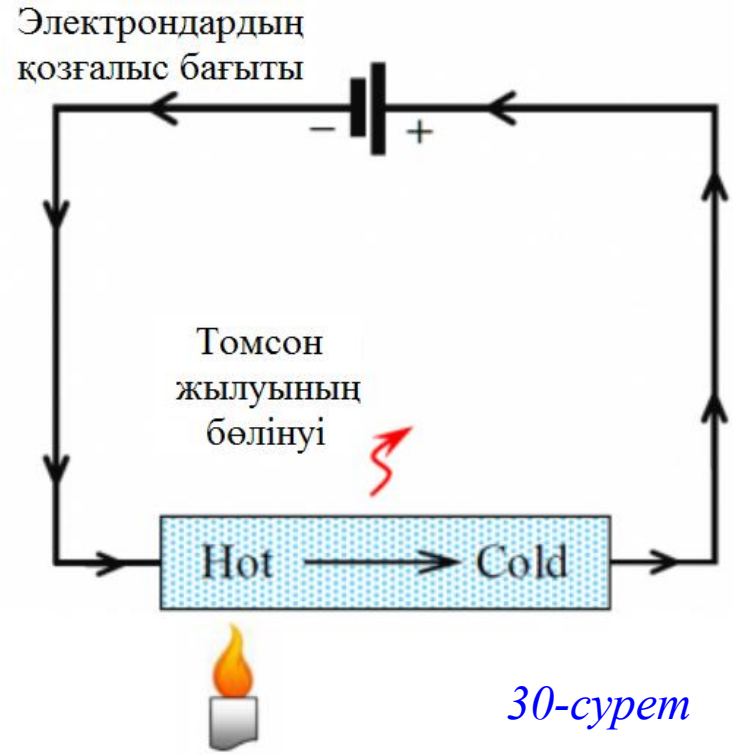
Пельтье элементі



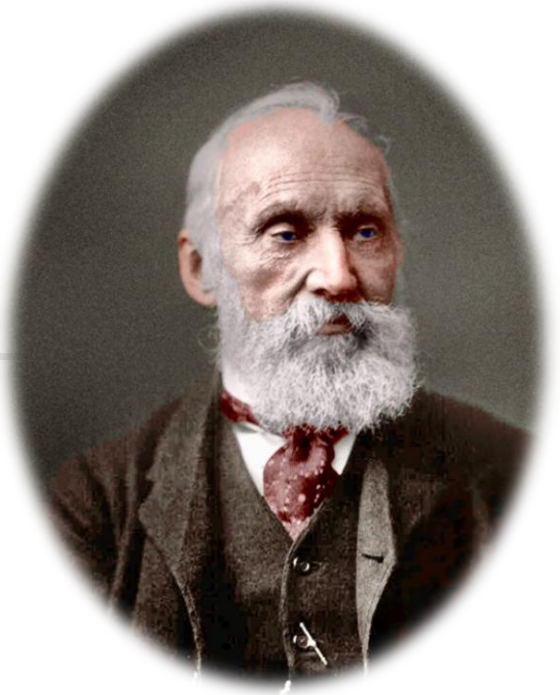


29-сурет

Томсон эффектісі (1851)



30-сурет

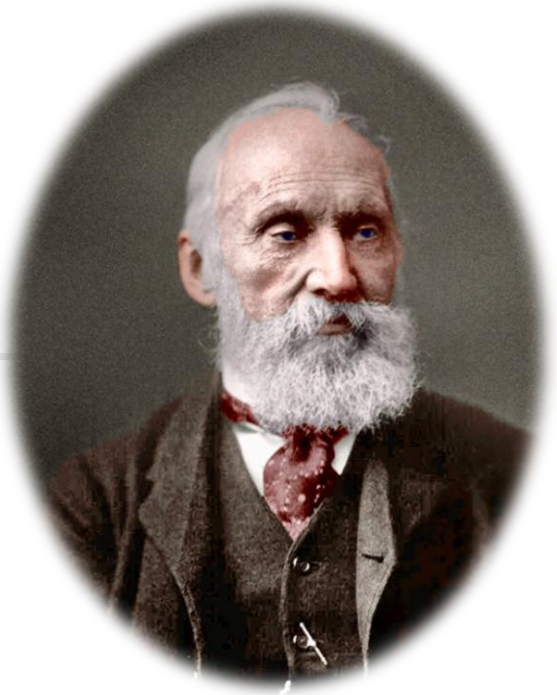


Уи́льям То́мсон, барон Ке́львин
(1824-1907)

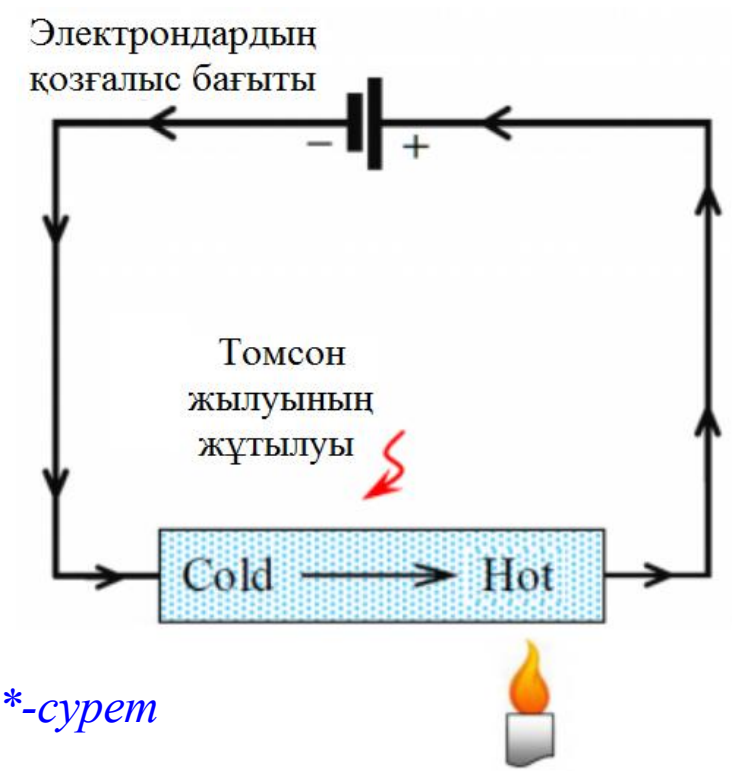
$$Q_T = \tau \Delta T I t = \tau (T_2 - T_1) I t \quad (16)$$

τ – Томсон коэффициенті, ол бір келвинге шаққанда вольтпен өрнектеледі (термоЭҚК-пен бірдей бірлікке ие)

Томсон эффектісі (1851)



Уи́льям То́мсон, барон Ке́львин
(1824-1907)



30-сурет*

$$Q_T = \tau \Delta T I t = \tau (T_2 - T_1) I t \quad (16)$$

τ – Томсон коэффициенті, ол бір келвинге шаққанда вольтпен өрнектеледі (термоЭҚК-пен бірдей бірлікке ие)