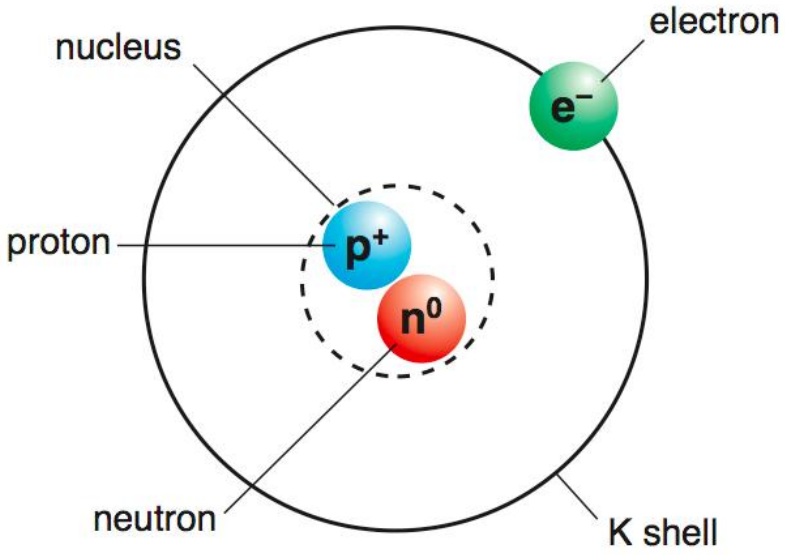
ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
Физика-техникалық факультеті

ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

Профессор Досболаев М.Қ.
merlan@physics.kz

Заттардағы электр өрісі

Микроөріс – кеңістік және уақыт бойынша кенет өзгеретін жекеленген зарядтар тудыратын өріс.



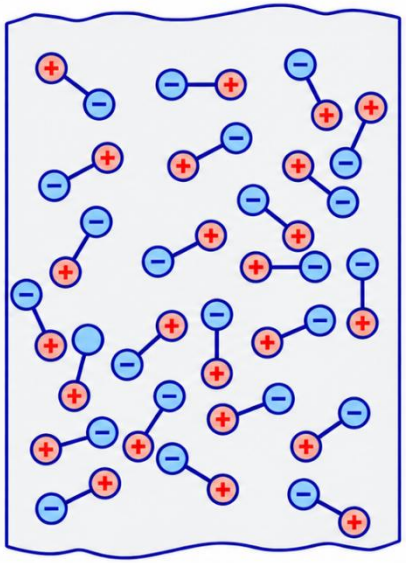
Макроөріс – кеңістік бойынша орташаланған микроөріс:

$$\vec{E} = \vec{E}_{\text{макро}} = \langle \vec{E}_{\text{микро}} \rangle \quad (49)$$

Орташалау кезінде алынатын ара қашықтықта өрістің лездік, дерек өзгерісі болмайды деп қарастырамыз.

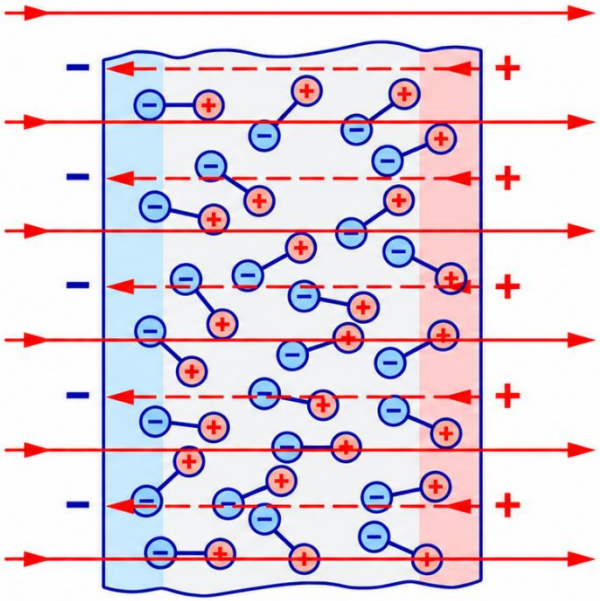
Заттардың өріске әсері. Электр статикалық индукция құбылысы

$\vec{E}_0 = 0$



32а сурет

$\vec{E}_0 \neq 0$

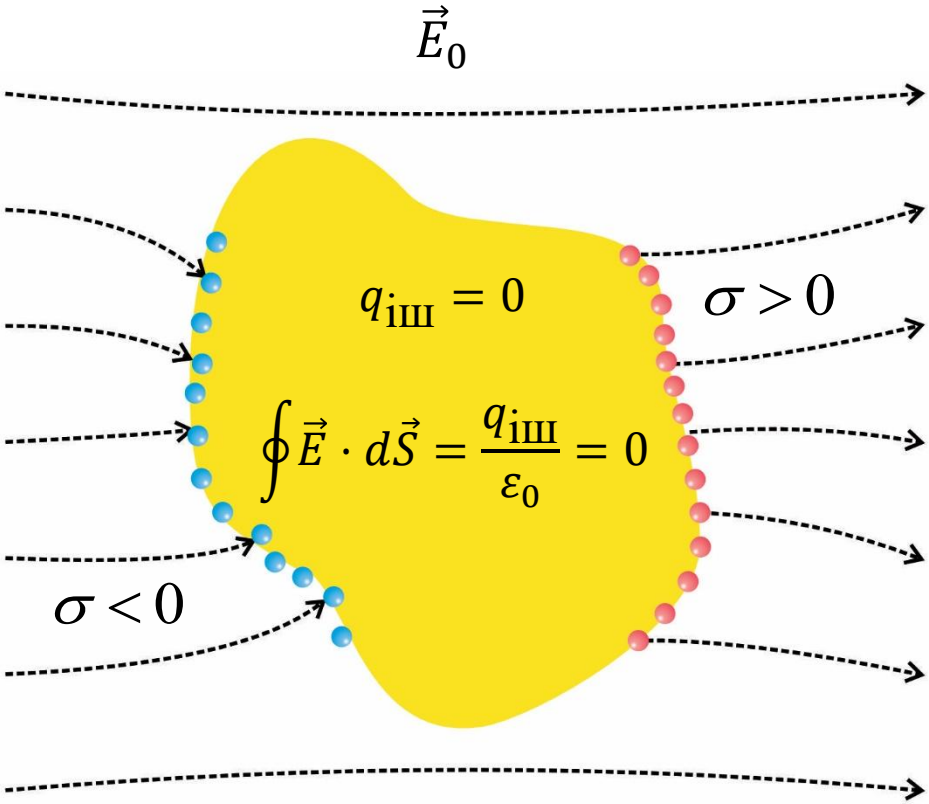


32ә сурет

$$\vec{E} = \vec{E}` + \vec{E}_0$$

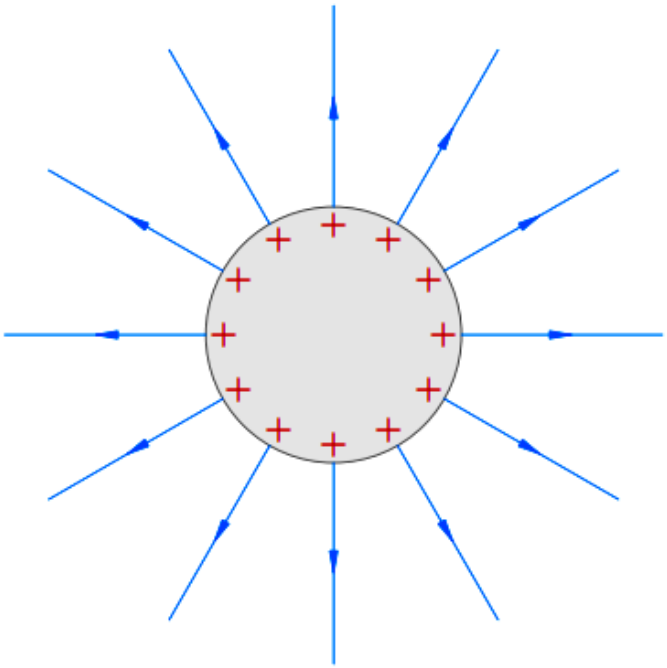
$\vec{E}`$ – индукцияланған зарядтар өрісі; $\vec{E}_0$ – сыртқы электр өрісі

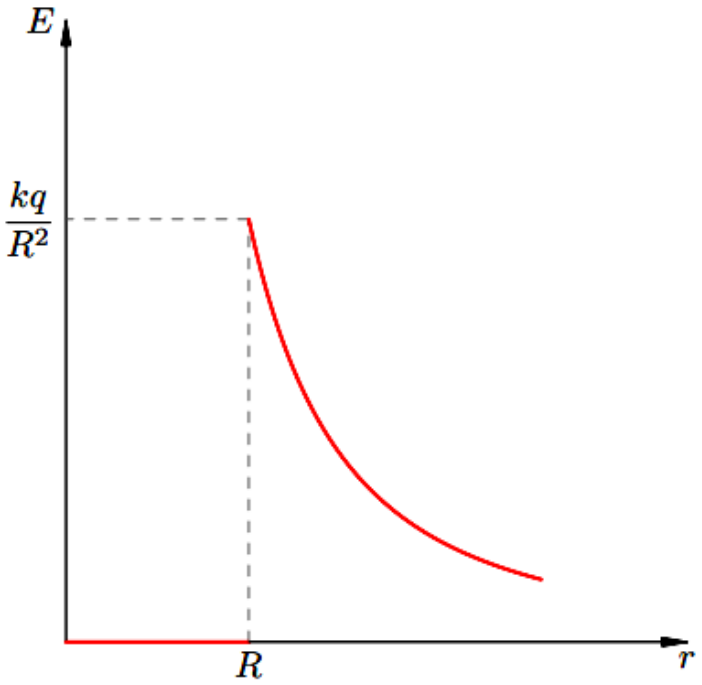
Электр өрісіндегі өткізгіш



$\vec{E}$ векторы $\vec{n}$ нормальмен бағыттас

Біркелкі зарядталған өткізгіш шардың өріс кернеулігі





$$E = \begin{cases} \dfrac{kq}{r^2}, & \text{егер } r \geq R; \\ 0, & \text{егер } r < R. \end{cases}$$

Біркелкі зарядталған өткізгіш сфераның өріс кернеулігі

$$\sigma = 10^{-9}\ \text{Кл}/\text{м}^2;\ R = 20\,\text{см};\ r_2 = 36\ \text{см}$$

$$\sigma = \frac{q}{S} \rightarrow q = S\sigma$$

$$S = 4\pi R^2$$

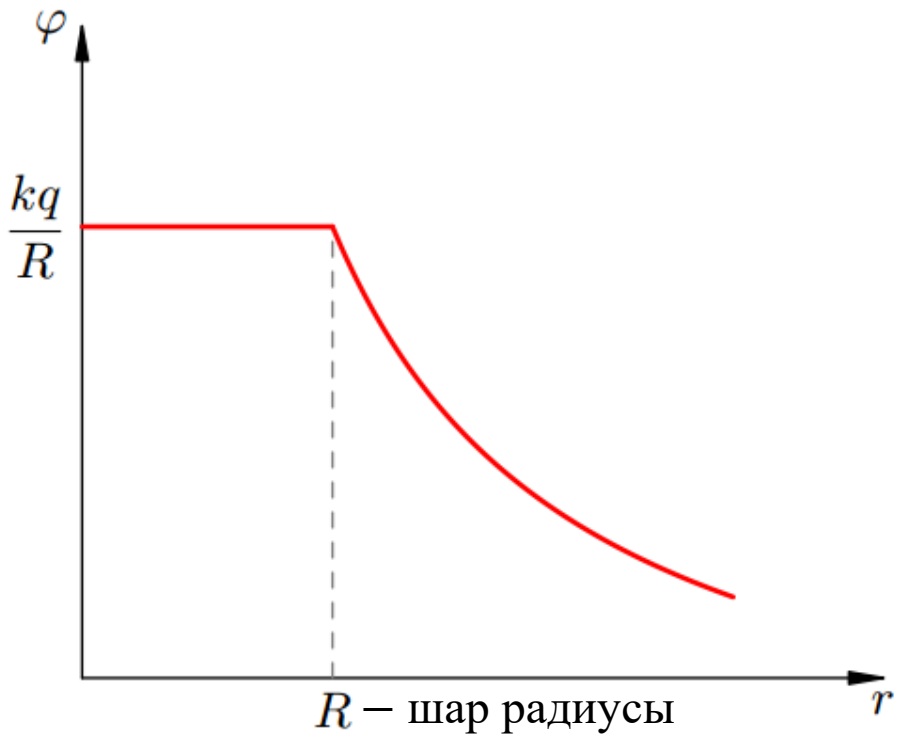
$r = R$ Сфераның бетінде

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{q}{R^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{4\pi R^2\sigma}{R^2} = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} = 133\ \text{В}/\text{м}$$

$r = r_2$ Сфераның бетінен қашықта

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{q}{r_2^2} = \frac{R^2\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0 r_2^2} = 34{,}5\ \text{В}/\text{м}$$

Біркелкі зарядталған өткізгіш шардың потенциалы



$$\varphi = \begin{cases} \dfrac{kq}{r}, & егер\ r \geq R; \\ \dfrac{kq}{R}, & егер\ r < R. \end{cases}$$

$$\vec{E} = 0 \qquad \vec{E} = -\nabla\varphi \qquad \nabla\varphi = 0 \qquad \varphi = const$$

Электр өрісіндегі өткізгіш эквипотенциал болады

И.В. Яковлев

Біркелкі зарядталған өткізгіш сфераның потенциалы

$$\sigma = 10^{-9}\ \text{Кл}/\text{м}^2;\ R = 20\,\text{см};\ r_2 = 36\ \text{см}$$

$$\sigma = \frac{q}{S} \rightarrow q = S\sigma$$

$$S = 4\pi R^2$$

$r = R$ Сфераның бетінде

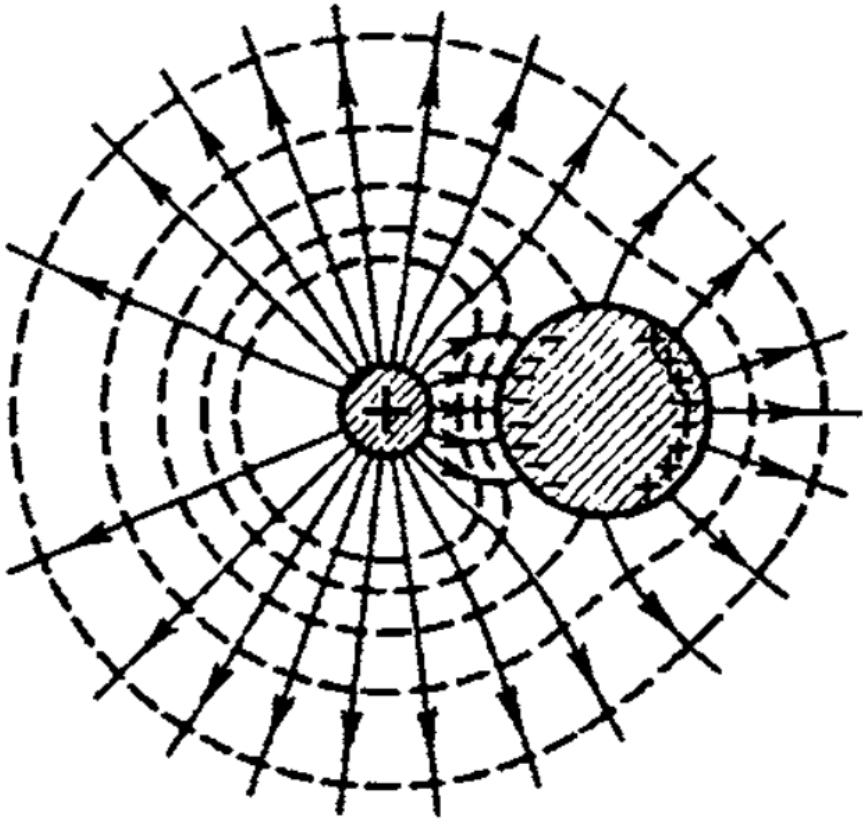
$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{q}{R} = \frac{\sigma R}{\varepsilon\varepsilon_0} \approx 22{,}6\ \text{В}$$

$r = r_2$ Сфераның бетінен қашықта

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{q}{r_2} = \frac{R^2\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0 r_2} = 12{,}42\ \text{В}$$

R – шар радиусы

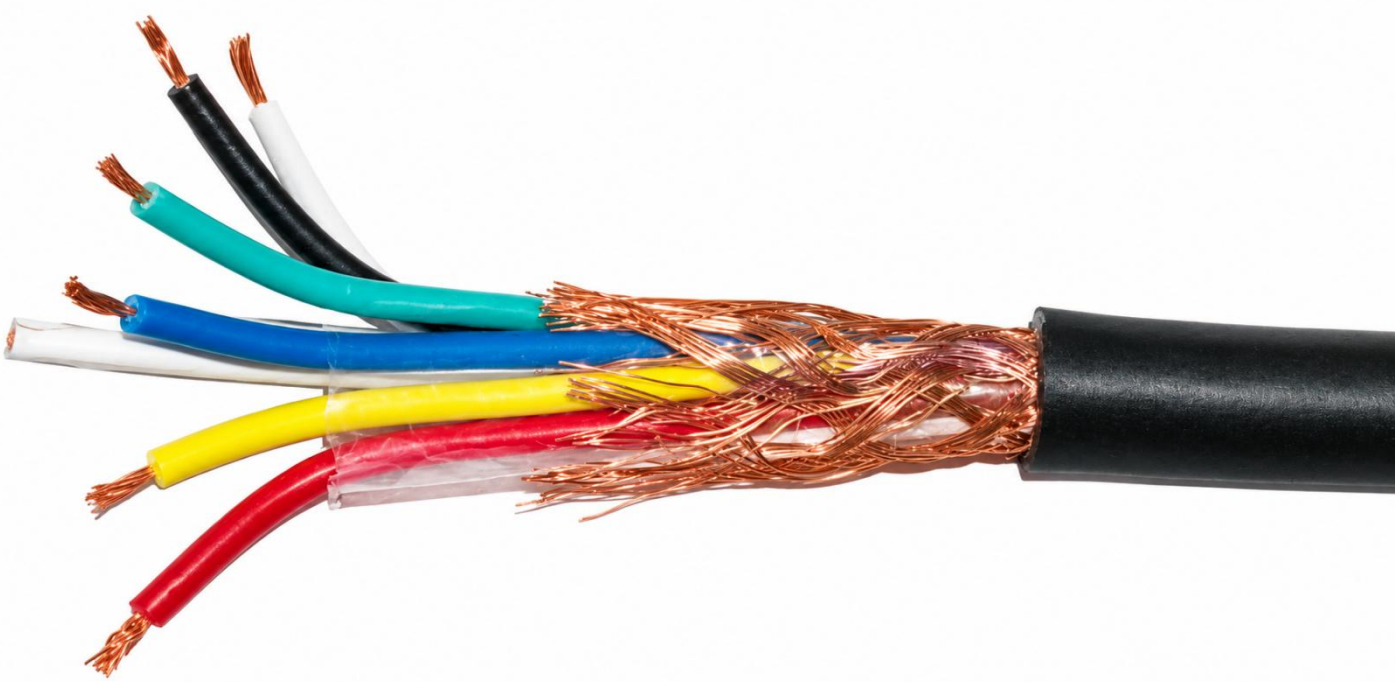
Өткізгіш дене өрістің және потенциалдың кеңістіктік бұрмалануына әкеледі



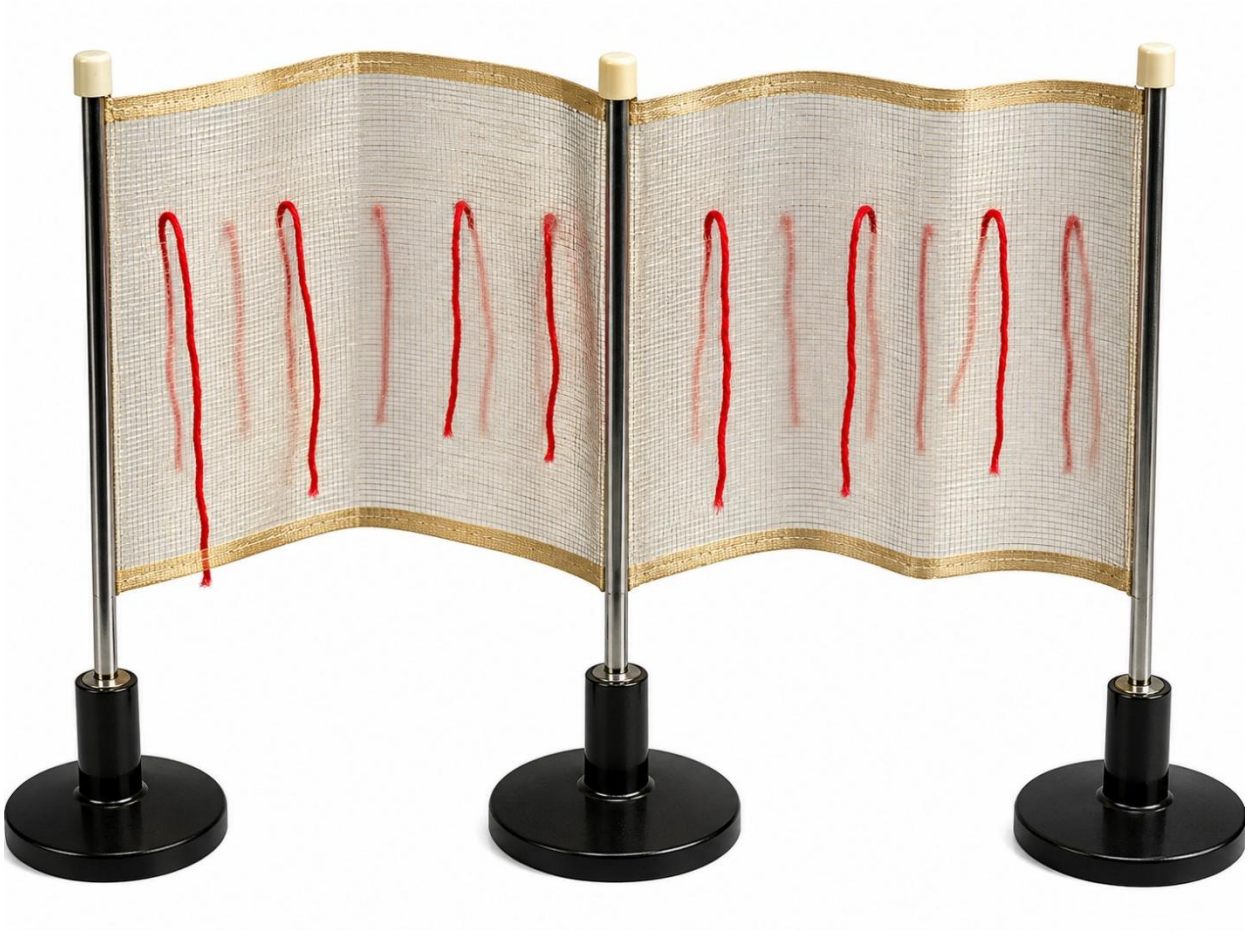
Фарадей торы (1836). Электр статикалық сауыт



Электр статикалық қорған



Кольбе торы



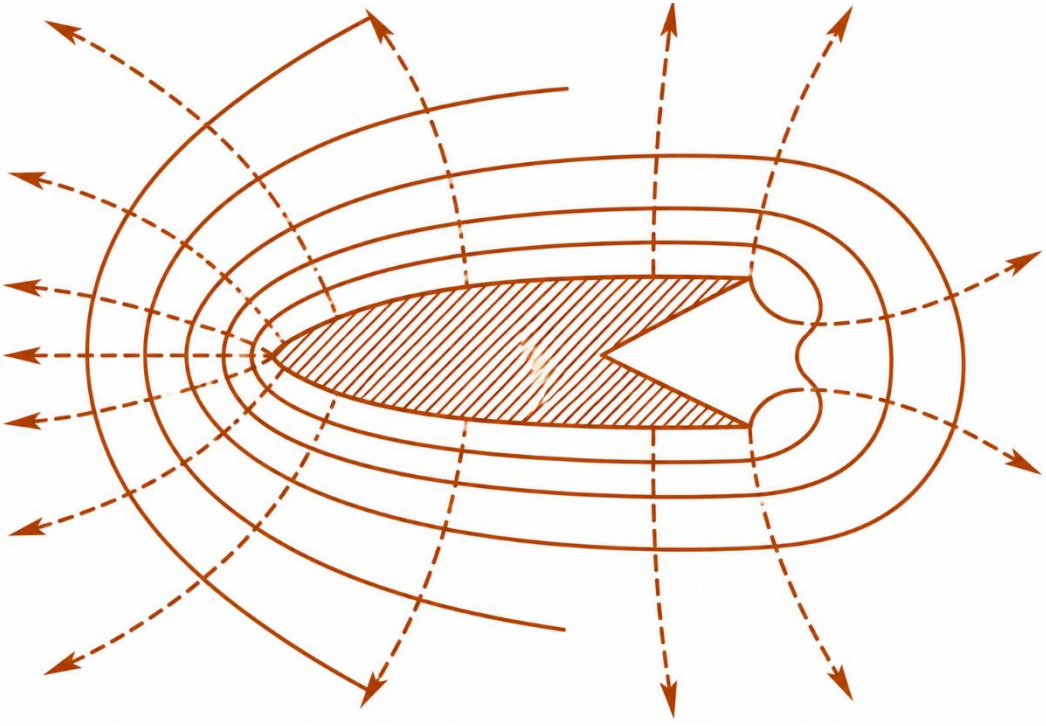
Өткізгіш бетіндегі зарядтардың таралуы

$$-\mathrm{d}\varphi = \vec{E}\mathrm{d}\vec{l}\ (43)$$

$$E_n = -\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}n}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

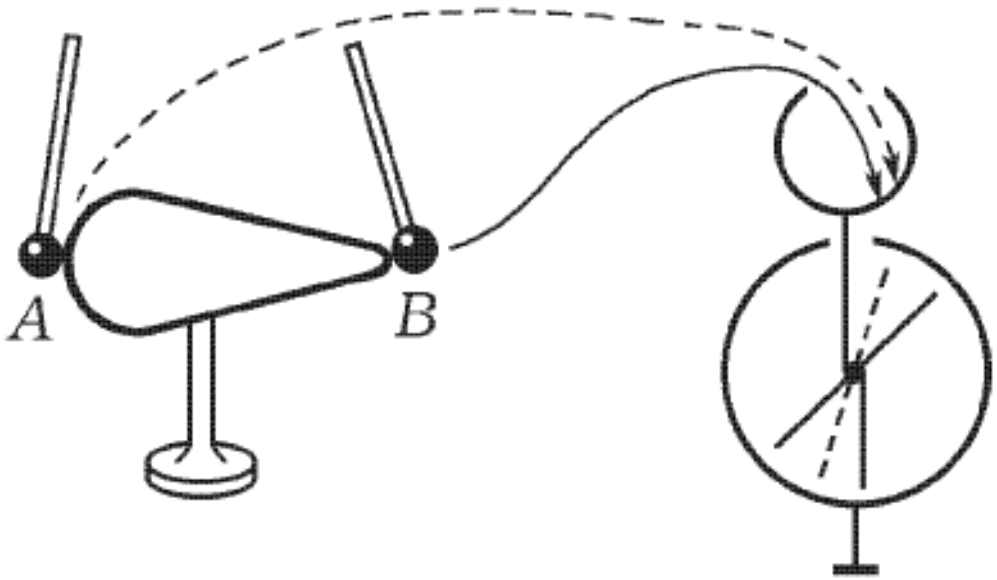
$$\sigma = -\varepsilon_0 \frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}n}$$



Сонымен, компенсацияланбаған зарядтар өткізгіш бетінің формасына тәуелді ол жерлерде әртүрлі тығыздықпен шоғырланады, сәйкесінше ол маңдағы электр өрісі кернеулігінің таралуыда. Беттің дөңес және ойыс жағында зарядтардың тығыздығы сәйкесінше максимум және минимум мәндерге ие болады.

Д.В. Сивухин. 2004. Т3. 43 бет., А.А. Детлаф. 2002. 218 бет.

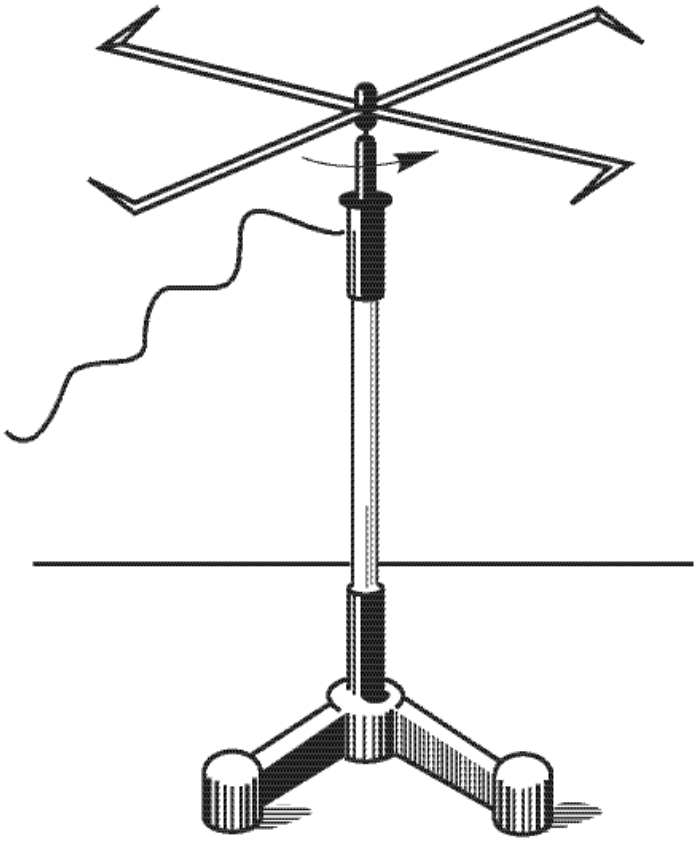
Өткізгіш бетіндегі зарядтардың таралуы



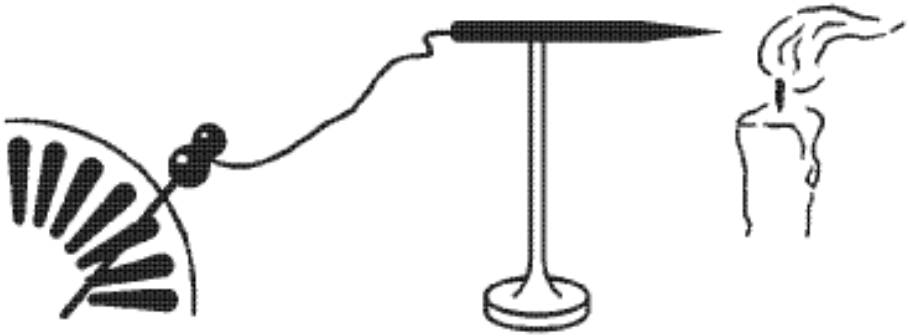
Өткізгіш бетінде электр зарядтары біркелкі таралмаған. Ұшты (сүйір) жерінде зарядтар тығыздығы жоғары.

Калашников. 2003. 48 бет.

Франклин қаңғалағы (1746). Ионды жел

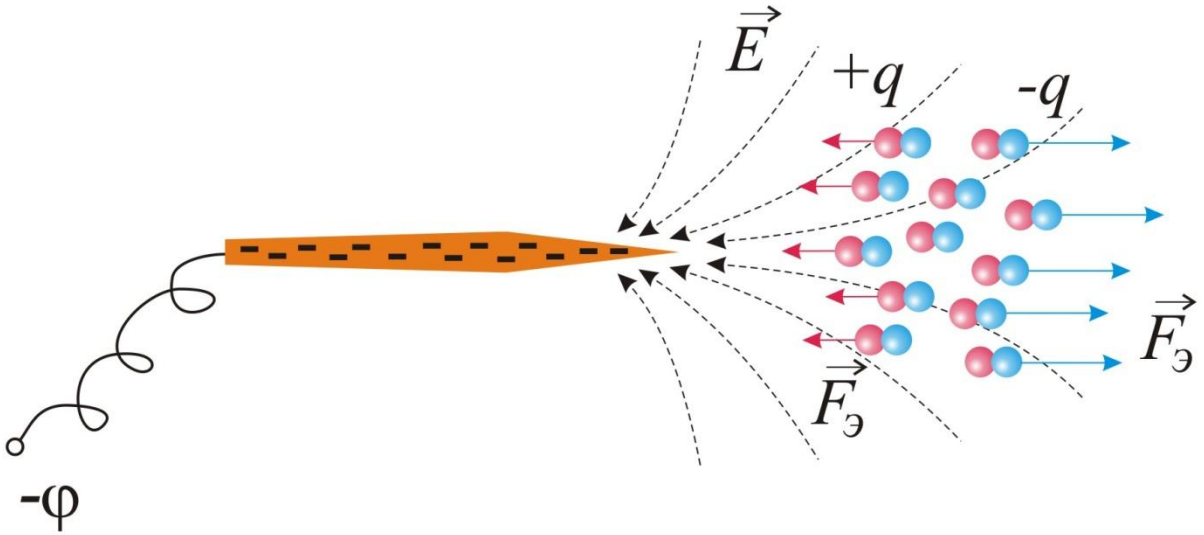


Өріс кернеулігі жоғары болғанда өткізгіштің ұшты жерінде зарядтар ағыны (ионды жел) туады



Электрфор машинасы

Күшті электр өрісі әсерінен молекулалардың ыдырауы (атомдардың иондалуы)



А.А. Детлаф. 2002. 218 бет.

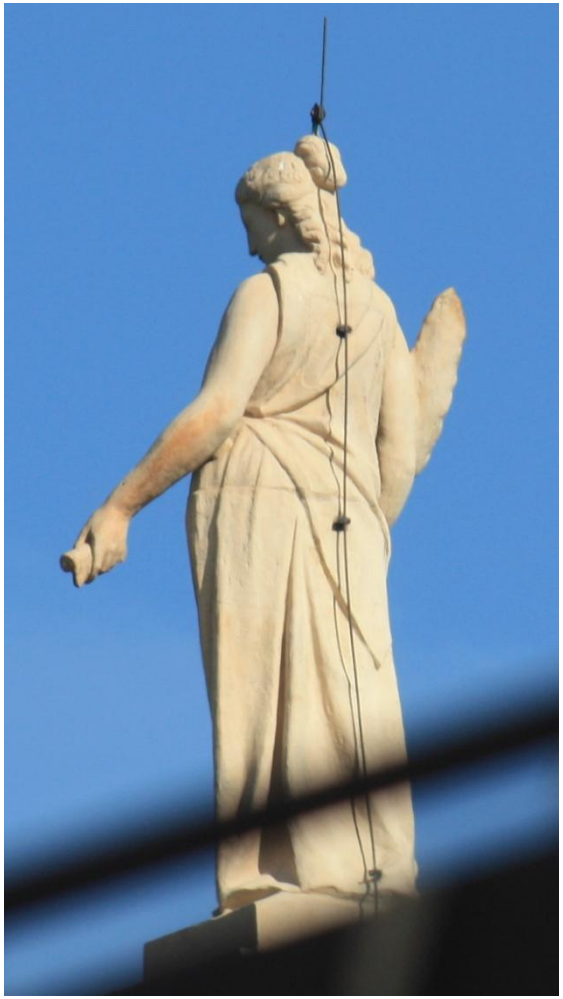
Құдыретті Эльма оттары (E≤500 В/м)



Д.В. Сивухин. Электричество

Найзағай кезінде $E \approx 3 \cdot 10^6$ В/м



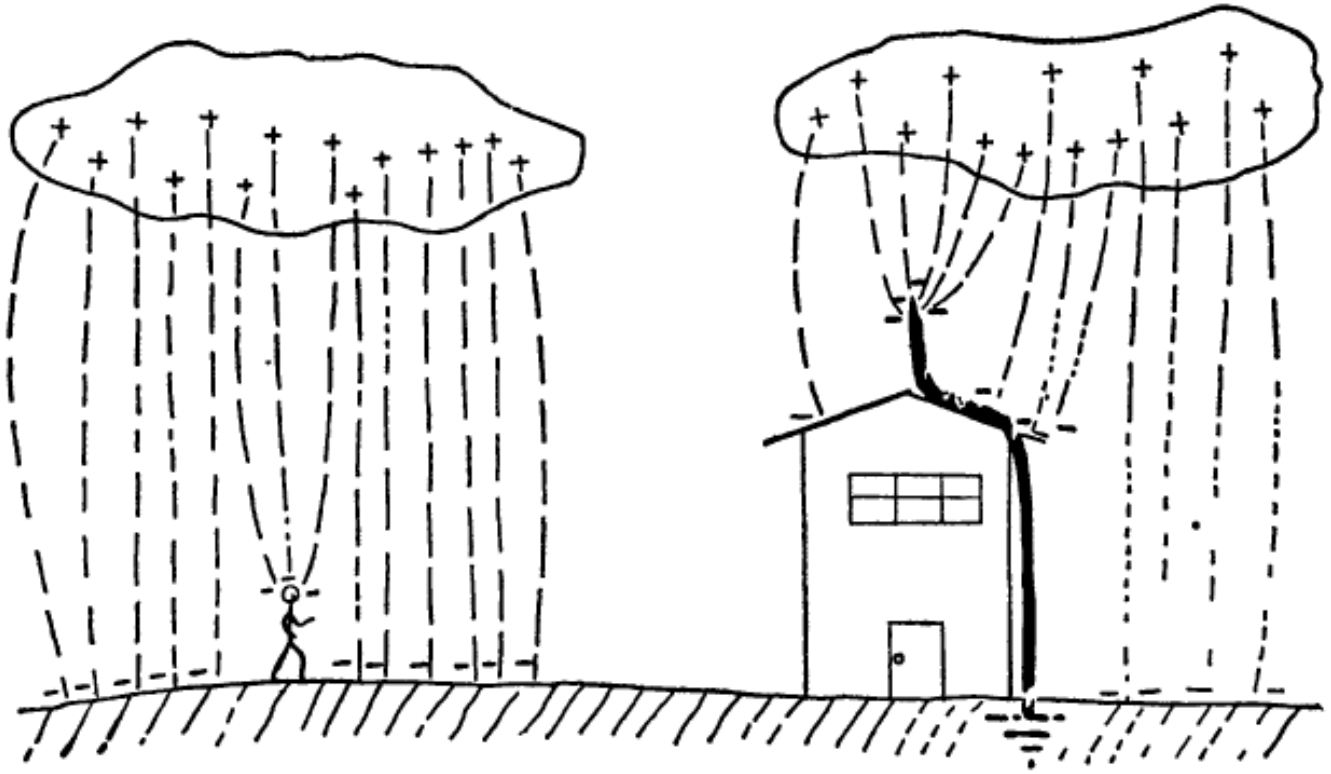


Ұшақ қанаттарындағы разрядтағыштар



Д.В. Сивухин. Электричество

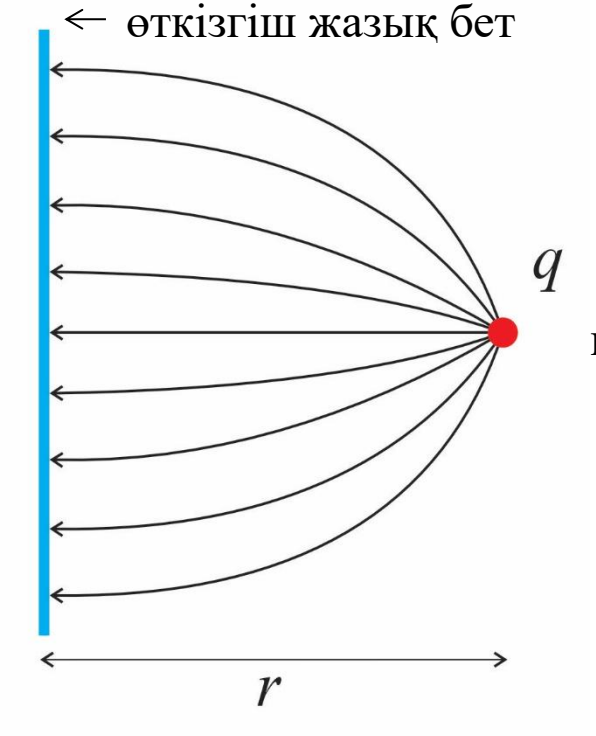
Өткізгіш бетіндегі зарядтардың таралуы



33а сурет *33ә сурет*

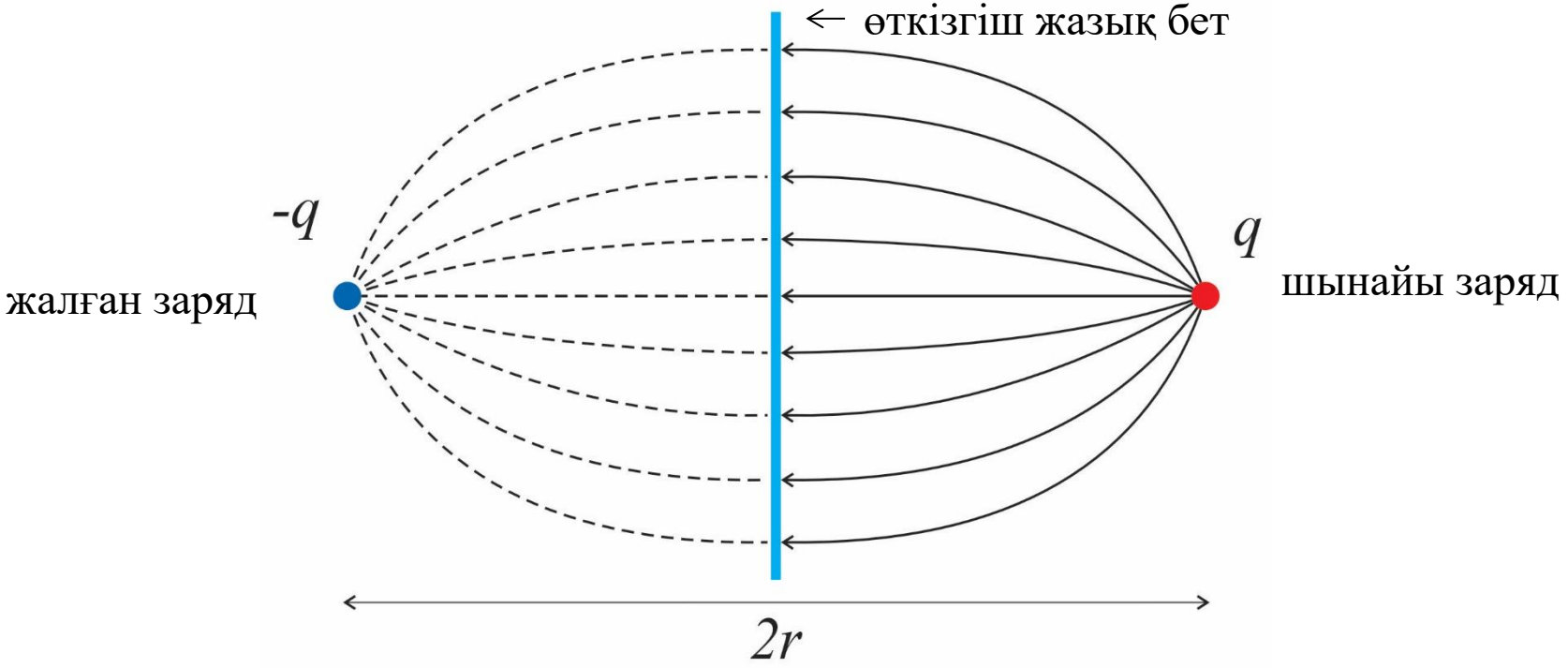
Эрик Роджерс

Электр статикадағы айналық кескін әдісі



$+q$ нүктелік заряд потенциалы нөлге тең шексіз өткізгіш жазықтықтан r қашықтықта орналассын. $+q$ зарядының әсерінен жазық өткізгіштің заряд жақ бетінде индукцияланған қорытқы заряд теріс таңбалы ($-q$), және оның беттік таралуы бар. $+q$ нүктелік заряд бетке тартылатыны белгілі. Тарту күшінің шамасы $\frac{kq^2}{r^2}$ мәнінен аз, өйткені теріс заряд бір нүктеде шоғырланбаған.

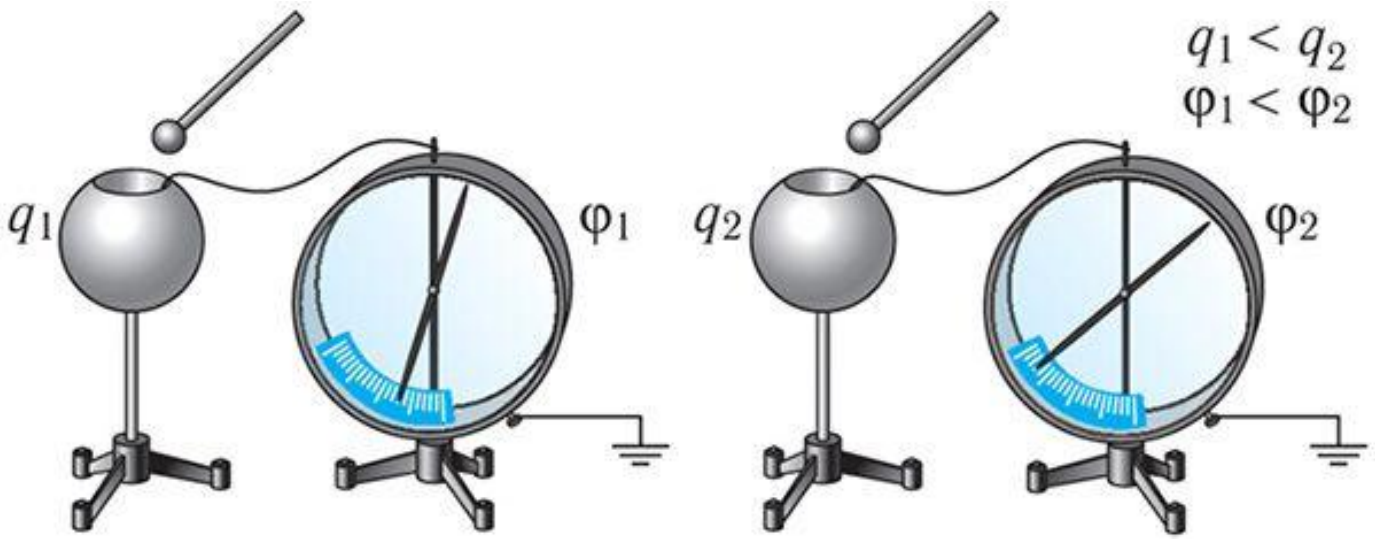
Электр статикадағы айналық кескін әдісі



Екі нүктелік заряд кезінде эквипотенциалдық беттердің бірі зарядтарды қосатын және оны екіге бөлетін кесіндіге перпендикуляр жазықтық, яғни металл жазықтығымен бір жерде орналасқан. Бұл жазықтықтың кез келген нүктесінің потенциалы нөлге тең. Екі жағдайда да (шынайы заряд жоқ және бар кез) $+q$ зарядының жанындағы өріс бірдей. Өріс бірдей болғандықтан $+q$ зарядқа әсер ететін күштер екі жағдайда да бірдей болады. Демек, әсер етуші күш келесі өрнекпен анықталады:

$$F = k\frac{q^2}{(2r)^2} = k\frac{q^2}{4r^2}$$

Оқшауланған өткізгіштің электр сыйымдылығы



$$\varphi = k\frac{q}{r} \qquad \frac{q_1}{\varphi_1} = \frac{q_2}{\varphi_2} = \frac{q_3}{\varphi_3} = \cdots = \frac{q_n}{\varphi_n} = const \qquad C = \frac{q}{\varphi}\left[\Phi = \frac{Кл}{В}\right] \quad (50)$$

C – өлшем мен пішінге тәуелді пропорционалдық коэффициент немесе электр сыйымдылығы

Сыйымдылықтың өлшем бірлігі ретінде 1 Кл заряд бергенде потенциалы 1 В-қа өзгеретін өткізгіштің сыйымдылығы алынады. 1 фарад [Ф] сыйымдылыққа радиусы 9 млн. км болатын оқшауланған шар ие болады.

Электр сыйымдылығы

Біркелкі зарядталған шардың потенциалы (нүктелік зарядтікіндей):

$$\varphi = \int_R^\infty E_r dr = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_R^\infty \frac{q}{r^2} dr = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R} \quad \Rightarrow \quad C = \frac{q}{\varphi}$$



Зарядталған шардың сыйымдылығы:

$$C = 4\pi\varepsilon_0 R \qquad (51)$$

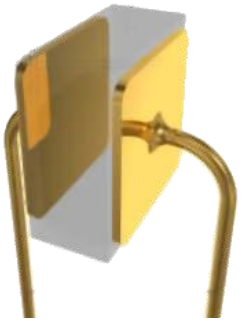
Конденсатор

Егер оқшауланған өткізгішке екінші бір өткізгішті жақындататын болсақ, онда ондай жүйенің сыйымдылығы артады. Өйткені, жақындап келген өткізгіш өзінің айналасында орналасқан денелердегі зарядтарды индукциялайды.

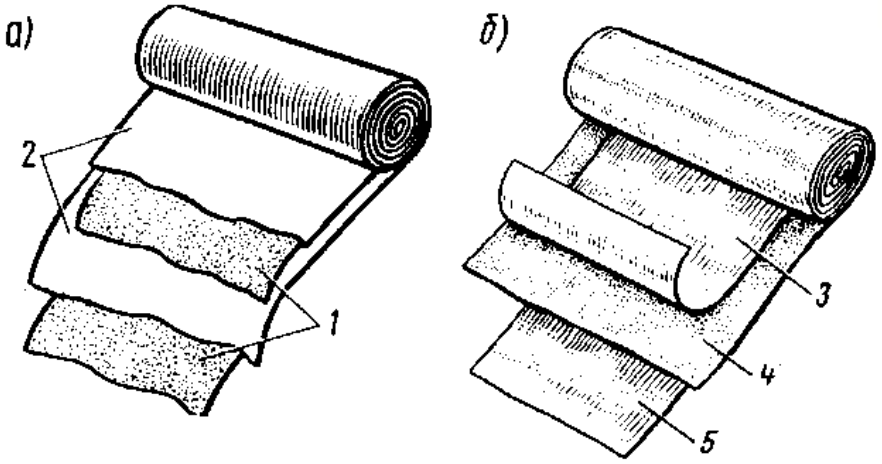
$$C - \frac{q}{\varphi_2 - \varphi_1} = \frac{q}{U}$$

$$q_1 = C_{11}\varphi_1 + C_{12}\varphi_2;$$

$$q_2 = C_{21}\varphi_1 + C_{22}\varphi_2$$



34 сурет



35 сурет

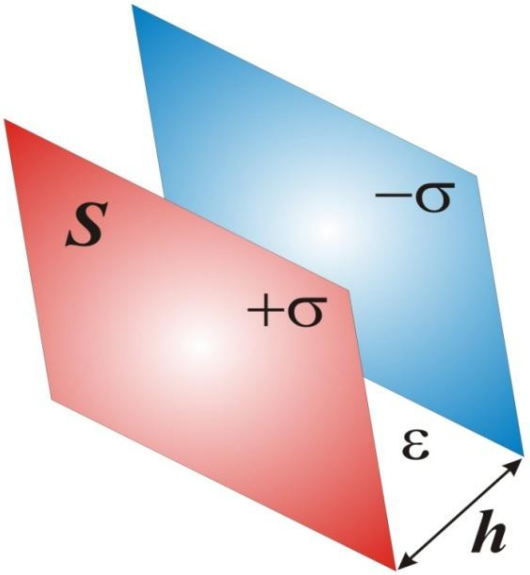


36 сурет

Жазық конденсатор

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} - \textit{конденсаторда шоғырланған электр өрісі}$$

$$\sigma = \frac{q}{S} - \textit{беттік заряд тығыздығы}$$



$$U = Eh = \frac{qh}{\varepsilon\varepsilon_0 S}$$

$$C = \frac{q}{U}$$

$$C = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{S}{h} \quad (52)$$

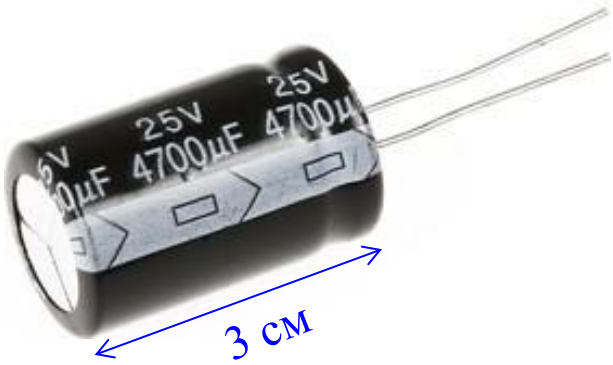
ε – ортаның салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі (Ауа (вакуум) = 1; Шыны = 5-15; Керамика = 10-200; $BaTiO_3$ = 2000)

Электр сыйымдылығы

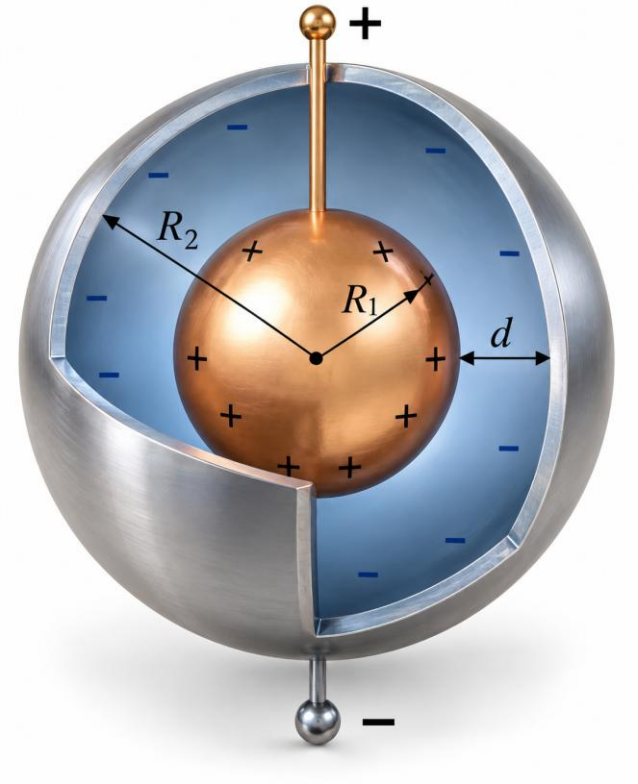


$$C_{жер} = 700 \text{ мкФ}$$

$$C = 4700 \text{ мкФ}$$

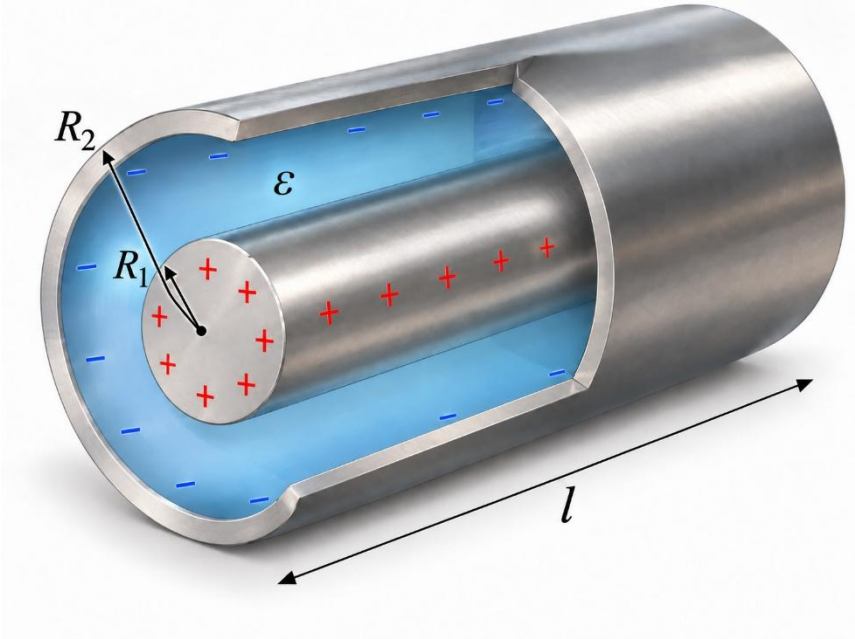


Сфералық конденсатор



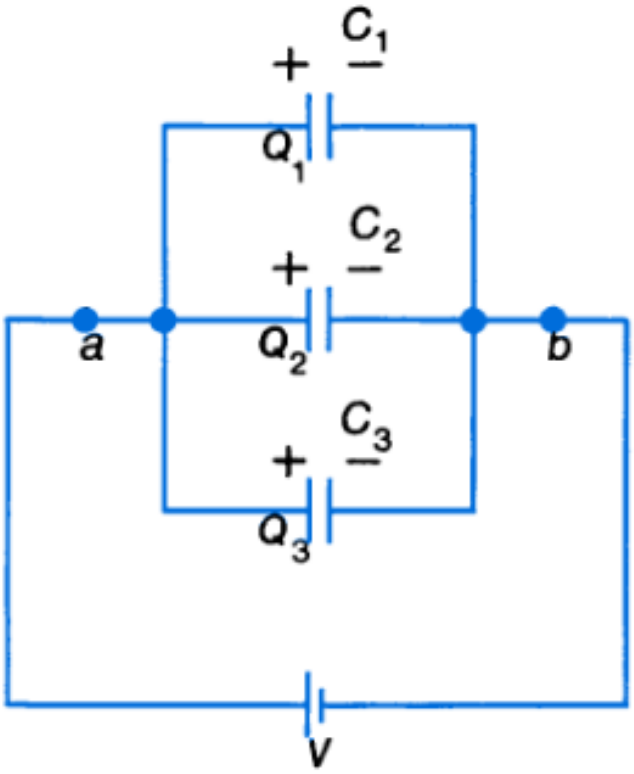
$$C_c = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 \frac{R_2 R_1}{R_2 - R_1}$$

Цилиндрлік конденсатор



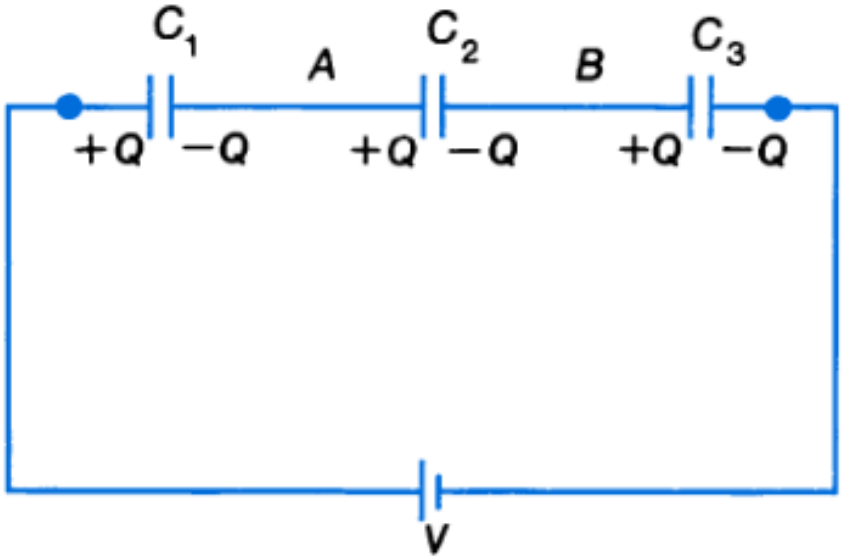
$$C_ц = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 l}{\ln(R_2 / R_1)}$$

Конденсаторларды өзара жалғау



а $C = C_1 + C_2 + C_3$

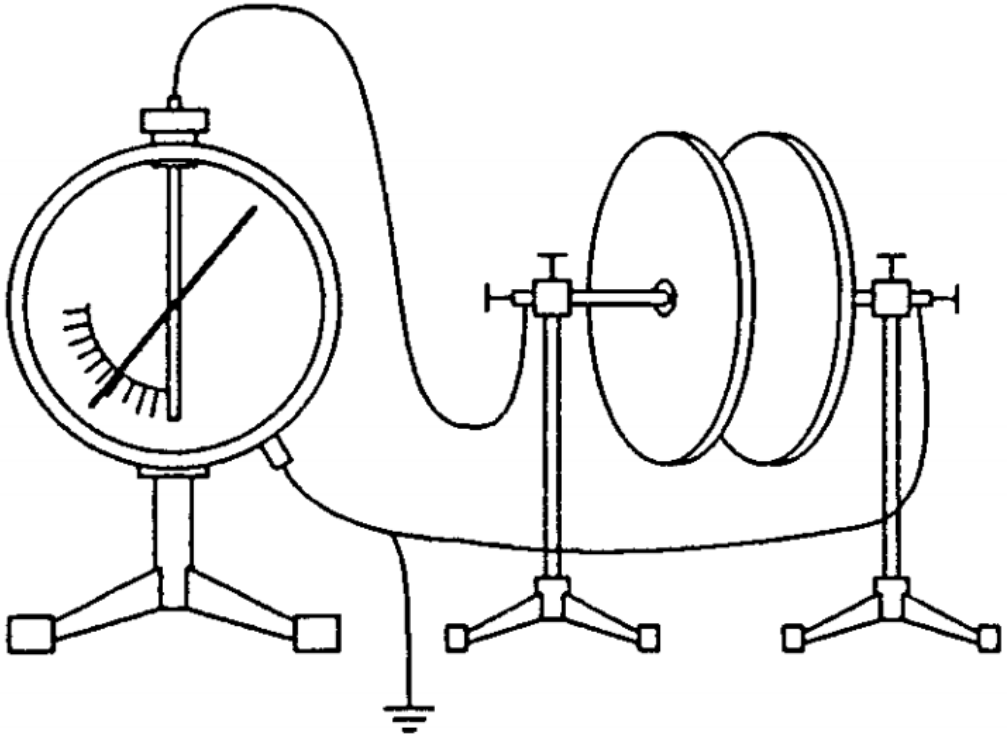
$U = \text{const}$



б $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$

$U = U_1 + U_2 + U_3$

Демонстрациялық эксперимент



$$\varepsilon\varepsilon_0 \frac{S}{h} = C = \frac{q}{U}$$

Суретте көрсетілгендей электр тізбегін жинап сол жақ пластинаны зарядтаймыз, және осы кезде электроскоп тілінің қандайда бір бұрышқа ауытқығанын көреміз. Енді, пластиналарды бір-бірінен алшақтатсақ электроскоп тілінің ауытқу бұрышы өседі. Себебі бұл кезде конденсатор сыйымдылығы төмендейді, сәйкесінше пластиналардағы потенциалдар айырымы өседі. Пластиналарды бір-біріне жақын орналастырып араларына диэлектрик (шыны, эбонит) енгізсек электроскоп тілінің ауытқу бұрышының азайғанын байқаймыз, демек конденсатор сыйымдылығы өсті.

Айнымалы конденсатор

