

# ЗАКОН НА КУЛОН

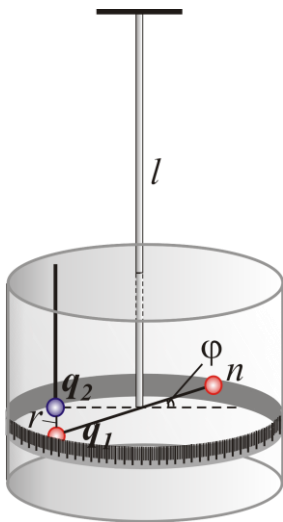
## ТОЧКОВ ЕЛЕКТРИЧЕН ЗАРЯД

Електричните сили на взаимодействие между наелектризираните тела зависят от техните размери и форма. Когато размерите на тялото са много по-малки от разстоянието до другите заредени тела, то електричната сила вече не зависи от размера и формата на тялото. В този случай може да се предположи, че зарядът е съсредоточен в една точка, т.е. разглеждаме тялото като точков заряд.

**Точков заряд** е зарядът, съсредоточен на тяло, чиито размери са пренебрежимо малки в сравнение с разстоянията до други заредени тела, с които взаимодейства.

Ролята на точков заряд в електричеството е аналогична на тази на материална точка в механиката.

## ОПИТИ НА КУЛОН



В течение на дълги години френският физик Шарл Огюстен дьо Кулон е провеждал опити с така наречената „кулонова везна” и през 1785 г. е извел закон, който носи неговото име - закон на Кулон.

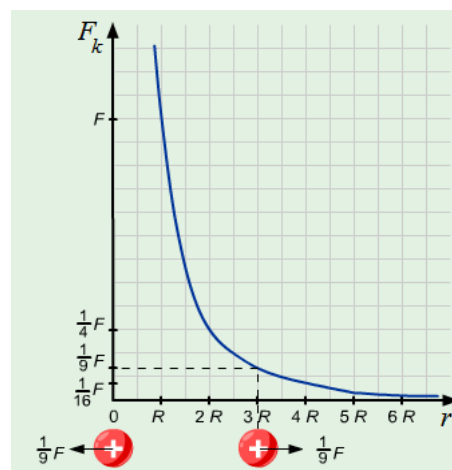
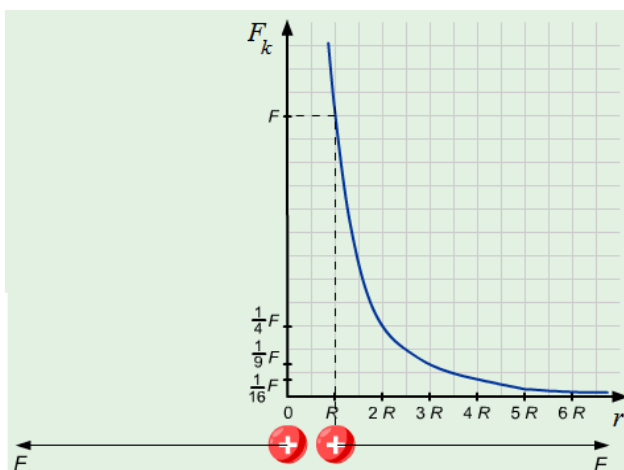
Кулон изследва взаимодействието между две неподвижни наелектризиранни тела ( $q_1$  и  $q_2$ ) с помощта на торзионна везна. В краищата на изолаторна пръчка се поставят еднакви метални топчета: едното - неутрално  $n$ , другото - наелектризирано със заряд  $q_1$ . В близост до топчето  $q_1$  на разстояние  $r$ , се поставя друго, неподвижно закрепено топче, наелектризирано със заряд  $q_2$ . Пръчката се окачва на тънка нишка с дължина  $l$ . Двете заредени топчета  $q_1$  и  $q_2$  си взаимодействат (привличат или отблъскват), вследствие на което нишката се усуква и по ъгъла на усукване  $\varphi$  се определя големината на действащата електростатична сила. За изолиране от въздушни течения

везната се поставя в стъкленица.

### 1 Опит

При постоянна големина на двата заряда  $q_1$  и  $q_2$ , Кулон изменя разстоянието  $r$  между тях. Установява, че електростатичната сила, с която две заредени тела действат едно на друго (отблъсквайки се или привличайки се взаимно), зависи обратно

пропорционално на квадрата на разстоянието между центровете на топчетата:  $F_k \sim \frac{1}{r^2}$ .



Както е показано на графиката за силите на електростатично взаимодействие, ако разстоянието между зарядите нараства три пъти, тогава силата намалява девет пъти.

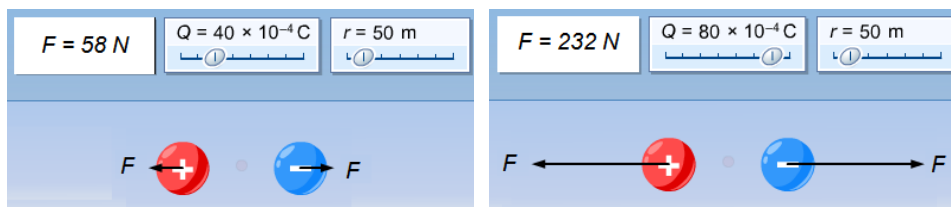
Ако например разстоянието намалява два пъти, то силата ще нарасне четири пъти.

## 2 Опит

- При постоянно разстояние  $r$ , изменяйки големината на първия заряд  $q_1$  установява, че електростатичната сила е пропорционална на неговата големина:  $F \sim q_1$ .

- Изменяйки големината на втория заряд  $q_2$  установява, че електростатичната сила е пропорционална на неговата големина:  $F \sim q_2$ .

Така Кулон установява, че силата на взаимодействие между две заредени тела (на взаимно отблъскване или привличане) е правопрпорционална на произведението на техните заряди:  $F \sim q_1 \cdot q_2$



На фигурата е показано, че ако зарядите на двете тела са равни  $q_1 = q_2 = Q$  и нараснат два пъти – от  $40 \times 10^{-4} \text{C}$  до  $80 \times 10^{-4} \text{C}$ , то силата ще нарасне четири пъти.

## ЗАКОН НА КУЛОН

Това е основен опитен закон за силите на взаимодействие между два точкови заряда, върху който е изградена цялата електростатика.

Два неподвижни електрични точкови заряда си взаимодействат (отблъскват или привличат) със сила, пропорционална на произведението от големините на зарядите и обратно пропорционална на квадрата на разстоянието между тях. Силата е насочена по съединителната права между зарядите.

Големината на силата е:

$$F_{12} = \pm k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \quad (1)$$

Във векторна форма, законът се записва така:

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{r}_{012} \quad (2)$$

където  $k$  е константа,  $q_1$  е големината на първия заряд,  $q_2$  е големината на втория заряд,  $r_{12}$  е разстоянието между двата заряда, а  $\vec{r}_{012}$  е единичният вектор.

Константата  $k$  зависи от диелектричните свойства на средата и може да се определи в зависимост от единиците за измерване.

В международната система SI (СИ) във вакуум:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,988 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2},$$

където  $\epsilon_0$  е абсолютната диелектрична проницаемост във вакуум. Поради липса на физически смисъл за  $\epsilon_0$ , тази величина по-често се нарича диелектрична константа.

На фигурата са представени двата случая на сили на привличане и на отблъскване.

	<p>Закон на Кулон за случай на два едноименни заряда (положителни)</p>
	<p>Закон на Кулон за случай на два разноименни заряда</p>

$\vec{F}_{12}$  - силата, с която зарядът  $q_1$  действа на заряда  $q_2$ ,  $\vec{r}_{012}$  - единичен вектор, насочен от заряд  $q_1$  към заряд  $q_2$ ;

$\vec{F}_{21}$  - силата, с която зарядът  $q_2$  действа на заряда  $q_1$ ,  $\vec{r}_{021}$  - единичен вектор, насочен от заряд  $q_2$  към заряд  $q_1$ ;

$r_{12}$  - разстоянието между двата заряда  $q_1$  и  $q_2$ .

Ако зарядите се намират в среда с друга диелектрична проницаемост  $\varepsilon$  (абсолютна диелектрична проницаемост в дадена среда), то в уравнения (1, 2) се замества  $\varepsilon_0$  с  $\varepsilon$ .

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0, \quad (3)$$

където  $\varepsilon_r$  е относителната диелектрична проницаемост и показва колко пъти  $\varepsilon$  е по-голямо от  $\varepsilon_0$ .

## АНАЛИЗ НА ЗАКОНА НА КУЛОН

Уравненията (1) и (2) изразяват следните твърдения:

1) Едноименните заряди се отблъскват, а разноименните се привличат, тъй като

$$\vec{F}_{12} = \pm A \vec{r}_{012}, \text{ където } A = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}.$$

2) Силата е Нютонова, тъй като е в сила равенството  $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$  (III принцип на механиката), където е взето предвид  $\vec{r}_{012} = -\vec{r}_{021}$ ;

3) Силата е централна, насочена по правата, свързваща двата заряда, т.к. е по направление  $\vec{r}_{012}$ ;

4) Зарядите са точкови, т.е. двата заряда имат точни координати, заемайки области, малки в сравнение с разстоянието  $\vec{r}_{12}$ ;

6) Граници на валидност на закона на Кулон:

Многократни експериментални проверки потвърждават валидността на закона на Кулон в граници от  $10^{-15}$  m до  $10^7$  m.

## Принцип за суперпозиция на силите

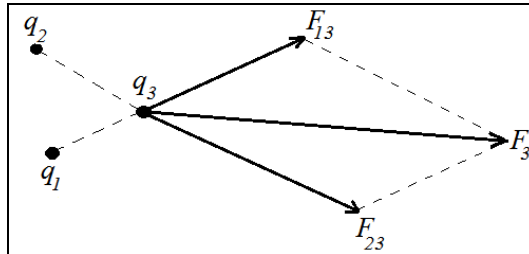
Експериментално се стига до принципа за суперпозиция на силите и този принцип се съдържа в закона на Кулон.

Силата на взаимодействие между два точкови заряда не се променя в присъствието на други заряди.

Математически, за  $n$  на брой заряди, принципът се записва така:  $\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$

**Пример:** Пълната сила  $\vec{F}_3$ , с която зарядите  $q_1$  и  $q_2$  действат на заряда  $q_3$ , е векторна сума от силата  $\vec{F}_{13}$ , с която зарядът  $q_1$  действа на заряда  $q_3$  при отсъствие на заряда  $q_2$  и силата  $\vec{F}_{23}$ , с която зарядът  $q_2$  действа на заряда  $q_3$  при отсъствие на заряда  $q_1$ . Това математически се записва по следния начин:

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}.$$



Според принципа на суперпозицията силите  $\vec{F}_{13}$  и  $\vec{F}_{23}$  се пресмятат по закона на Кулон. Общата действаща на заряда  $q_3$  сила  $\vec{F}_3$  намираме като използваме правилото на успоредника. За целта начертаваме успоредник, две от съседните страни на който са успоредни на силите  $\vec{F}_{13}$  и  $\vec{F}_{23}$ , а дължините им са пропорционални на големините на тези сили. Заключениеят между двете страни диагонал на успоредника определя посоката на търсената обща сила  $\vec{F}_3$ , а дължината е пропорционална на големината и.

В случай на заредени тела с достатъчно големи размери, които не могат да се разглеждат като точкови заряди, и с непрекъснато разпределение на заряда, тялото се разделя на множество безкрайно малки елементи, така че зарядът на всеки елемент ( $dq$ ) да може да се разглежда като точков. Тогава силата на взаимодействие  $d\vec{F}$  между даден точков заряд  $q_0$  и зарядът на всеки елемент  $dq$  може да се изрази чрез закона на Кулон, който се отнася за взаимодействието на точкови заряди:

$$d\vec{F} = k \frac{q_0 dq}{r^2} \vec{r}_0.$$

Пълната сила  $\vec{F}$  на взаимодействие между точковия заряд  $q_0$  и зареденото тяло се получава чрез интегриране:

$$\vec{F} = \int d\vec{F}.$$

---

Част от фигурите са взимствани от сайта <http://start.e-edu.bg/>, на който можете да наблюдавате и пълните анимации на някои от физичните явления.