ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
Физика-техникалық факультеті

ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

Профессор Досболаев Мерлан Қылышұлы
merlan@physics.kz

Электр және магнетизм

Классикалық электр динамикасы – зарядтардың немесе зарядталған денелердің бір-бірімен қашықтан әсерлесуін қамтамасыз ететін электр магниттік өрістің қасиеттерін, және ол жердегі заңдылықтарды зерттейтін физика бөлімі.

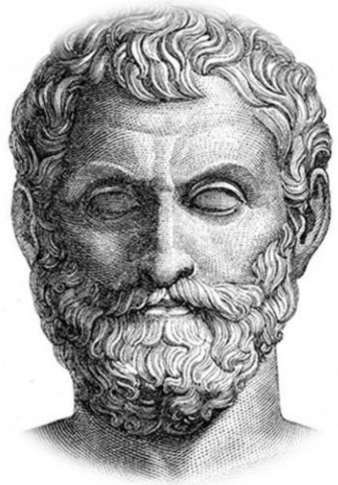
Электр магниттік өріс өзара тығыз байланыстағы электрлік және магниттік өрістерден құралған.

Электр және магнетизм

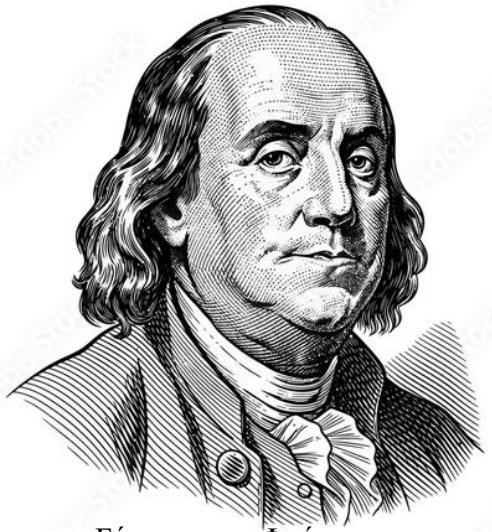
Электрстатика – қозғалыссыз зарядтардың бір-бірімен әсерлесуін және тұрақты электр өрісінің қасиеттерін зерттейтін электр динамикасының бөлімі.

Тек осы жағдайда электр өрісін магниттік өрістен жеке ажыратып қарастыруға болады, көптеген жағдайда электрлік және магниттік өрістер, электр магниттік өріс болып тұтас түрде кездеседі.

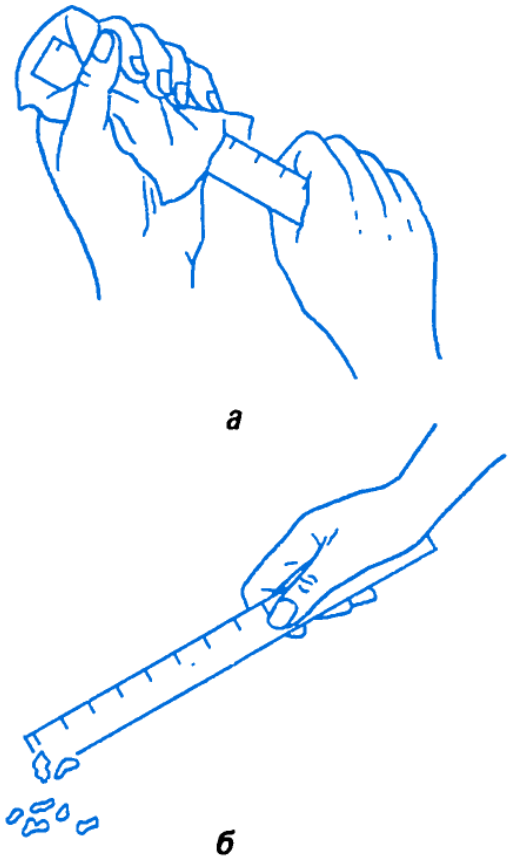
Электр заряды – дененің немесе бөлшектің электр магниттік әсерлесуге қабілеттілігін сипаттайтын физикалық шама



Фалес Милетский
(б.з.д. 625–547)

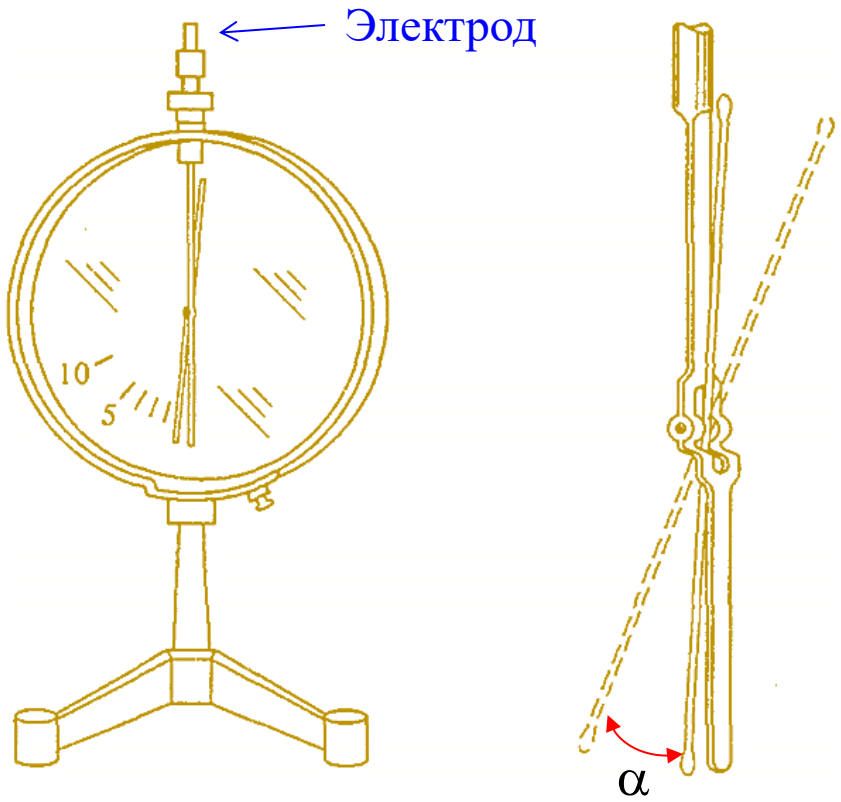


Бе́нджамин Фра́нклин
(1706-1790)



Электр сөзі гректің янтарь – «электрон» сөзінен шыққан. Егер янтарді құрғақ синтетикалық шүберекпен ысқылайтын болсақ ол жеңіл заттарды өзіне тарта бастайды (қағаз қиқымдары, шаң-тозаң). Демек янтарь үйкеліс нәтижесінде электрленеді, бұл құбылысты қазіргі таңда статикалық электрлену деп атайды. Электр зарядтары оң және теріс болып бөлінеді. Сонымен қатар аттас зарядтар тебіледі, әр аттас зарядтар тартылады.

Электроскоп



Электроскоп – бұрыш жасап қозғалатын және қозғалмайтын бір-біріне жанасқан екі металл тілдері бар (қайшыға ұқсас) құрылғы.

Үйкеліс нәтижесінде зарядталу.
Демонстрациялық эксперимент.



- Экспериментте қолданылатын заттарды электроскоп электродына жанастырып зарядталмағанын тексереміз.
- Шыны таяқшаны жүнге үйкеп электроскоп электродымен жанастырғанда электроскоп тілшесінің қандайда бір бұрышқа ауытқығанын байқаймыз, демек, шыны таяқшадан электроскоп электродына зарядтар берілді.
- Осы кезде, эбонит таяқшаны жүнге үйкеп электроскоп электродымен жанастырғанда электроскоп тілшесі алғашқы қалпына оралады, демек, электроскопта жиналған зарядтар эбонит таяқшаға өткені.
- Қорытынды: шыны және эбонит таяқшаларын жүнге үйкеген кезде олар әртүрлі, оң және теріс таңбамен зарядталады.

Сутегі атомы

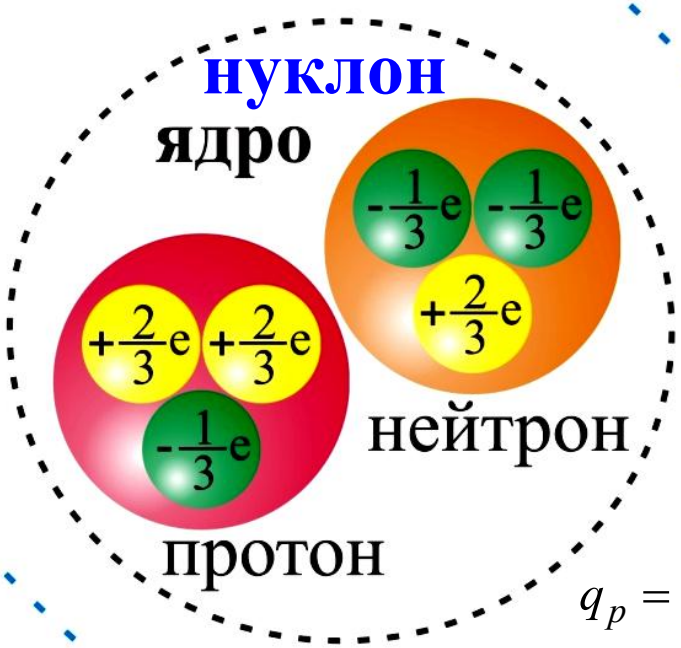
электрон

$q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}\ Кл$

$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}\ кг$



Эрне́ст Резерфо́рд
(1871-1937)



$q_p = +1,6 \cdot 10^{-19}\ Кл$

$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}\ кг$

$q_n = 0$

$m_n = 1,67 \cdot 10^{-27}\ кг$

Протон орнықты бөлшек.
Нейтрон орнықсыз бөлшек, ядродан тыс, вакуумда ~15 минут өмір сүреді, кейін протонға, электронға және антинейтронға бөлініп кетеді.

Іргелі әсерлесу түрлері

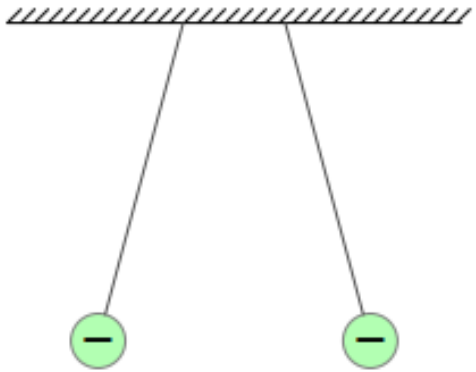
✓ Гравитациялық. Барлық бөлшектер мен денелер арасындағы өзара тартылыс күші. $F_1 = F_2 = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м^2/кг^2

✓ Электр магниттік (10^{-10} м – бірнеше жүз. км.). Зарядтар мен электрленген денелер арасындағы байланыс.

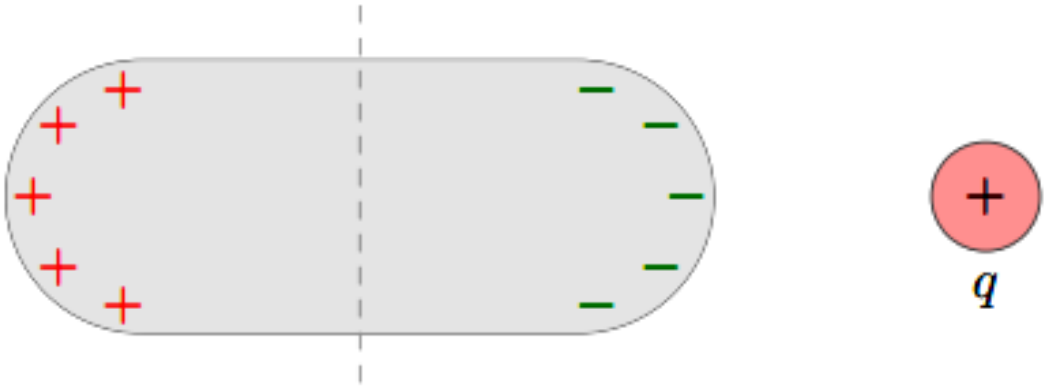
✓ Күшті ядролық (10^{-15} м). Адрондар (кварктар мен глюондар) арасындағы байланыс. Нуклондар арасындағы тартылыс күші.

✓ Әлсіз ядролық ($2 \cdot 10^{-18}$ м). Барлық тұрақты емес элементар бөлшектер арасындағы байланыс.

Екі электронның өзара электрлік тебілу күші олардың гравитациялық тартылыс күшінен 10^{43} есе көп.

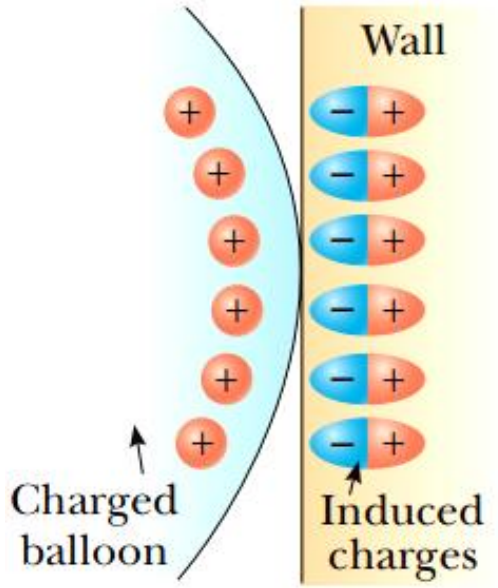


Электр статикалық индукция нәтижесінде электрлену



Денені қашықтан әсер ету арқылы зарядтау. Егер металл денеге (q) оң зарядты жақындататын болсақ, электр статикалық өріс метал көлеміндегі бос электрондарды өзіне тартады. Ал металдың қалған бөлігінде компенсацияланбаған оң зарядтар қалады. Бұл жағдайда металдың толық заряды бәрібір нөлге тең болып, денеде тек зарядтардың кеңістік бойынша бөлінуі орын алды. Енді, осы кезде денені үзік сызықпен көрсетілген жерден ойша екіге бөлетін болсақ, дененің сол жақ жартысы оң, ал оң жақ жартысы теріс зарядқа ие болады.

Электр статикалық индукция нәтижесінде электрлену

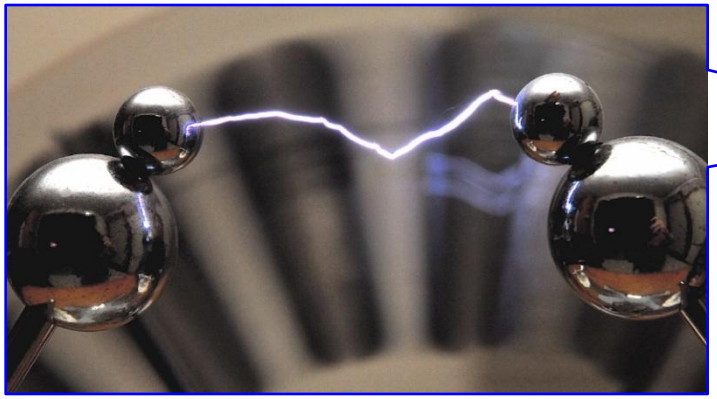


(a)



(b)

Электрфор машинасы (1880)



$U \sim 100 \div 400$ кВ



Профессор Досболаев М.Қ.

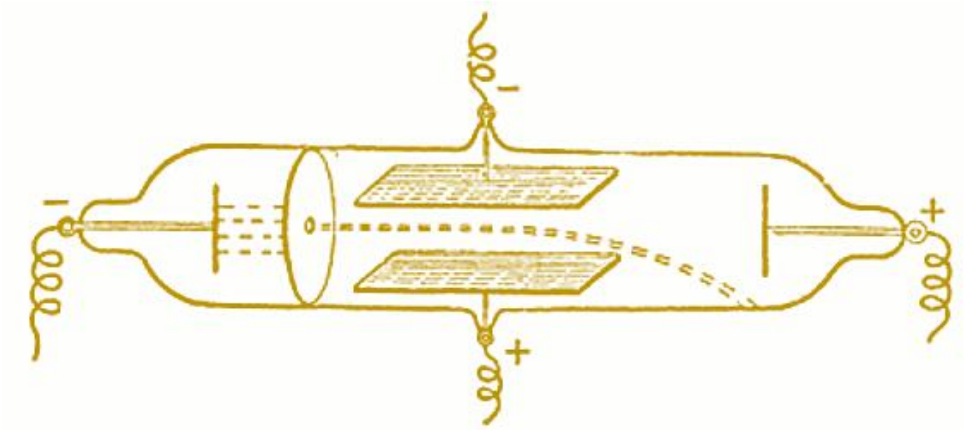


Джеймс Уимсхёрст
(1832–1903)

Элементар электр заряды

Электр құрылымының дискреттілігі туралы гипотеза. (1801) И. Риттель, (1834) М. Фарадей, (1846) В. Вебер.

Томсон 1897 жылы электронды ашты. Катодтық сәуле электр өрісі әсерінен ауытқиды және ол, жылдамдықтары жарық жылдамдығынан көп кіші, қандайда бір шектік массаға ие бөлшектердің ағыны (e/m). Нобель сыйлығы (1906).



Томсон қондырғысының схемасы



Джóзеф Джон Тóмсон (1856-1940)

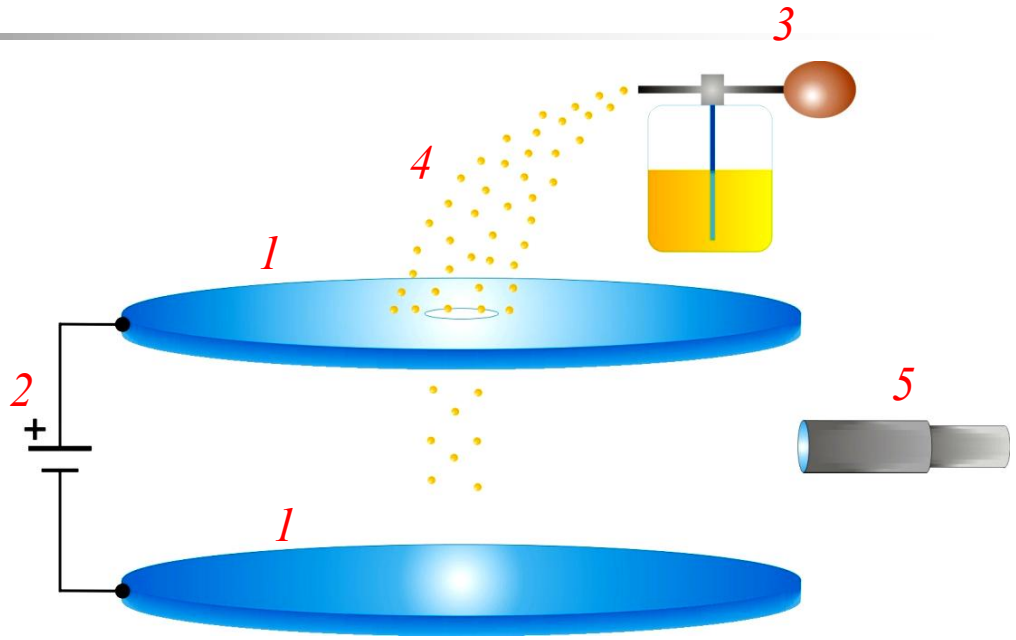
Милликен тәжірибесі (1909-1913)



Роберт Эндрюс Милликен (1858–1953) Нобель сыйлығы, (1923)



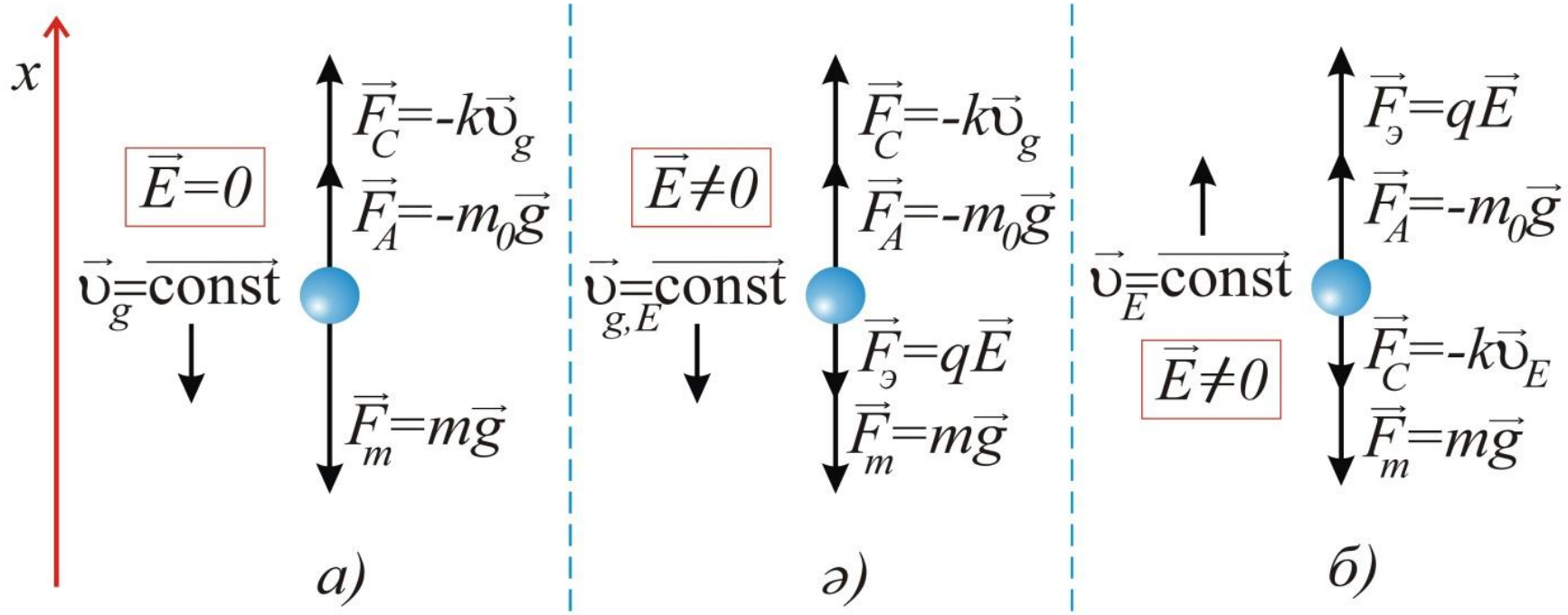
Абрам Федорович Иоффе (1890–1960).



Милликен қондырғысының схемасы

$$Q = 0,\ \pm 1e,\ \pm 2e,\ \pm 3e,\ldots\ \pm ne$$

Милликен тәжірибесін түсінуге



$$Q = C_1 \cdot \frac{(\upsilon_1 + \upsilon_2) \cdot \sqrt{\upsilon_1 - \upsilon_2}}{U}$$

Кавендиш тәжірибесі (1772)
Кулон тәжірибесі (1785)

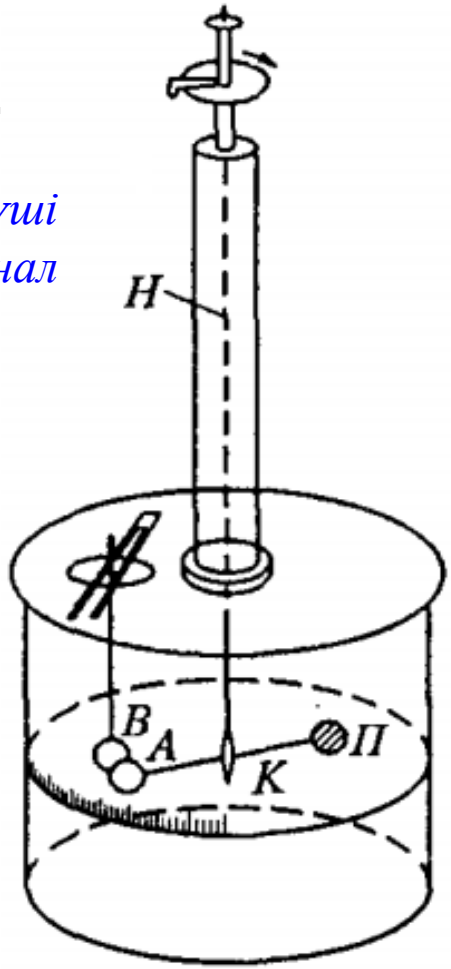
Қозғалыссыз тұрған екі зарядталған шардың өзара әсерлесу күші (F) олардың ара-қашықтығының (r) квадратына кері пропорционал және осы екі зарядты қосатын түзудің бойымен бағытталған.



Шарль Огюстéн де Кулóн
(1736-1806)

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

$$r^{2+\alpha} \rightarrow |\alpha| \leq 10^{-16}$$



Кулонның айналмалы таразысы

Скаляр формадағы Кулон заңы

Вакуумдағы қозғалыссыз тұрған екі нүктелік зарядтардың өзара әсерлесу күші F олардың зарядтарының модульдерінің көбейтіндісіне $q_1 q_2$ тура, ал арақашықтықтарының r квадратына кері пропорционал.

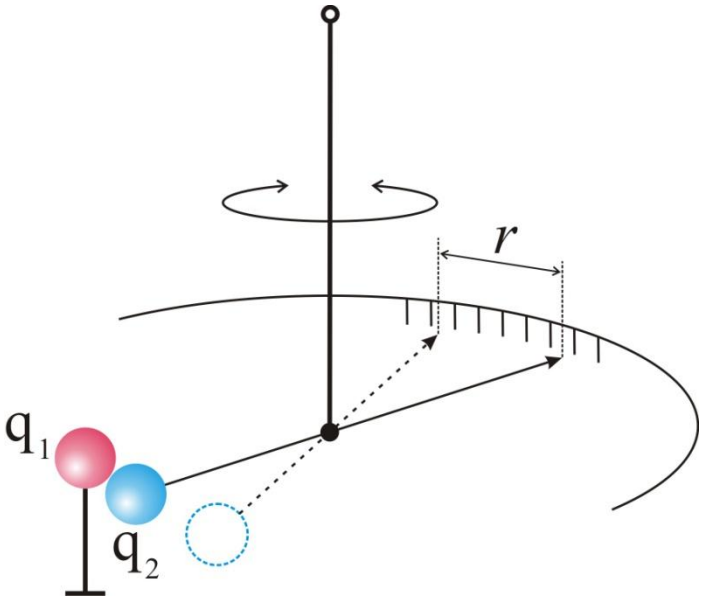
$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{|q_1|\cdot|q_2|}{r^2} \quad (1)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2} = 8{,}85\cdot 10^{-12}\ \frac{\Phi}{\text{м}}$$ - электр тұрақтысы

$\varepsilon = \frac{F_0}{F}$ - ортаның салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі

$\varepsilon_{вакуум,ауа} = 1 \qquad \varepsilon_{су} = 80$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = 9\cdot 10^9\ \frac{\text{м}}{\Phi}$$ - пропорционалдық коэффициент



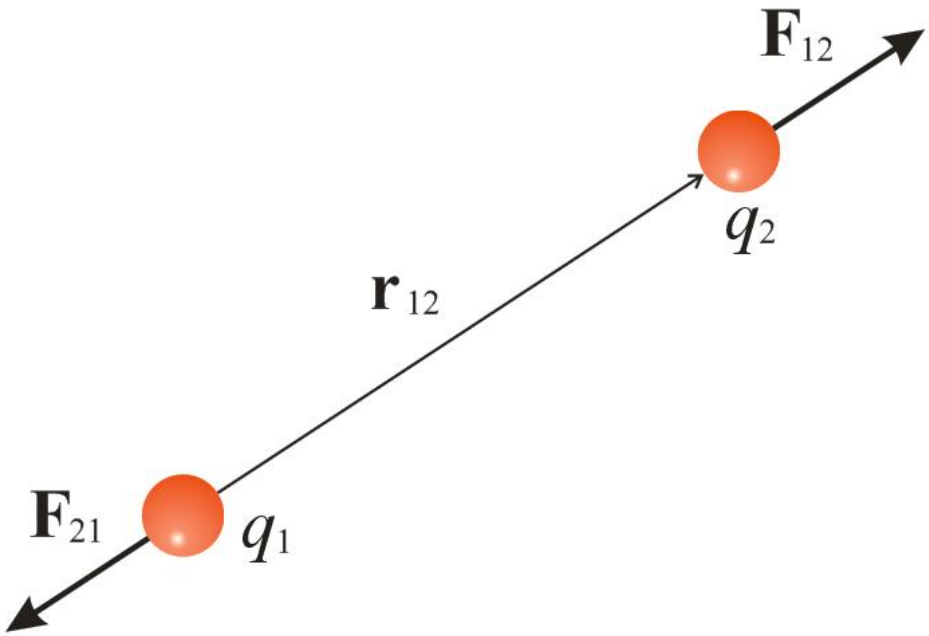
Векторлық формадағы Кулон заңы

$$\mathbf{F}_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r_{12}^3}\mathbf{r}_{12} \quad (2)$$

$\mathbf{r}_{12}$ - екі зарядты қосатын түзудің бойымен бағытталған радиус-вектор

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$$

Ньютонның үшінші заңына сай



Кулон заңы вакуумдағы қозғалыссыз нүктелік зарядтар немесе бетінде, сол сияқты көлемінде зарядтары біркелкі таралған шар тәрізді (сфералық) денелер әсерлесулерін есептеуге қолданылады, сонымен қатар осы зарядтардың арақашықтықтары $r \sim 1$ метрден аспауы керек.

1 Кулон

$$1\,Кл\,(кулон) = 1\,А \cdot с$$

СИ жүйесінде заряд ток күшінің туындысы болады, $I = \frac{dq}{dt}$.

Зарядтың өлшем бірлігі Кулон (Кл). 1 Кл дегеніміз, 1 А ток кезіндегі өткізгіштің көлденең қимасынан 1 с уақытта өтетін электр зарядтары.

1 Кл заряд өте үлкен шама, оны сезіну үшін келесідей болжам эксперимент жасап көрейік. Вакуумда бір-бірінен 1 метр арақашықтыққа әрбіреуінің заряды 1 Кл болатын екі заряд орналастырайық. Осы кездегі олардың әсерлесу күші $F = 9 \cdot 10^9$ Ньютонға тең, немесе ~1000000 тонна-салмақ, бұл өте орасан зор күш. Осы себепті пропорционалдық коэффициенті келесіге тең болады, $k = 9 \cdot 10^9 \left[\text{Н} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{Кл}^2}\right]$.

Электр заряды және оның іргелі қасиеттері

- Электр заряды екі түрде кездеседі: оң және теріс. Аттас зарядтар тебіледі, әр аттас зарядтар тартылады.

- Электр заряды сақталады (оқшауланған жүйедегі бөлшектердің немесе денелердің электр зарядтарының алгебралық қосындысы осы жүйеде қандай да бір процестер болмасын өзгеріссіз қалады). Демек электр заряды жоғалмайды және пайда болмайды, тек бір жерден екіншісіне ауысады

$$q_1 + q_2 + q_3 + \cdots + q_n = const$$

Электр заряды және оның іргелі қасиеттері

- Электр заряды инвариантты (тыныштықта тұрса да, белгілі бір жылдамдықпен қозғалса да дененің заряды өзгеріссіз қалады).

- Электр заряды дискретті, яғни квантталады (кез келген дененің немесе бөлшектер жүйесінің толық заряды элементар зарядтың бүтін еселігі түрінде ғана өзгереді):

$$Q = \pm ne \quad (n = 0,1,2, \dots)$$

- Электр заряды аддитивті (кез-келген жүйенің заряды осы жүйеге кіретін денелердің зарядтарының қосындысына тең):

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \cdots + q_n$$