

Сила взаємодії двох нерухомих точкових зарядів q_1 і q_2 у вакуумі прямо пропорційна добутку величин цих зарядів, обернено пропорційна квадрату відстані r між ними і спрямована вздовж прямої, яка сполучає ці заряди:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, \text{ або в векторній формі: } \vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$$

де $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$; r – радіус-вектор, спрямований від заряду q_1 до заряду q_2 .

Точковий заряд – це заряд, зосереджений на тілі, лінійні розміри якого настільки малі порівняно з відстанню до інших заряджених тіл, з якими він взаємодіє, що ними можна знехтувати.

Інша форма запису закону Кулона (в системі СІ)

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Визначення електростатичного поля. Між зарядженими тілами діють електричні сили, отже, заряджене тіло створює навколо себе певне силове поле – **електричне поле**. Електричне поле – це матеріальна складова електромагнітного поля, яке діє на заряд, зумовлена зарядами (а в загальному випадку також змінним у часі магнітним полем). Електричне поле оточує кожне заряджене тіло (з зарядом Q) і простягається до нескінченності.

Електростатичне поле – це поле, яке створюється нерухожими зарядами і в кожній точці не змінюється в часі.

Напруженість електростатичного поля – це фізична величина, яка визначається силою, що діє на одиничний позитивний заряд, внесений в дану точку поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}.$$

Напруженість поля – це силова векторна характеристика цього поля.

Одиниця напруженості – $1\text{Н/Кл} = 1\text{В/м}$. 1 Н/Кл – напруженість такого поля, яке на точковий заряд 1 К і діє силою 1 Н .

Для дослідження електростатичного поля вносять в нього маленьке заряджене тіло, яке несе малий електричний заряд (його називають пробний заряд). Пробний точковий заряд практично не спотворює поле (не викликає перерозподілу зарядів, які створюють поле), і тому по силі, яка діє на пробний заряд, можна зробити висновок про поле, створене зарядженим тілом (або сукупністю заряджених тіл).

Напруженість поля точкового заряду в вакуумі визначається залежністю:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = k \frac{q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} ;$$

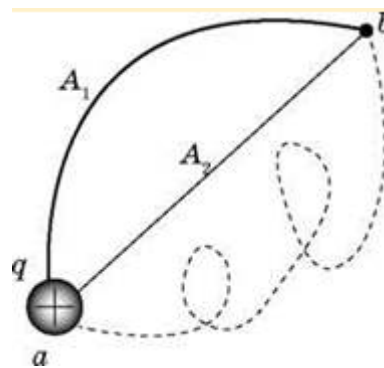
Розглянемо переміщення заряду q із точки a в точку b в електростатичному полі, створюваному зарядами q_1 і q_2 (див. рисунок). Очевидно, що під час переміщення заряду q із точки a в точку b й назад була виконана робота, що дорівнює:

$$A = A_1 + A_2 \quad (1).$$

Оскільки заряд q повернувся у вихідну точку, то система зарядів залишилася незмінною, а отже, і поле залишилося незмінним. Кожне певне поле має певну енергію. Енергія в цьому випадку залишилася незмінною, а оскільки робота є мірою зміни енергії, то сумарна робота дорівнює нулю:

$$A = 0$$

Умови (1) і (2) поєднуювані лише за умови, що



$$A_1 = A_2 = A_3$$

Аналогічні міркування можливі й у випадку, якщо переміщати заряд q із точки a в точку b й назад по інших траєкторіях. На підставі вищевикладених міркувань можна зробити висновки:

- 1) **робота в електростатичному полі не залежить від форми траєкторії, а залежить тільки від положення точок у полі, між якими переміщується заряд;**
- 2) **робота для будь-якого замкнутого контуру в електростатичному полі дорівнює нулю.**

2. Енергетична характеристика електричного поля

Визначимо енергетичну характеристику поля аналогічно до того, як ми визначали силову характеристику поля (напруженість). З курсу механіки відомо, що зміна потенціальної енергії ΔW_p пов'язана з виконаною системою роботою A співвідношенням $\Delta W_p = -A$ (знак «мінус» означає, що якщо система виконує позитивну роботу, то її потенціальна енергія зменшується, а якщо негативну — то збільшується).

Оскільки сила, що діє з боку поля на заряд, пропорційна величині цього заряду, то й робота, виконувана полем під час переміщення заряду, також пропорційна величині заряду. А оскільки робота дорівнює зміні потенціальної енергії зі зворотним знаком, то й потенціальна енергія заряду в поле пропорційна до величини заряду. Отже, відношення потенціальної енергії заряду до заряду не залежить від величини заряду й тому характеризує власне поле.

Відношення потенціальної енергії W_p заряду q , поміщеного в певну точку поля, до цього заряду називається потенціалом електростатичного поля в цій точці:

$$\varphi = \frac{W_p}{q}.$$

Але фізичний зміст має не власне потенціальна енергія, а тільки зміна потенціальної енергії ΔW_p : саме вона пов'язана з виконаною роботою співвідношенням $\Delta W_p = -A$.

Відповідно до цього й фізичний зміст має не власне потенціал поля, а різниця потенціалів між певними точками. Знайдемо, як вона пов'язана з роботою поля під час переміщення заряду між цими точками.

Еквіпотенціальні поверхні

З курсу механіки відомо, що якщо напрямок переміщення перпендикулярний до напрямку сили, то робота цієї сили дорівнює нулю. А якщо робота під час переміщення заряду з однієї точки в іншу дорівнює нулю, тоді дорівнює нулю й різниця потенціалів між цими точками.

Тому якщо заряд переміщується в напрямку, перпендикулярному до напрямку силових ліній, то робота поля під час переміщення заряду дорівнює нулю. А отже, дорівнює нулю й різниця потенціалів між початковою й кінцевою точками траєкторії заряду. Можна сказати, що в будь-якому електростатичному полі нулю дорівнює різниця потенціалів між точками, що лежать на поверхні, перпендикулярній в кожній точці до ліній напруженості поля.

Справді, під час переміщення пробного заряду з однієї точки в іншу уздовж цієї поверхні поле не виконує роботи. Отже, всі точки такої поверхні мають однаковий потенціал.

Поверхні рівного потенціалу називають еквіпотенціальними поверхнями.

Оскільки всі точки провідника мають однаковий потенціал, поверхня провідника є еквіпотенціальною. Звідси випливає, що силові лінії поля поблизу поверхні провідника перпендикулярні до його поверхні.

Електрична ємність. Конденсатори.

Подальші досліді з розподілом електрики по поверхні наелектризованого провідника, проведені Кулоном та іншими дослідниками, дозволили встановити, що рівномірний розподіл електрики має місце тільки на правильній кульовій поверхні. У загальному випадку заряд є нерівномірним і залежить від форми провідника, будучи більшим в місцях більшої кривизни. Відношення кількості електрики на частині поверхні провідника до величини цієї поверхні назвали густиною (товщиною) електричного шару. Експериментально було встановлено, що електрична густина і електрична сила особливо великі в місцях поверхні, які мають найбільшу кривизну, особливо на вістрях.

Величину, що характеризує залежність потенціалу наелектризованого провідника від його розмірів, форми й навколишнього середовища, називають електроємністю провідника й позначають буквою C . Електроємність провідника вимірюється кількістю електрики, яка необхідна для підвищення потенціалу цього провідника на одиницю:

$$C = q / \phi$$

За одиницю електроємності в системі СІ приймається 1 фарада (1 Ф). Фарадою називається електроємність провідника, якому для підвищення його потенціалу на один вольт потрібно надати один кулон електрики.

Якщо провідник з'єднати із джерелом електрики певного потенціалу, то провідник одержить електричний заряд, що залежить від ємності провідника. Його ємність, а, отже, і кількість електрики, якою він заряджається, збільшуються, якщо наблизити до нього другий провідник, з'єднаний із землею. Конструкція, що складається із двох провідників, розділених ізолятором, з електричним полем між ними, усі силові лінії якого починаються на одному провіднику, а закінчуються на іншому, була названа електричним конденсатором. При цьому обидва провідника називаються обкладками, а

ізолююча прокладка – діелектриком. Процес нагромадження зарядів на обкладках конденсатора називається його зарядкою. При зарядці на обох обкладках накопичуються рівні за величиною й протилежні за знаком заряди. Оскільки електричне поле зарядженого конденсатора зосереджене в просторі між його обкладками, то електроємність конденсатора не залежить від навколишніх тел.

Електроємність конденсатора вимірюється відношенням кількості електрики на одній з обкладок до різниці потенціалів між обкладками:

$$C = q/U.$$

1 Ф – електроємність такого конденсатора, який може бути заряджений кількістю електрики, рівною 1 Кл, до різниці потенціалів між обкладками, що дорівнює 1 В.

Наприклад, електрична ємність плоского конденсатора в системі СІ визначається за співвідношенням:

$$C = \epsilon \epsilon_0 S/d,$$

де ϵ – діелектрична проникність матеріалу, що знаходиться між обкладками конденсатора; ϵ_0 – діелектрична проникність вакууму; S – величина площі поверхні пластини (меншої, якщо вони не рівні); d – відстань між пластинами.

Якщо обкладки зарядженого конденсатора з'єднати провідником, то заряди переходитимуть з однієї обкладки на іншу і нейтралізують один одного. Цей процес називається розрядкою конденсатора. Кожен конденсатор розрахований на певну напругу. Якщо напруга між обкладками стане дуже великою, то розрядка може відбутися і безпосередньо через діелектрик (без сполучного провідника), тобто настає пробій діелектрика. Пробитий конденсатор до подальшого вживання не придатний.

Для отримання електроємності потрібної величини конденсатори сполучають в батарею. На практиці зустрічається як паралельне, так і послідовне з'єднання конденсаторів.