

## План уроку 57

Тема: Електродинаміка.

Тема уроку: Електрична взаємодія точкових зарядів. Закон Кулона.

**Мета уроку:** ознайомити учнів з електричними взаємодіями; пояснити явище електризації; роз'яснити їм фізичний зміст закону збереження електричного заряду, а також закону Кулона; дати поняття точкового заряду.

### Хід уроку

#### Теоретична частина

Дослідження кількісного закону взаємодії електризованих тіл розпочалося з експерименту, розробленого британським дослідником Генрі Кавендішем, по розподілу електричного заряду на поверхні порожнистої кулі. За умови, коли електричний заряд передавався кулі із внутрішньої частини, він повністю зосереджувався на її поверхні, у той час коли тіло, що передавало заряд повністю його втрачало. Згодом Д.Бернуллі та Генрі Кавендіш висловлюють точку зору про те, що, сила взаємодії має бути обернено пропорційною квадрату відстані між наелектризованими тілами. Лише при такій умові заряд міг рівномірно розподілитися по поверхні кулі в експерименті Кавендіша. Російський дослідник Франц Епінус висунув гіпотезу про те, що сила взаємодії наелектризованих тіл пропорційна добутку величин їх зарядів. Проте дослідне обґрунтування висунутих гіпотез, було отримано в класичному експерименті, проведеному французьким інженером Шарлем Огюстеном Кулоном 1785 року. Детально вивчивши закон, якому підпорядковувалася сила пружності закручених ниток, Кулон створив прилад – торсійні (крутильні) терези, за допомогою якого, він зміг точно вимірювати досить малі сили взаємодії. Терези складаються із двох порожніх скляних циліндрів, різного діаметра, що розміщені на спільній осі. Уздовж осі проходить пружна нитка, з одного боку, приєднана до рукоятки, якою можна було закручувати нитку, а із другої з'єднана з легким коромислом.



Рис.26 Шарль Огюстен Кулон (1736-1806)

Для дослідження сили електричної взаємодії, Кулон використав легкі провідні кульки. Одна з кульок знаходилась на коромислі, зрівноважена противагою, а інша розміщувалася нерухомо на однаковій висоті з першою. На початку експерименту, нерухомій кульці було надано деякий електричний заряд. Після притягання й доторку рухомої кульки, заряд порівну розподілявся між ними і кульки відштовхувались. Вимірюючи кут закручування нитки, Кулон вираховував силу взаємодії. Закручуючи рукояткою нитку, він установлює залежність сили взаємодії від відстані між кульками (відео 1).

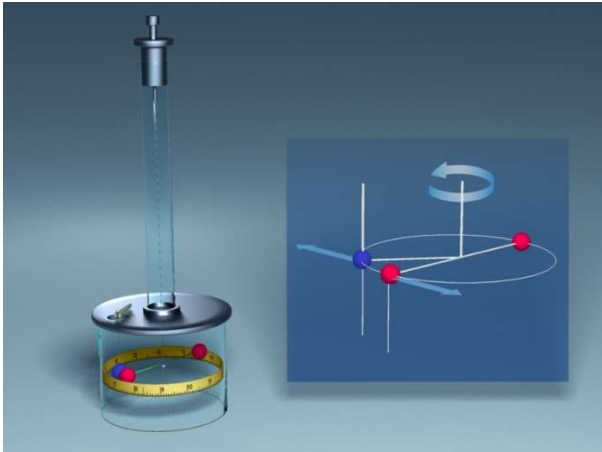


Рис.27 Торсійні (крутильні) терези Кулона

Оскільки виміряти величину заряду кульок було неможливо, Кулон застосував оригінальний метод його зміни. Після рівномірного поділу заряду між кульками й установлення сили взаємодії, він розряджав нерухому кульку і знову приводив її в контакт з зарядженою кулькою коромисла. Таким чином, він міг зменшувати заряд куль щоразу після доторку вдвічі. Вимірюючи щоразу силу взаємодії, та провівши обчислення, Кулон отримав експериментальне обґрунтування кількісного закону, який з того часу носить його ім'я.

Модуль сили взаємодії двох точкових зарядів прямо пропорційний добутку їх модулів і обернено пропорційний квадрату відстані між ними.

Під точковими зарядами необхідно розуміти заряди тіл, розмірами яких у порівнянні з відстанню можна нехтувати. Закон перевірявся Кулоном як для однойменних, так і для різнойменних зарядів. Хоча точність вимірювань, по сучасним міркам була незначною (приблизно 3 %), закон набув математичної форми. Для взаємодіючих тіл у вакуумі він має вигляд:

$$F_k = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

, де  $F_k$  – модуль сили взаємодії,  $q_1$ ,  $q_2$  – заряди взаємодіючих тіл,  $r$  – відстань між взаємодіючими тілами,  $k$  – коефіцієнт пропорційності.

Числове значення коефіцієнта пропорційності, встановлене експериментально відповідає модулю сили взаємодії двох тіл із величиною заряду 1 Кл на відстані 1 м. Воно рівне  $k = 9 \times 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$ . Сила взаємодії таких зарядів більша за вагу вантажного потягу, довжиною, рівною відстані між Києвом та Харковом.

Речовина, що розділяє взаємодіючі заряди, послаблює електричне поле яке ними створюється. Досліди Кулона проводилися в повітрі, яке впливає на поле досить слабо. У випадку взаємодії тіл у інших речовинах, використовують коефіцієнт послаблення поля, який називається діелектричною проникністю речовини і позначається  $\epsilon$ . Для води він, наприклад, рівний 80, тобто вода послаблює взаємодію в 80 раз. Значення цих коефіцієнтів устанавлюється експериментально та входить до складу таблиць.

Речовина	Діелектрична проникність
Вакуум	1
Повітря	1.0005
Папір	3
Гума	7
Метилловий спирт	30
Вода	80
Титанат барію	1200

Коефіцієнт пропорційності в сучасній системі одиниць фізичних величин СІ представляють у більш складному вигляді. Це пов'язано з побудовою самої системи.

$$k = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0}$$

Його записують у вигляді

, де  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$  – електрична стала, яка входить до переліку основних фізичних сталих у системі СІ.

Для розв'язування задач у шкільному курсі, ми будемо користуватися спрощеним

записом закону Кулона у вигляді

$$F_x = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

## Приклади розв'язування задач

У скільки разів зміниться сила взаємодії двох точкових заряджених тіл у вакуумі, якщо модулі їх зарядів збільшити вдвічі від початкових, а відстань між ними зменшити вдвічі від початкової.

Розв'язання:

$$q_1' = 2 q_1$$

$$q_2' = 2 q_2$$

$$r' = r/2$$

-----

$F_{x'}/F_x$  - ?

Запишемо закон Кулона до і після зміни

$$F_x = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

$$F_{x'} = k \frac{|q_1'| |q_2'|}{r'^2}$$

Розділимо другий вираз на перший

$$\frac{F_{x'}}{F_x} = \frac{k|q_1'| |q_2'| r^2}{k|q_1| |q_2| r'^2} = \frac{2q_1 2q_2 r^2 4}{q_1 q_2 r^2} = 16$$

Відповідь: сила взаємодії збільшиться в 16 раз.

З одної краплі води на іншу, що знаходяться на відстані 1 м, перенесли 109 [електронів](#).  
Визначити модуль сили взаємодії між ними у вакуумі.

Розв'язання:

$$N = 109$$

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$r = 1 \text{ м}$$

-----  
 $F_k$  - ?

При перенесенні електронів одна крапля набуває позитивного і інша негативного, однакового за модулями зарядів. Модуль набутого заряду визначається добутком елементарного заряду на кількість перенесених електронів. Застосуємо закон Кулона.

$$F_k = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} = k \frac{NeNe}{r^2} = k \frac{N^2 e^2}{r^2} = k \left( \frac{Ne}{r} \right)^2$$

Відповідь: модуль сили взаємодії складає  $2,3 \cdot 10^{-19} \text{ Н}$

-----  
Дві однакові маленькі провідні заряджені кульки мають заряд  $5 \text{ нКл}$  і  $-3 \text{ нКл}$  і розміщені на відстані  $1 \text{ м}$  у вакуумі. Кульки приводять у дотик. На якій відстані їх потрібно розмістити, щоб сила взаємодії між ними не змінилась?

Розв'язання:

$$q_1 = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_2 = -3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$r = 1 \text{ м}$$

-----  
 $r'$  - ?

Розв'язання:

При доторку провідних кульок відбувається перерозподіл між ними електричного заряду. Згідно закону збереження електричного заряду, сумарний заряд системи має залишатися сталим. Тому, при роз'єднанні кульок, сумарний заряд поділиться навпіл.

Позначимо результуючий заряд кожної кульки  $q$ . Тоді

$$q = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{5 \cdot 10^{-9} - 3 \cdot 10^{-9}}{2} = 10^{-9} \text{ (Кл)}$$

Застосуємо закон Кулона для обох випадків і визначимо нову відстань  $r_2$  виходячи з рівності сил.

$$F_k = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

$$F'_k = k \frac{|q'_1| |q'_2|}{r'^2}$$

$$F'_k = F_k$$

$$k \frac{|q|^2}{r'^2} = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

$$r' = r \sqrt{\frac{|q|^2}{|q_1| |q_2|}} = 1 \sqrt{\frac{10^{-18}}{15 \cdot 10^{-18}}} = 0,258(\text{м})$$

Відповідь: кульки необхідно розмістити на відстані 0,258 м.

## Контролюючий блок

1. Від чого залежить точність встановлення форми закону Кулона?
2. Розрахуйте силу притягання електрона до ядра в атомі водню, якщо модулі їх зарядів однакові, а радіус наближено оцінюється в  $10^{-9}$  м.
3. Негативно заряджена кулька, масою 1 г знаходиться в рівновазі під аналогічною кулькою з таким же по модулю позитивним зарядом на відстані 10 см. Розрахуйте модуль заряду обох кульок.