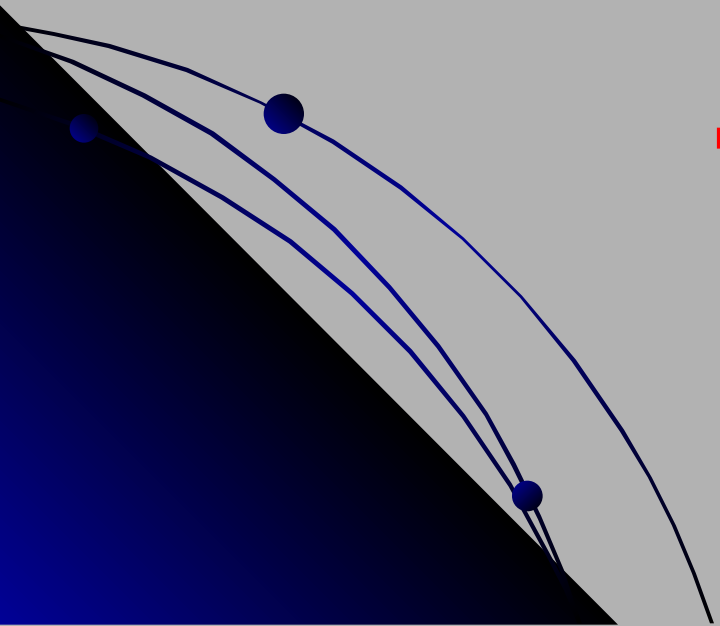


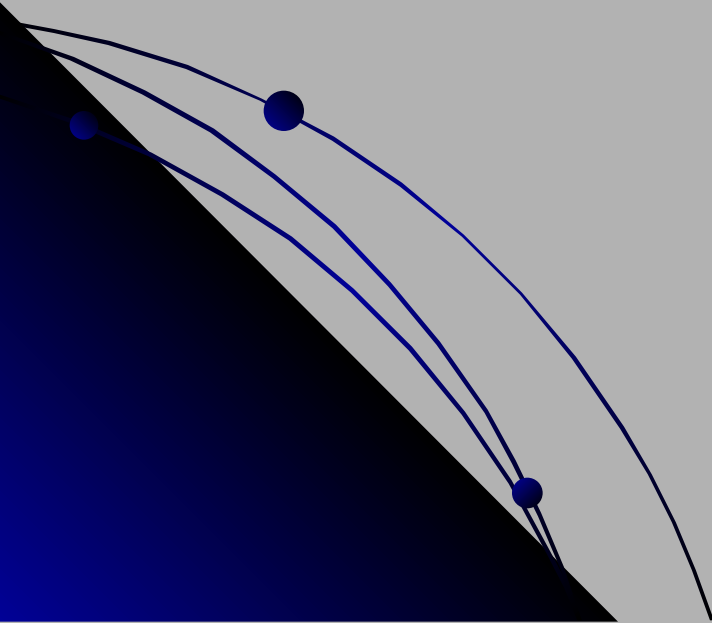
# Тұрақты электр тоғы



# Дәріс

## жоспары

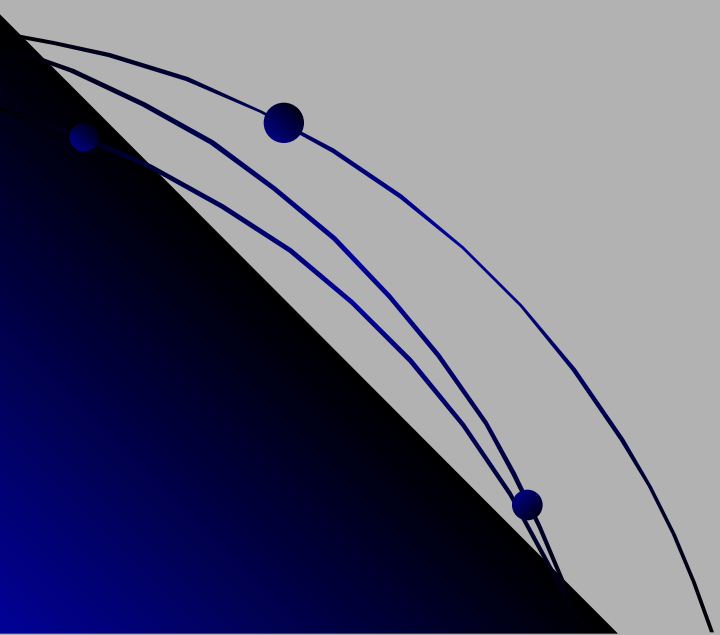
- Тұрақты электр тоғы.
- Кирхгоф ережелері.



Электр зарядтарының бағытталған қозғалысын электр тогы деп атайды.

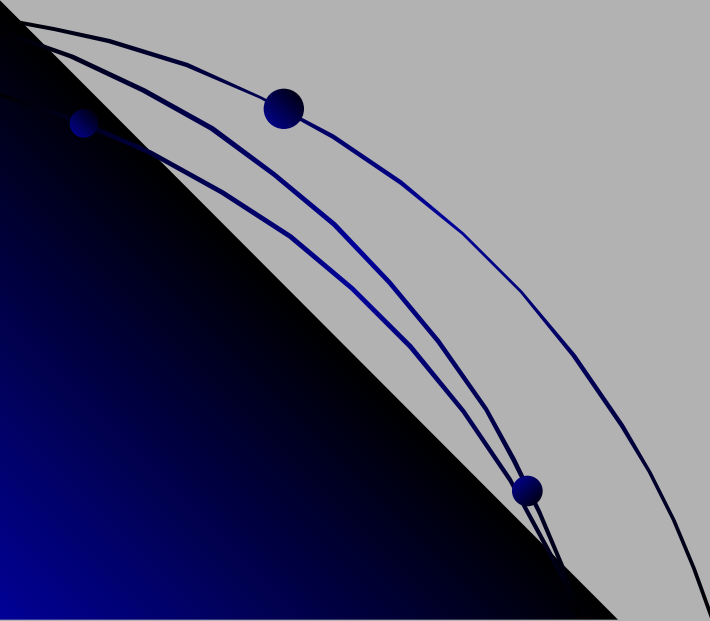
Берілген көлемнен бірлік уақыттың ішінде ағып өтетін электр мөлшерін *тоқ күші* деп атайды:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}.$$



Күші мен бағыты уақытқа байланысты өзгермейтін тоқты тұрақты ток деп атайды.

$$I = \frac{q}{t} = \textit{const.}$$

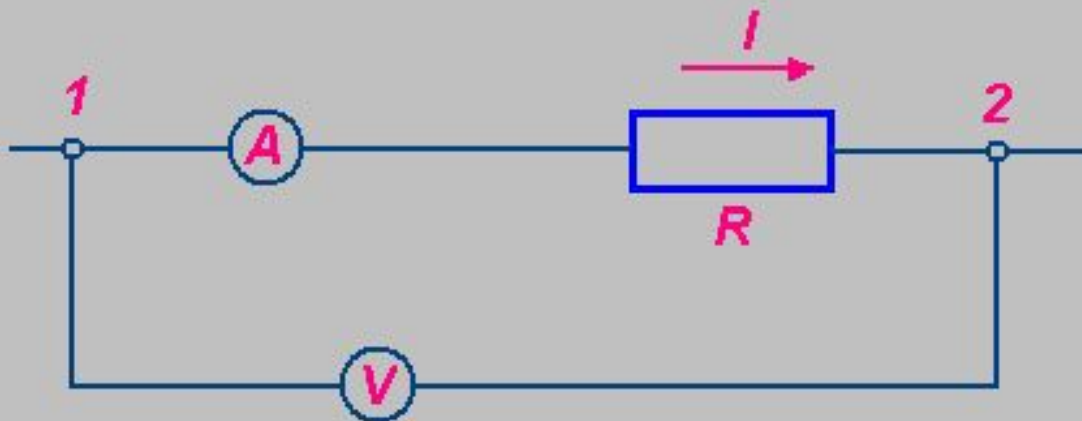
A diagram showing a particle's trajectory in a magnetic field. The trajectory is a curve that starts from the left and curves downwards and to the right. Three blue dots are placed along the curve, representing the particle's position at different times. The background is a gradient from black to blue.
$$A = \frac{Kл}{c}$$

Электрондық теория тұрғысынан алғанда **тоқ күші** әрбір бөлшектің таситын зарядына, бөлшектің концентрациясына, олардың бағытталған қозғалысының жылдамдығына және өткізгіштің көлденең қимасының ауданына тәуелді.

$$I = q_0 \cdot n \cdot v \cdot S.$$

# Электр тоғының пайда болу шарттары:

1. Электр тоғы пайда болу үшін өткізгіште еркін зарядталған бөлшектердің болуы қажет
2. Электр зарядтарын қозғалысқа келтіру үшін элект өрісін тудыру керек.



Электр тоғы тоқ тығыздығымен де сипатталады. Электр **тоғының тығыздығы**  $j$  деп өткізгіштің бір өлшем қимасынан өтетін тоқ күшін  $I$  айтады.

$$j = \frac{I}{S}; \quad \left[ \frac{A}{m^2} \right]$$

Тоқ тығыздығы - векторлық шама, оның бағыты тоқ бағытына, яғни оң зарядтардың қозғалысымен бағыттас болады.



Неміс физигі Георг Симон Ом Эрланг қаласында дүниеге келген. Георг алғашында гимназияда, кейіннен Эрланг университетінде оқиды да, Швейцарияда жеке мектепте сабақ бере бастайды. 1811 ж. ол университеттегі емтихандарын тапсырып, философия докторы деген дәрежеге ие болады.

1826 ж. өз заңын тұжырымдаған еңбегін жарыққа шығарады. ЭҚК-і, кернеудің азаюы, өткізгіштік деген ұғымдарды енгізген Ом болатын.



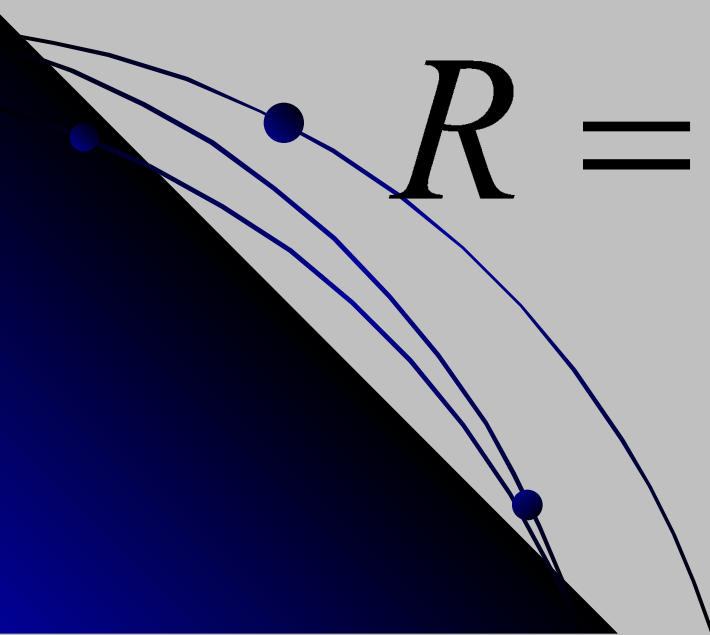
Ол тізбектің бөлігі үшін ток күшінің кернеуге тәуелділік заңын, сондай-ақ тұйық тізбектегі ток күшін анықтайтын заңды ашты. Ом кедергінің өткізгіш ұзындығына және оның көлденең қимасының ауданына тәуелділігін тапты, ток күшін өлшейтін сезгіш приборды жасады. Ом кернеу көзі ретінде термопараны пайдаланды (термопара – ұштары жалғанып дәнекерленген әр түрлі металдан жасалынған екі сым). Дәнекерленген ұштарының температуралар айырмасын арттыра отырып, кернеуді өзгертті. Ол ток пен жылуөткізгіштік арасындағы ұқсастықты пайдаланып, электр тізбегінің теориясын жасамақ болды.

Бірақ Омның ашқан жаңалықтары неміс ғалымдары арасында дұрыс қабылданбады. Өмірінің соңғы жылдарында ғана оның еңбектері таныла бастады. 1841 ж. Омға Лондон хандық қоғамының ең жоғары марапаты – Копли медалі берілді, ал 1850 ж. Мюнхен университетінде кафедраны басқару ұсынылды.

Берілген өткізгіштің температурасы тұрақты болғанда сол өткізгіштің ұштарындағы кернеудің ондағы тоқ күшінің қатынасы тұрақты болады:

$$\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{I} = \frac{U}{I} = R.$$

Бұл R-шамасы өткізгіштің өз бойынан өтіп жатқан электрондардың қозғалысына кедергі, яғни бөгет жасау қабілетін сипаттайтындықтан оны өткізгіштің **кедергісі** деп атайды.


$$R = \frac{U}{I} \cdot$$

$$\left[ 1 \text{ Ом} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}} \right]$$

Өткізгіштің келергісіне кері шама  $\sigma = \frac{1}{R}$ ;  
электрлік өткізгіш деп аталады.

Өткізгіштің өлшем бірлігі – сименс (См), 1см –кедергісі 1Ом тізбектің бөлігінің өткізгіштігі.

$$R = \rho \frac{l}{S}; \quad \rho = \frac{RS}{l};$$

$\rho$  - Пропорционалдық коэффициент, заттың меншікті электрлік кедергісі.

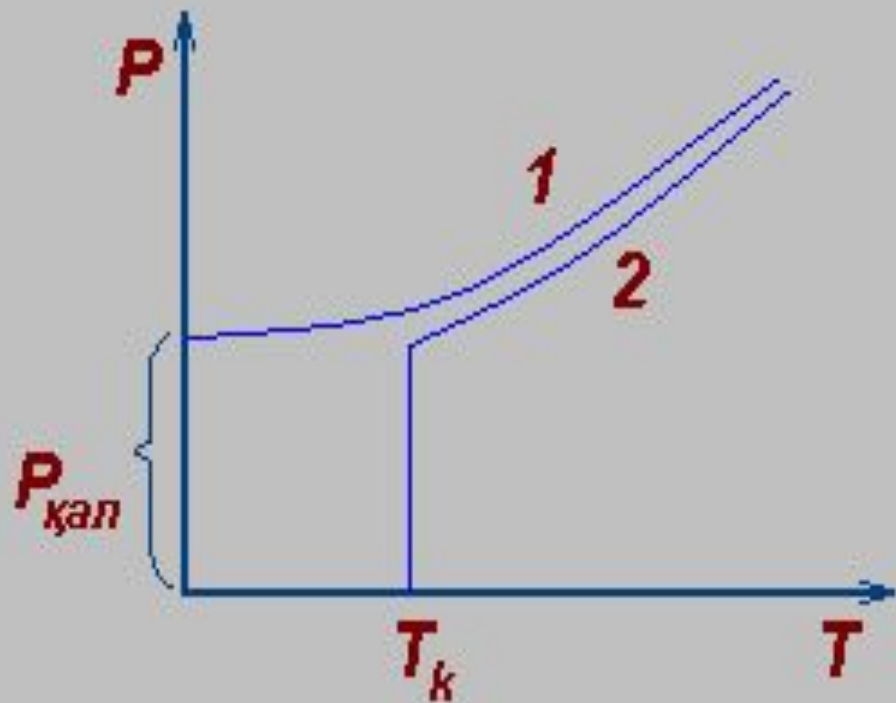
$$\left[ \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}} = \text{Ом} \cdot \text{м} \right]$$

Өткізгіштің меншікті электрлік кедергісі заттың тегіне, оның температурасына тәуелді, яғни меншікті кедергі соған сәйкес өткізгіш кедергісі мен температура арасындағы байланыс сызықтық тәуелділік заңына бағынады.

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t^0).$$

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t^0).$$

$$\alpha = \frac{1}{273};$$

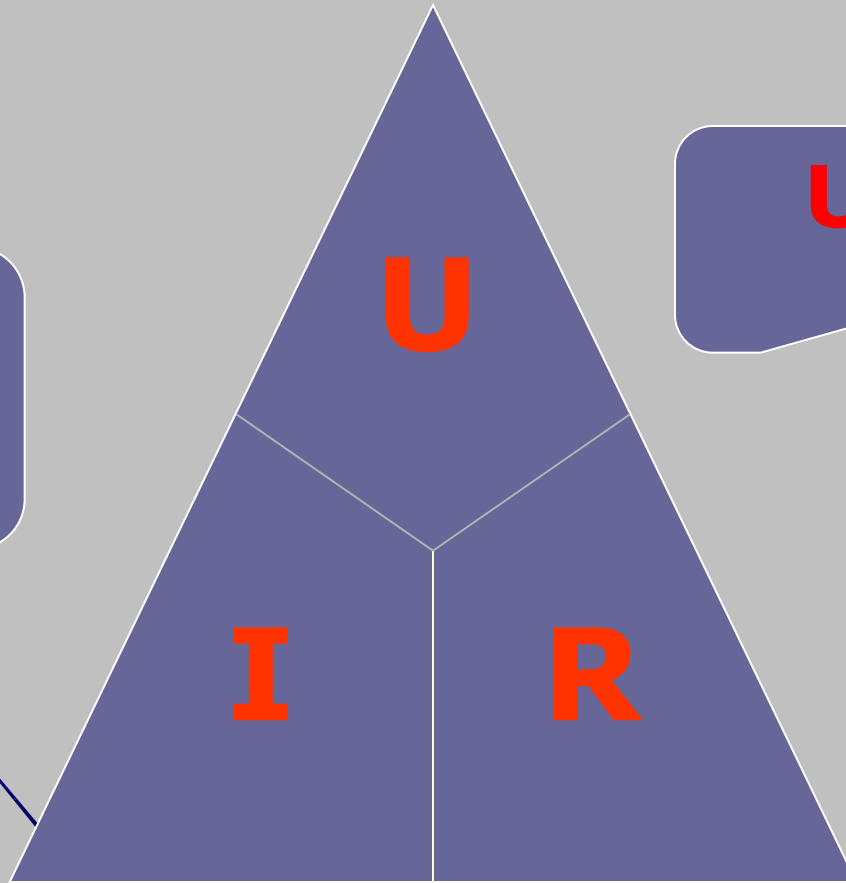


$R = \alpha \cdot R_0 \cdot T$ ;  $T$ -термодинамикалық температура.

$\alpha$  - кедергінің температуралық коэффициенті.

# Тізбек бөлігі үшін Ом заңы

$$I = U / R$$



$$U = IR$$

$$R = U / I$$

Біртекті емес тізбек  
бөлігіне арналған Ом  
заңы:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R};$$



● Ток көзі тарапынан  
өткізгіштегі зарядқа әсер  
етуші электрстатикалық  
емес күштерді **бөгде**  
**күштер** деп атайды.

# Электр қозғау күш (э.қ.к):

Бөгде күштер электр зарядының өткізгіш бойымен орын ауыстыруы кезінде жұмыс атқарады.

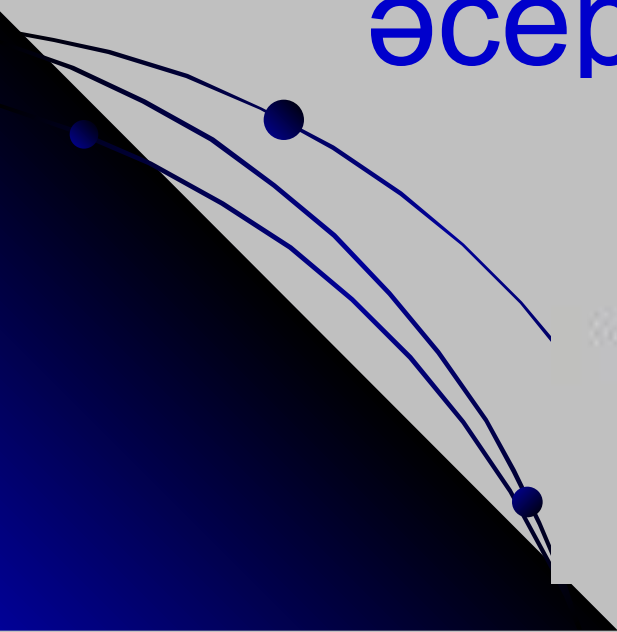
Бөгде күштердің оң бірлік зарядтың орнын ауыстыруы кезінде істелген жұмыс мөлшерімен анықталатын физикалық шама **электр қозғау күш (э.қ.к)** деп аталады.

$$\varepsilon = \frac{A_{\dot{a}}}{q} \quad \left[ \frac{1\text{В}}{1\text{К}} = \frac{1\text{Дж}}{1\text{Кл}} \right]$$

**Э.қ.к** – тізбектің бөлігіндегі бөгде күштің энергетикалық сипаттамасы.

$$F_{\text{б}} = E_{\text{б}} \cdot q;$$

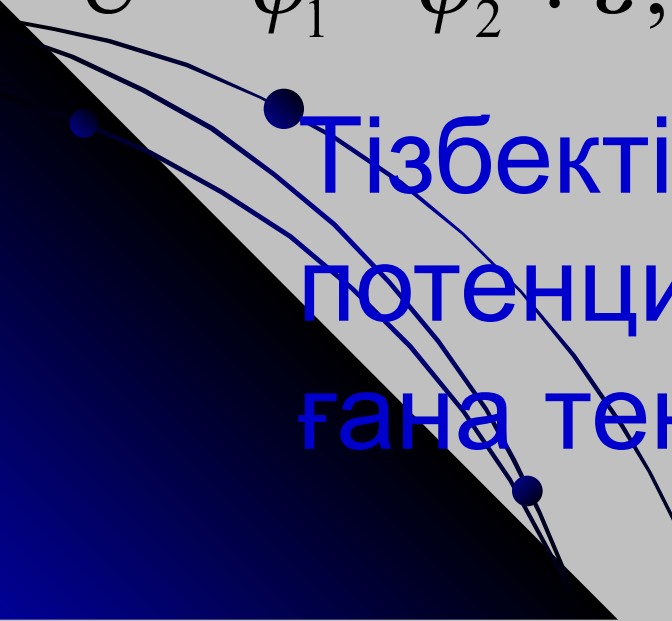
$F_{\text{á}}$  - өткізгіштің бойымен қозғалатын зарядтарға әсер ететін **бөгде күш**.



# Тізбектің бөлігіндегі кернеу :

Бірлік оң зарядты орын ауыстыру барысында кулон өрісі мен бөгде күштердің атқарған жұмысына тең физикалық шама.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 \div \varepsilon; \quad U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}; \quad \left[ 1\text{В} = \frac{1\text{А}\cdot\text{с}}{1\text{К}} \right]$$

A diagram in the bottom-left corner shows a black shaded region representing a conductor. Three curved lines, representing equipotential lines, are drawn above the conductor. Three blue dots are placed on these lines, indicating that the potential is constant along each line.

Тізбектің бөлігі үшін кернеу потенциалдар айырмасына ғана тең.

# Тоқтың жұмысы және қуаты.

$A = I \cdot U \cdot \Delta t$  - тізбектің бөлігіндегі  $\Delta t$  уақытта атқарылған электр тоғының жұмысы.

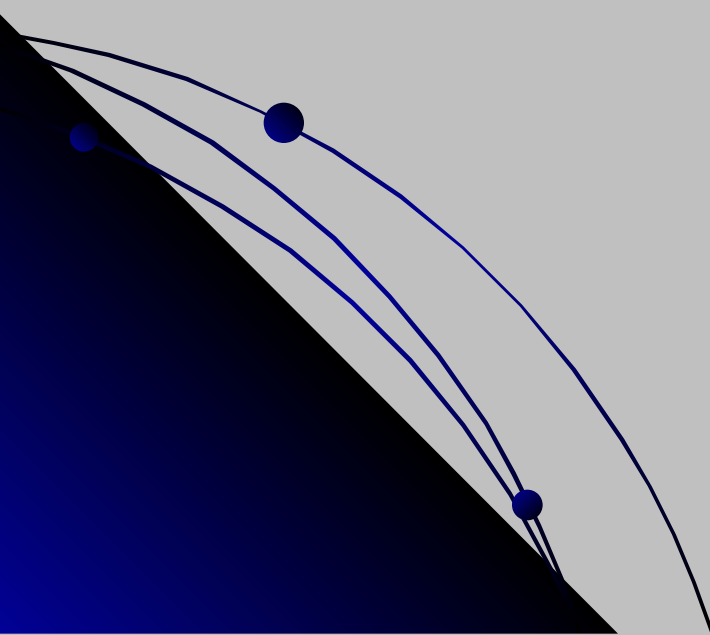
$P = \frac{A}{t} = I \cdot U$  - электр тогының қуаты.

$$P = I \cdot R = \frac{U^2}{R};$$

$P_0 = \frac{\varepsilon^2}{r + R}$  - тұйық тізбектегі қуат.

# Джоуль-Ленц заңы.

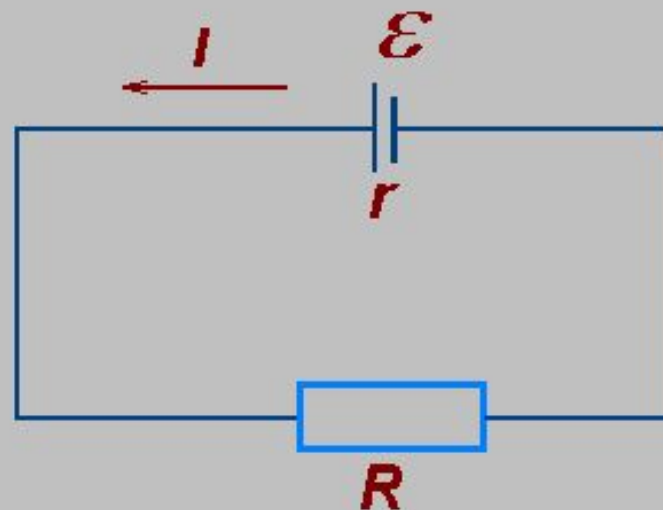
$Q = I^2 \cdot R \cdot \Delta t$ ; - ток жүрген кезде  $\Delta t$  уақыт аралығында өткізгіштің бойынан бөлінген жылу.


$$Q = I \cdot U \cdot t = \frac{U^2}{R};$$

# Тұйық тізбек үшін Ом заңы.

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r};$$

$$\varepsilon = IR + Ir;$$



$r$  - тоқ көзінің ішкі кедергісі,

$R$  - сыртқы тізбектің кедергісі.

$\varepsilon$  - Э.Қ.Қ.

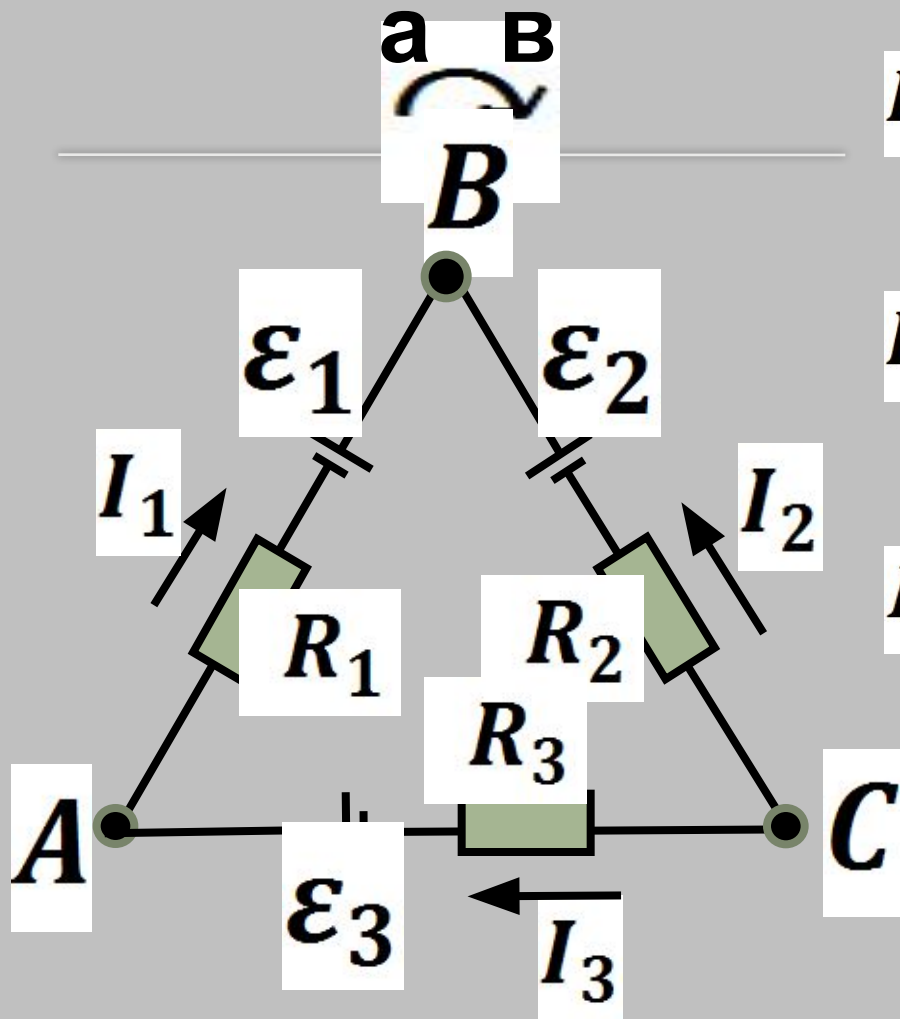
*Дифференциал түрдегі  
Ом заңы.*

$$j = \sigma \cdot E;$$



● **Тармақталған тізбек үшін Кирхгоф заңы.**

**Тармақталған тізбектің мысалы.**

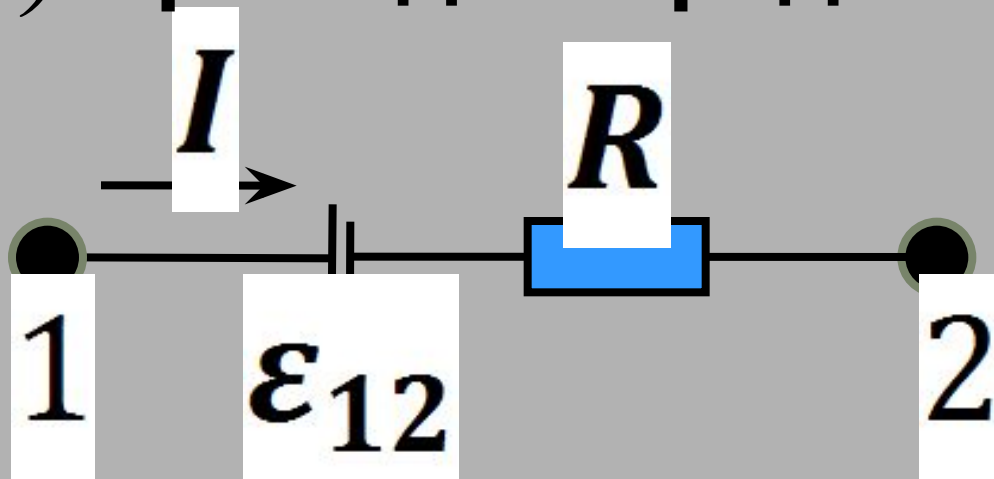


$E_1, E_2, E_3$  - Э.Қ.К. ТОҚ КӨЗІ.

$R_1, R_2, R_3$  - АКТИВТІ  
кедергі.

$I_1, I_2, I_3$  - тізбек  
бөлігінде  
гі тоқ  
күші

**Жалпыланған Ом заңы**  $IR = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}_{12}$   
кез-келген күрделі тізбекті өлшеуге  
(шешуге) мүмкіндік береді.



$\varphi_1, \varphi_2$  - нүкте потенциалдары  
“1” и “2”.

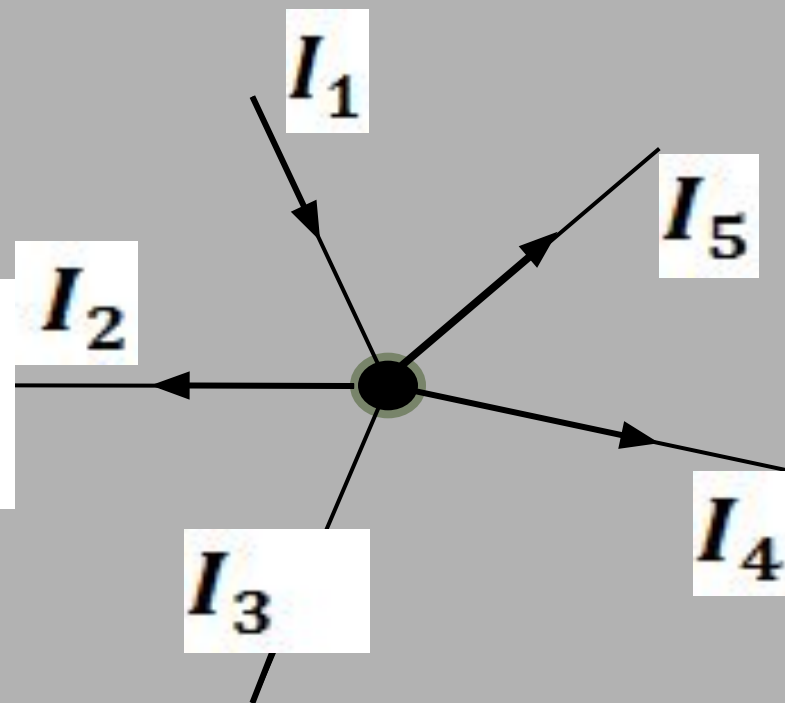
- **Кирхгофтың бірінші заңы:**  
түйін үшін тоқтардың  
алгебралық  
қосындысы нөлге тең.

$$\sum_k I_k = 0.$$

**Түйін**– тармақталған тізбектегі кез-келген нүкте, бұл нүкте кем дегенде 3 өткізгіш тоғы тұйықталады. Түйінге кіретін тоқ, оң тоқ күші, ал түйінмен шығатын тоқ теріс болады.

**Сурет үшін Кирхгофтың бірінші  
заңы  
келесі түрде жазылады:**

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0,$$



## **Кирхгофтың бірінші ережесі :**

**электр зарядының сақталу заңынан шығады. Қалыптасқан тұрақты тоқ жағдайында өткізгіштің ешбір нүктесінде және бөлігінде электр зарядтары жиналмауы тиіс.**

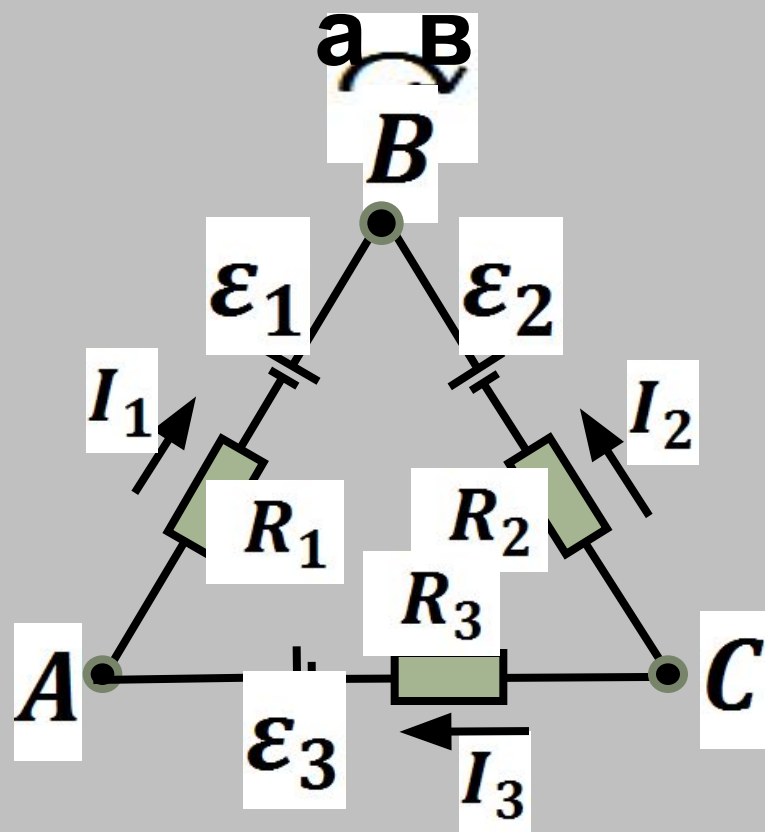
**Кері жағдайда тоқтар тұрақты болып қала алмаушы еді.**

## Кирхгофтың екінші ережесі:

тармақталған тізбек үшін жалпы Ом заңының салдарынан қорытылып

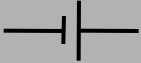
шығады.

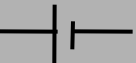
*Контурды бір нүктеден бастап әрі қарай сағат тілінің жүрісі бойында айналу керек; оның бағыты бағытталған тоқтарды*



**Біртекті емес тізбек бөлігі үшін Ом заңын 3 рет қолданамыз (бөліктері үшін AB, BC, CA).**

**Егер э.қ.к. ішінде контур айнымалы минус**

**плюске**   $\epsilon > 0$

**болса,**   $\epsilon < 0$

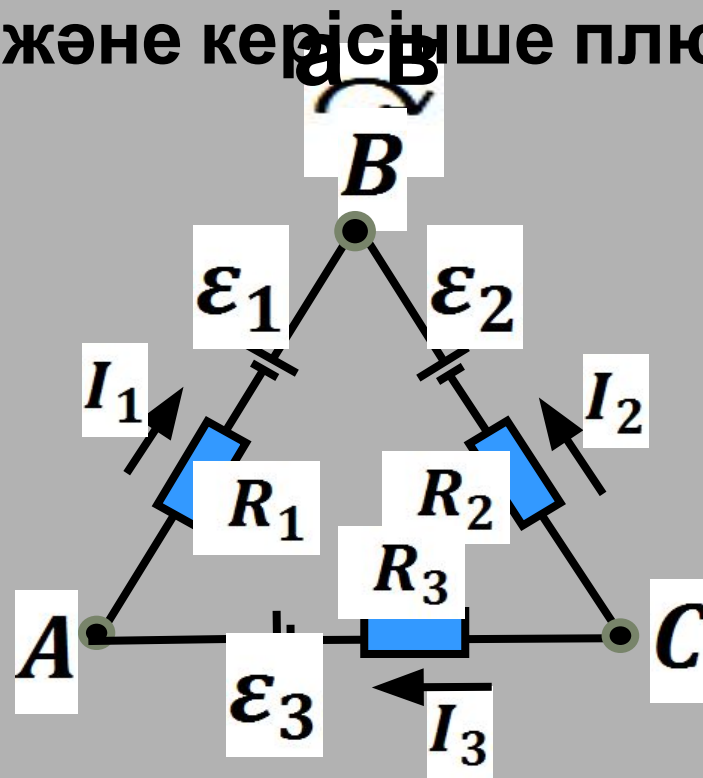
**минусқа**

**болса,  $(\varphi_1 - \varphi_2) = \epsilon_{12}$  онда**

**және керісінше плюстен**

**\***

$$\begin{cases} I_1 R_1 = \varphi_A - \varphi_B + \epsilon_1, \\ -I_2 R_2 = \varphi_B - \varphi_C - \epsilon_2, \\ I_3 R_3 = \varphi_C - \varphi_A + \epsilon_3. \end{cases}$$



Осы теңдеулерді мүшелерге жіктей отырып,  
мынаны аламыз

$$(*) \quad I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3. \quad (1)$$

☉ Өрнек (1) Кирхгофтың 2-ші ережесін білдіреді:  
кез-келген тұйықталған контурда, яғни  
кездейсоқ таңдалған тармақталған электр  
тізбегінде контурдың бөліктеріне сәйкес тоқ  
күштерінің  $I_i$  келергіге  $R_i$  туындасының  
алгебралық суммасы осы контурда кездесетін  
э.қ.к.  $\mathcal{E}_k$  –тің алгебралық суммасына тең.

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \mathcal{E}_k.$$



# Рекомендац

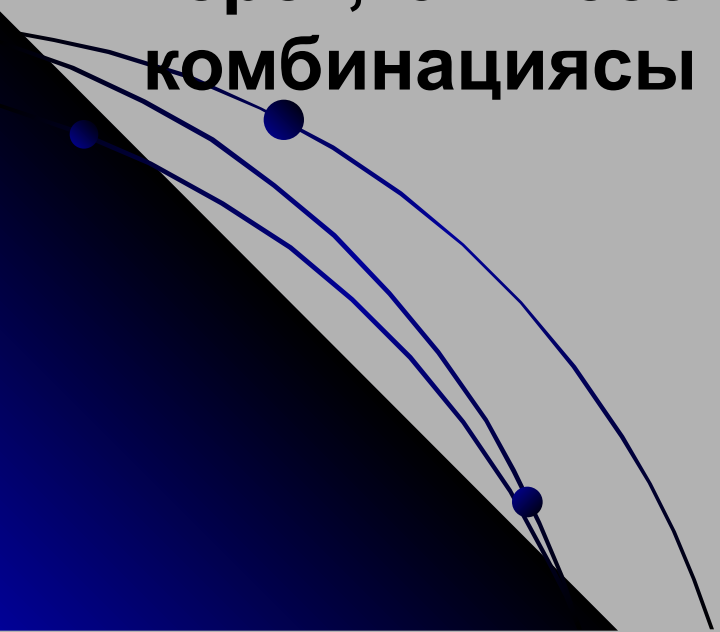
Барлық ~~ия~~<sup>1</sup> тізбек бөлігіндегі туынды ағытын таңдау; реалдық тоқтың бағыты есепті шешу кезінде анықталады: егер, ізделінетін ток оң болса, онда оныңбағыты дұрыс алынған, ал егер теріс болса – оның бастапқы бағыты таңдаған бағытқа қарама-қарсы болады.

## Рекомендация 2.

Контурды айналу бағытын таңдау және оны қатаң ұстану. IR туындысы оң болады, егер осы бөлігінде айналу бағытымен сәйкес келсе, және керісінше, таңдап алынған айналу бағытымен қозғалатын э. қ.к. оң, кері қозғалса – теріс болады.

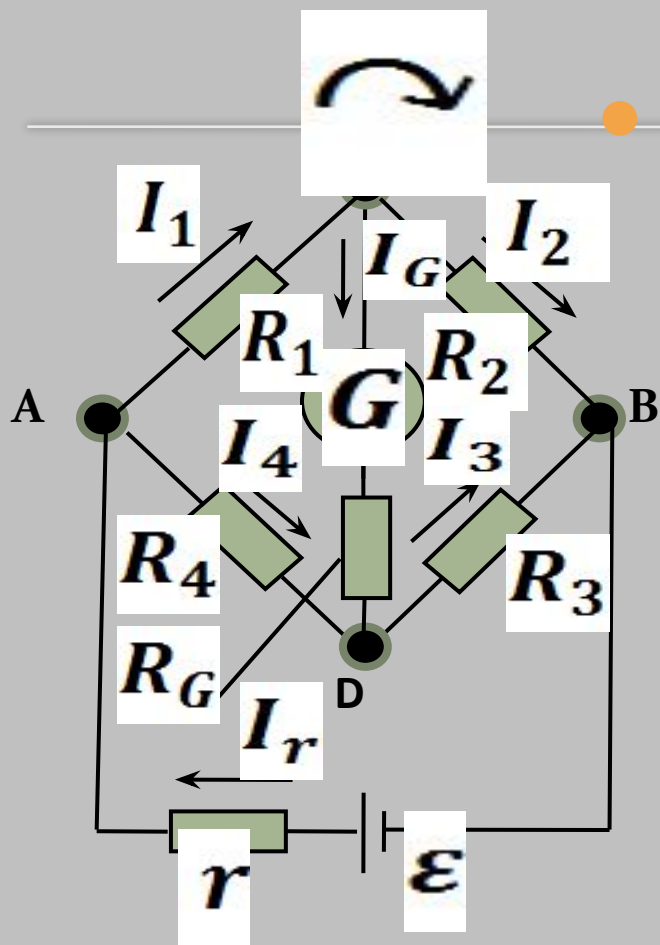
# Рекомендация 3.

Саны ізделінетін мәндердің санына тең болатындай теңдеулер жүйесін құру (теңдеулер жүйесіне тізбектің кедергілер мен э.қ.к. кіру керек); әрбір қарастырылып отырған контурға алдыңғы контурда болмаған ең болмағанда бір элемент кіру керек, әйтпесе құрылған теңдеулердің жай комбинациясы болатын теңдеу шығады.



# Уитсон көпірінің тізбегін есептеуге арналған Кирхгоф заңдарын қолдауға

**МЫСАЛ:**



- Өлшеуіш Уитсон көпірінің схемасын қарастырайық.

$R_1$   $R_2$   $R_3$   $R_4$  - кедергілері.

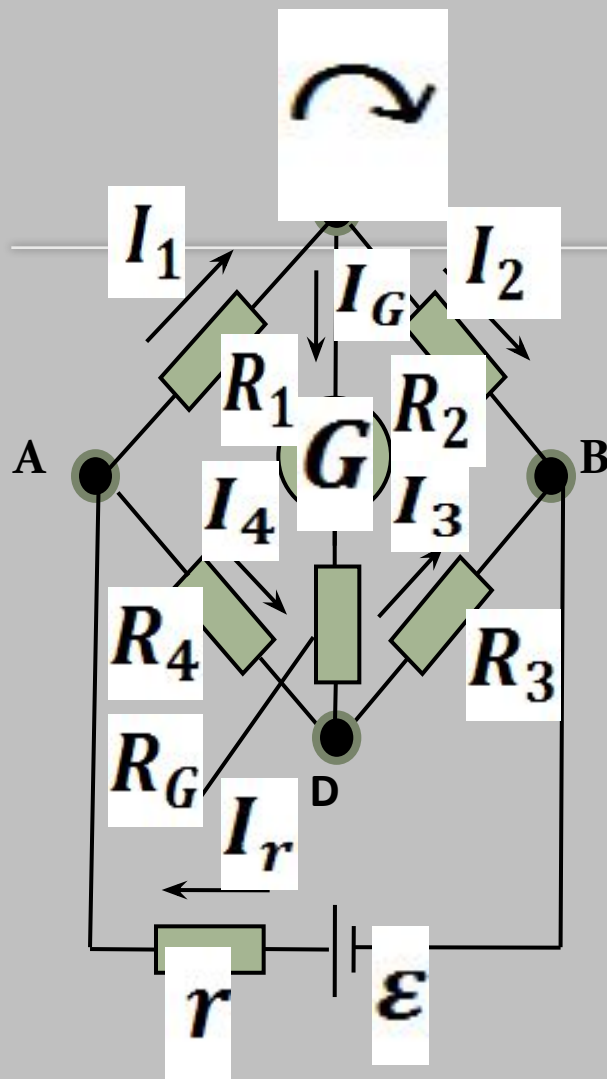
Көпірдің **A** және **B** нүктелерінің арасында э.қ.к.  $\mathcal{E}$  және кедергісі  $r$  болатын батарея қосылған, **C** және **D** нүктелерінің арасында  $R_G$  кедергісі гальванометр қосылған.

А , В, С түйіндеріне Кирхгофтың 1-заңын қолданып, табамыз:

**A**  $I_r - I_1 - I_4 = 0,$

**B**  $I_2 + I_3 - I_r = 0,$

**C**  $I_1 - I_2 - I_G = 0. \quad (2)$

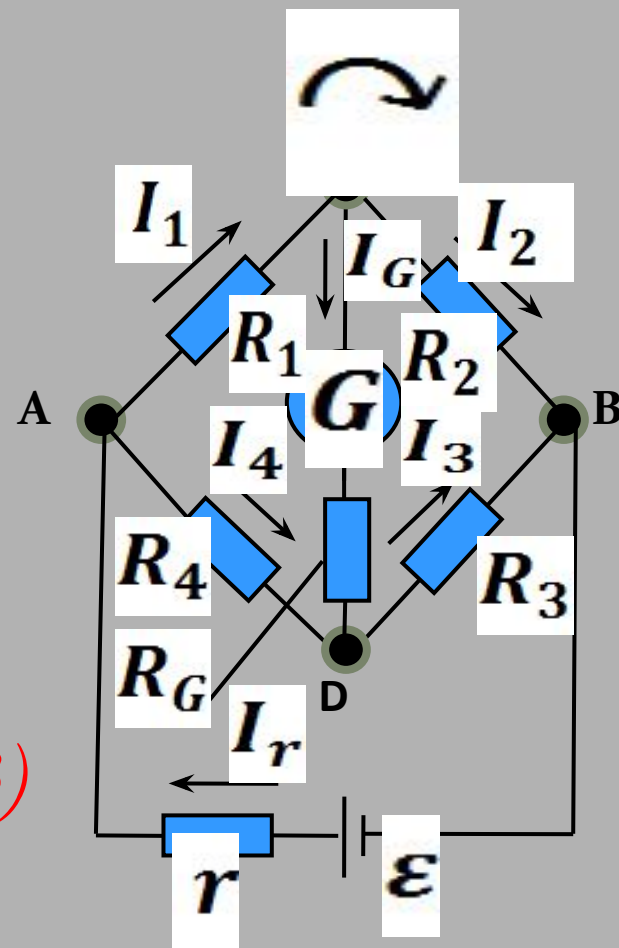


АВСА, АСДА және СВДС, контурлары үшін, Кирхгофтың 2-заңын қолданып, келесі түрде жазамыз:

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_r r = \varepsilon,$$

$$I_1 R_1 + I_G R_G - I_4 R_4 = 0,$$

$$I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_G R_G = 0. \quad (3)$$



Егер барлық кедергілер мен э.қ.к. Белгілі болса, онда алынған алты теңдеуді шеше отырып, белгілі тоқтарды табуға болады.

$R_2, R_3$  и  $R_4$  кедергілерді өзгерте отырып, гальванометрден өтетін тоқтың мәні нольге тең болатындай жасауға болады ( $I_G = 0$ ).

Онда (2)-ден табамыз,  $I_1 = I_2, I_3 = I_4, (4)$

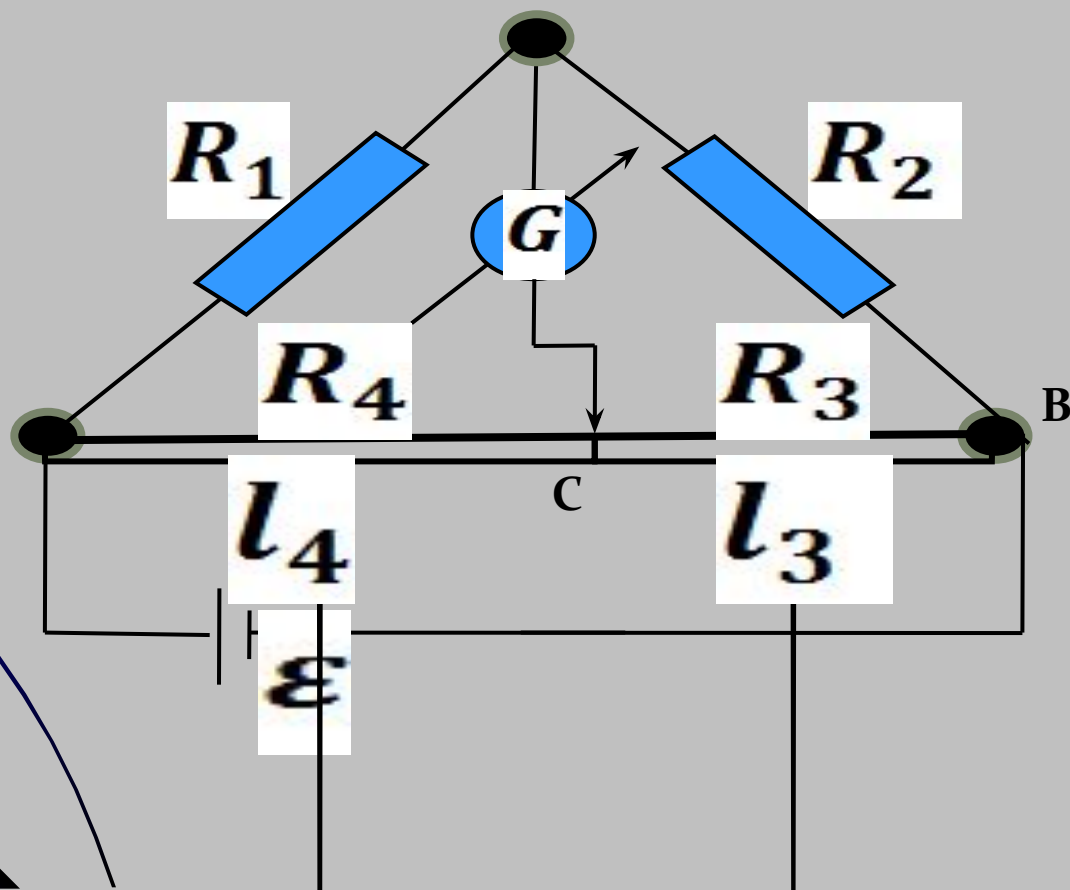
ал, (3)-тен табамыз,

$$I_1 R_1 = I_4 R_4, I_2 R_2 = I_3 R_3. (5)$$

(4) және (5) –тен шығады,

$$\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3}, \text{ немесе } R_1 = \frac{R_2 R_4}{R_3}. (6)$$

Қалыпты көпір жағдайында ( $I_G = 0$ ), батарея э.қ.к. –нің ізделінді  $R_1$  кедергіні анықтағанда, батареяның кедергісімен гальванометрдің ролі маңызды емес.





Әдетте практикада Уитстонның реохордты көпірі қолданады. Онда  $R_3$  жәт  $R_4$  кедергілері өз алдына кедергісі үлкен ұзын біртекті сым болады,

$R_3/R_4$  қатынас  $l_3/l_4$  қатынасымен ауыстыруға болады.

(6)-ны қоланып, жазуға болады:

$$R_1 = R_2 \frac{l_4}{l_3} \quad (7)$$

$l_3$  жән  $l_4$  ұзындықтарын шкала бойынша өлшеуге болады, ал  $R_2$  белгілі. Сондықтан (7) теңдеу белгілі  $R_1$  кедергіні табу үшін қолданылады.