

Тема №1: Основи електротехніки

Тема: Електричне поле. Потенціал і різниця потенціалів

Завданням сьогоднішнього уроку є: дізнатися, що собою являє електричне поле, його енергетичні характеристики – потенціал (відношення потенціальної енергії заряду до величини заряду) та різниця потенціалів (або напруги – роботи поля з переміщення одиничного заряду між двома точками). *Тема нашого уроку: «Електричне поле. Потенціал і різниця потенціалів».*

I. Опрацювання теоретичного матеріалу

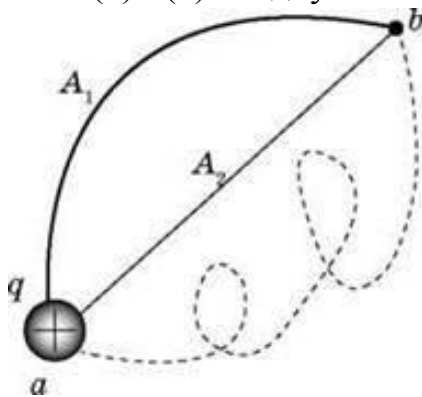
1. Робота під час переміщення заряду в електричному полі

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_0 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: $A = 0 \quad (2)$.

Умови (1) і (2) поєднуювані лише за умови, якщо $|A_1| = |A_2|$.



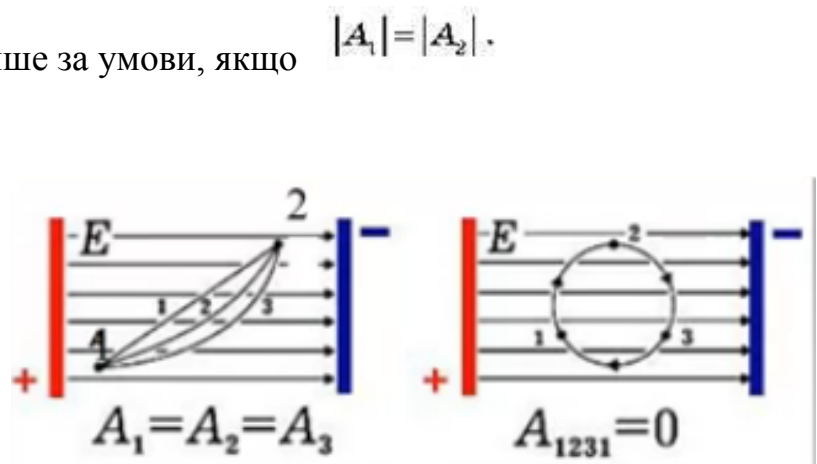
$$A_1 = A_2 = A_3$$

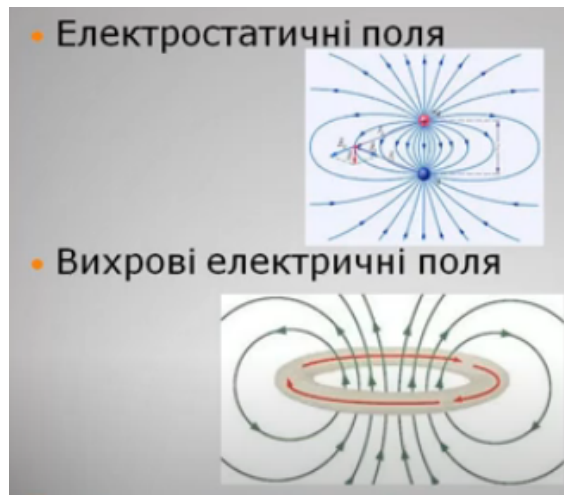
Аналогічні міркування можливі й у випадку, якщо переміщати заряд q із точки a в точку b й назад по інших траєкторіях. На підставі вищевикладених міркувань можна зробити висновки:

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 W_p пов'язана з виконаною системою роботою A співвідношенням **$W_p = -A$** (знак “мінус” означає наступне: 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.*

$$\varphi = \frac{W_n}{q},$$

$$[\varphi] = B = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}},$$

$$\varphi = k \frac{q_0}{\epsilon r}$$

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

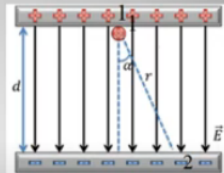
$$\varphi = \frac{W_p}{q}.$$

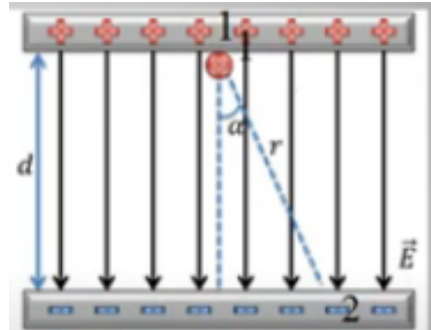
Але фізичний зміст має не власне потенціальна енергія, а тільки зміна потенціальної енергії W_p : саме вона пов'язана з виконаною роботою співвідношенням **$W_p = -A$** .

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.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{1 \rightarrow 2}}{q}, \quad [\varphi_1 - \varphi_2] = B = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U,$$

$$U = Ed, \text{ або } \varphi_1 - \varphi_2 = Ed$$




Нехай заряд q переміщується із точки 1 у точку 2. Позначимо потенціали поля в цих точках 1 і 2. Тоді різниця потенціалів між цими точками – це $1 - 2$. Відповідно до визначення потенціалу, потенціальна енергія заряду в цих точках $W_1 = q\varphi_1$, $W_2 = q\varphi_2$.

Зміна потенціальної енергії під час переміщення заряду із точки 1 в точку 2 дорівнює $\Delta W_p = W_2 - W_1$.

Тому виконана полем над зарядом робота $A = -\Delta W_p = -(W_2 - W_1) = W_1 - W_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2)$.

Виходить, що різниця потенціалів між двома точками дорівнює відношенню роботи поля під час переміщення заряду з початкової точки в кінцеву до цього заряду:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}.$$

Різницю потенціалів називають також напругою й позначають U . У СІ роботу виражають у джоулях, а заряд – у кулонах. Тому різниця потенціалів між двома точками поля дорівнює 1 В, якщо під час переміщення заряду в 1 Кл із однієї точки в іншу електричне поле виконує роботу в 1 Дж.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В}.$$

3. Принцип суперпозиції

Із принципу суперпозиції випливає, що потенціал електричного поля системи зарядів дорівнює алгебраїчній сумі потенціалів полів, створених кожним із зарядів:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots + \varphi_n$$

4. Зв'язок між різницею потенціалів і напруженістю

Нехай позитивний пробний заряд q переміщується в однорідному електростатичному полі напруженістю в напрямку силових ліній. Тоді на заряд з боку поля діє сила qE , напрямлена уздовж переміщення. Отже, під час переміщення на відстань d поле виконує роботу $A = qEd$.

Ця робота пов'язана з різницею потенціалів співвідношенням

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}.$$

Підставляючи сюди знайдений вираз для роботи A , одержуємо, що

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d},$$

тобто напруженість електричного поля дорівнює різниці потенціалів, що припадає на одиницю довжини уздовж лінії напруженості.

Це і є шукане співвідношення між різницею потенціалів і напруженістю. Його можна записати також у вигляді $E = U/d$.

Оскільки під час переміщення позитивного заряду в напрямку напруженості електростатичне поле виконує позитивну роботу, то потенціал φ_1 більший від потенціалу φ_2 . Отже, напруженість електричного поля напрямлена у бік убуття потенціалу.

Оскільки в системі СІ одиницю напруженості поля визначають, користуючись

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d},$$

формулою $E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$, то одиниця напруженості називається вольт на метр (скорочено В/м). Напруженість однорідного поля дорівнює 1 В/м, якщо різниця потенціалів між двома точками, з'єднаними вектором завдовжки 1 м і напрямленим уздовж напруженості поля, дорівнює 1 В.

5. 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 цій поверхні поле не виконує роботи. Отже, всі точки такої поверхні мають однаковий потенціал.

Поверхні рівного потенціалу називають екіпотенціальними поверхнями.

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

II. Закріплення нового матеріалу

1. Що таке потенціальна енергія?
2. Чи залежить робота з переміщення зарядженого тіла з однієї точки поля в іншу від форми траєкторії?
3. Напруга між двома точками поля дорівнює 100 В. Що це означає?
4. За якої умови переміщення електричного заряду з однієї точки електричного поля в іншу не потребує витрат енергії?
5. Чому дорівнює різниця потенціалів між точками зарядженого провідника?

Задача

1. Є два провідники, один з яких має заряд менший, але потенціал вищий, ніж в другого. Як будуть переміщатися електричні заряди під час доторкання провідників?

III. Домашнє завдання

1. Опрацювати теоретичний матеріал,
2. Дайте відповідь на питання:
 - 1) Як зміниться потенціальна й кінетична енергія позитивного заряду, що перебуває на порошині, яка вільно переміщається в полі точкового позитивного заряду за напрямком силової лінії?
 - 2) Як можна змінити потенціал провідної кулі, не торкаючись її й не міняючи її заряду?