

## Урок № 33-34

**Тема уроку:** Робота під час переміщення заряду в однорідному електричному полі

### Мета уроку:

- навчальна – сформулювати поняття роботи електричного поля; вивести формули роботи поля по переміщенню електричного заряду; продовжувати формувати в свідомості учнів поняття матеріальності електричного поля;
- розвивальна – розвивати уяву, творчі здібності учнів, вдосконалювати вміння застосовувати набуті знання на практиці;
- виховна – виховувати почуття відповідальності, взаємодопомоги, вміння виступати перед аудиторією.

### Матеріал до уроку

## Робота в електричному полі

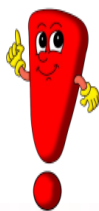
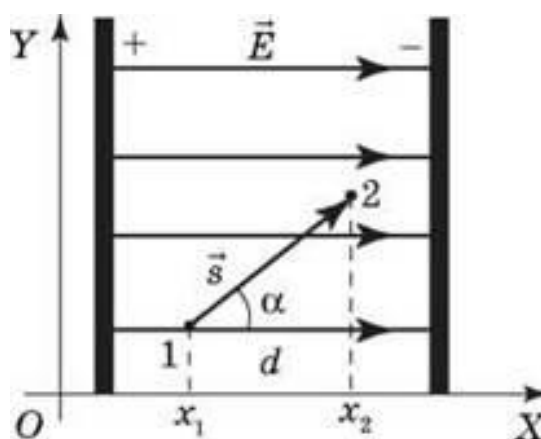
Нехай в однорідному електричному полі напруженістю  $E$  позитивний точковий заряд  $q$  переміщується із точки 1 з координатою  $x_1$  у точку 2 з координатою  $x_2$ .

Обчислимо роботу, яка буде виконана силами електростатичного поля з переміщення цього заряду. З курсу фізики 10-го класу ви знаєте, що робота  $A$ , яку виконує сила  $F$  з переміщення тіла, дорівнює:

$$A = FS \cos a$$

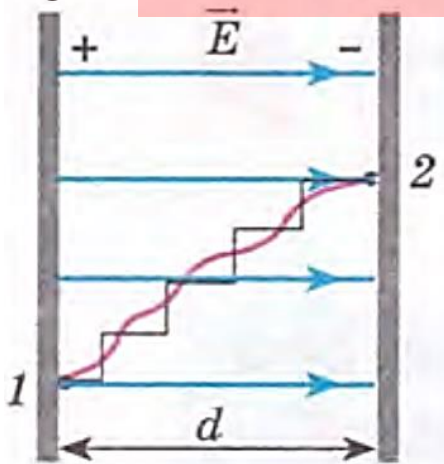
де  $\vec{s}$  переміщення тіла;  $a$  - кут між векторами  $\vec{F}$  і  $\vec{s}$ .

У нашому випадку сила  $\vec{F}$ , що діє на заряд  $q$ , дорівнює  $\vec{F} = \vec{E}S$ , а  $S \cos a = d = x_2 - x_1$  є проекцією вектора переміщення на напрямок силових ліній поля, який у даному випадку збігається з напрямком осі  $OX$ .



*Робота сил однорідного електростатичного поля в ході переміщення електричного заряду з точки 1 у точку 2 ( $A_{1 \rightarrow 2}$ ) дорівнює:*

$$A_{1 \rightarrow 2} = qEd$$

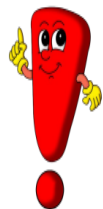


$$A_{1 \rightarrow 2} = qE(x_2 - x_1) \quad \text{або} \\ A_{1 \rightarrow 2} = qEd \quad (1)$$

Зверніть увагу: якби в даному випадку заряд переміщувався не з точки 1 у точку 2, а навпаки, то знак роботи змінився б на протилежний, тобто робота виконувалась би проти сил поля. Той самий результат

було б отримано, якби з точки 1 у точку 2 переміщувався не позитивний, а негативний заряд.

Формула (1) буде справджуватись у випадках руху заряду по будь-якій траєкторії. Справді, будь-яку лінію, що сполучає точки 1 і 2 в однорідному електростатичному полі, можна подати у вигляді ламаної, нескінченно малі ланки якої розташовані паралельно силовим лініям і перпендикулярно до них. У цьому випадку робота  $A_{1 \rightarrow 2}$ , яку виконують сили поля в ході переміщення заряду з точки 1 у точку 2, може бути подана у вигляді суми робіт:  $A_{1 \rightarrow 2} = A_{\parallel} + A_{\perp}$ , де  $A_{\parallel}$  і  $A_{\perp}$  - роботи, що виконуються силами поля на ділянках, відповідно паралельних силовим лініям і перпендикулярних до них. При цьому в разі переміщення заряду перпендикулярно до силових ліній робота поля дорівнює нулю.



*Робота сил однорідного електростатичного поля не залежить від форми траєкторії руху заряду в цьому полі, а визначається початковим та кінцевим положеннями заряду; у випадку замкненої траєкторії заряду робота сил поля дорівнює нулю*

Зазначені властивості має будь-яке електростатичне поле, а не тільки однорідне, тобто електростатичне поле є **потенціальним (консервативним)**.

## **Як пов'язані робота і потенціальна енергія**

Тіло, що перебуває в потенціальному полі, має потенціальну енергію, за рахунок зменшення якої сили поля виконують роботу. Тому заряджене тіло, поміщене в електростатичне поле, так само як і тіло, що перебуває в гравітаційному полі Землі, має потенціальну енергію. А різниця її значень у довільних точках 1 і 2 дорівнює роботі, яку повинні виконати сили поля, щоб перемістити заряджене тіло (заряд) із точки 1 у точку 2:

$$A_{1 \rightarrow 2} = W_{п1} - W_{п2}$$
$$A_{1 \rightarrow 2} = -\Delta W_{п}$$

де  $W_{п1}$  і  $W_{п2}$  - потенціальні енергії заряду в точках 1 і 2 відповідно.

Щоб дати коректне визначення потенціальної енергії заряду, необхідно домовитися про вибір нульової точки. Нагадаємо: нульовою називається точка, про яку домовляються, що в ній потенціальна енергія заряду дорівнює нулю. Зазвичай за нульову обирають будь-яку точку, що нескінченно віддалена від зарядів, які створюють поле:  $W_{п} \rightarrow 0$  якщо  $R \rightarrow \infty$ . У такому випадку  $W_{п2} = 0$ , а  $A_{1 \rightarrow 2} = W_{п1}$ .

Тобто потенціальна енергія заряду в даній точці електростатичного поля дорівнює роботі, яку має виконати поле для переміщення заряду з цієї точки в нескінченність.

## Закріплення нових знань і вмінь

**Задача 1.** Заряд ядра атома цинку рівний  $4,8 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}$ . Визначити потенціал електричного поля, створеного ядром атома цинку, на відстані  $10 \text{ нм}$ .

Дано:

$$q = 4,8 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}$$
$$d = 10 \text{ нм}$$

$$\varphi = k \frac{q}{d}$$

$$\varphi = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Нм}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{4,8 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}}{10 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 4,32 \text{ В}$$

$\varphi = ?$

Відповідь:  $4,32 \text{ В}$ .

**Задача 2.** Електрон летить з точки А до точки В, між якими різниця потенціалів рівна  $100 \text{ В}$ . Яку швидкість матиме електрон в точці В, якщо в точці А його швидкість була рівною нулю.

Дано:

$$\varphi = 100 \text{ В}$$

$$v_A = 0$$

$$A = q\varphi$$

$$A = \frac{mv_B^2}{2} - \frac{mv_A^2}{2}$$

$$q\varphi = \frac{mv_B^2}{2}$$

$$v_B = \sqrt{\frac{2q\varphi}{m}}$$

$$v_B = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 100 \text{ В}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} = 5,9 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

$v_B = ?$

Відповідь:  $5,9 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ .

**Задача 3.** Визначити зміну енергії і швидкості електрона, який пролітає в прискорювачі від точки з потенціалом  $\varphi_1$  до точки з потенціалом  $\varphi_2$ , якщо  $\Delta\varphi = 2 \cdot 10^6$  В.

**Дано:**

$$\Delta\varphi = 2 \cdot 10^6 \text{ В,}$$
$$Q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл,}$$
$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг.}$$

$$\Delta W_{\text{к}} - ? \quad \Delta v - ?$$

**Розв'язання**

Кінетична енергія електрона змінюється внаслідок того, що під час руху електрона виконується робота

$$A = \Delta W_{\text{к}}.$$

Враховавши, що  $\Delta W_{\text{к}} = \frac{m_e v^2}{2}$  і  $A = Q\Delta\varphi$ , одержимо

$$\frac{m(\Delta v)^2}{2} = Q\Delta\varphi.$$

Отже, зміна кінетичної енергії  $\Delta W_{\text{к}} = Q\Delta\varphi$ , а зміна швидкості  $\Delta v = \sqrt{\frac{2Q\Delta\varphi}{m}}$ .

За умовою задачі одержимо:

$$\Delta W_{\text{к}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ В} = 3,2 \cdot 10^{-13} \text{ Дж,}$$

$$\Delta v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ В}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} = 0,83 \cdot 10^9 \text{ м/с.}$$

**Відповідь:** зміна кінетичної енергії  $3,2 \cdot 10^{-13}$  Дж, а швидкості –  $0,83 \cdot 10^9$  м/с.

**Оголошення домашнього завдання**

Написати конспект, опрацювати §3 (підручника №2) с.15-16, виконати впр.1 на с. 19.

## Урок № 34

**Тема уроку:** Потенціал електричного поля. Різниця потенціалів. Зв'язок напруженості електричного поля з різницею потенціалів

### Мета уроку:

- навчальна – ознайомити учнів з енергетичною характеристикою електростатичного поля; навчити учнів розв'язувати стандартні задачі з даної теми;
- розвивальна – розвивати уяву, творчі здібності учнів, вдосконалювати вміння застосовувати набуті знання на практиці;
- виховна – виховувати почуття відповідальності, взаємодопомоги, вміння виступати перед аудиторією.

### Матеріал до уроку

## Потенціал електричного поля



*Потенціал електростатичного поля в даній точці - це скалярна фізична величина, яка характеризує енергетичні властивості електростатичного поля й дорівнює відношенню потенціальної енергії  $w_{\text{п}}$  електричного заряду, поміщеного в дану точку поля, до значення  $q$  цього заряду*

$$\varphi = \frac{W_{\text{п}}}{q}$$

Одиниця потенціалу в СІ - вольт (В):  $[\varphi] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}$ .

Формула для розрахунку потенціалу  $\varphi$  поля, створеного точковим зарядом  $Q$ , у точках, що розташовані на відстані  $r$  від заряду  $Q$ :

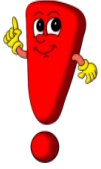
$$\varphi = k \frac{q}{r}$$

Коли поле утворене кількома довільно розташованими зарядами  $q_1, q_2, \dots, q_n$ , потенціал  $\varphi$  поля в будь-якій точці цього поля дорівнює алгебраїчній сумі потенціалів  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ , створюваних кожним зарядом окремо:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i$$

## Різниця потенціалів

Потенціал у певній точці може мати різні значення, зумовлені вибором нульової точки, тому практично важливу роль відіграє не сам потенціал, а різниця потенціалів, яка не залежить від вибору нульової точки.



*Різниця потенціалів - це різниця значень потенціалу в початковій і кінцевій точках траєкторії руху заряду*

Коли в електростатичному полі заряд рухається з точки 1 у точку 2, це поле виконує роботу, яка дорівнює зміні потенціальної енергії заряду, взятій із протилежним знаком:  $A_{1 \rightarrow 2} = -\Delta W_{\text{п}}$ . Отже,

$$A_{1 \rightarrow 2} = W_{\text{п1}} - W_{\text{п2}} \quad (1)$$

Якщо потенціальну енергію подати як  $W_{\text{п}} = q\varphi$  і цей вираз підставити у формулу (1), одержимо:

$$A_{1 \rightarrow 2} = q\varphi_1 - q\varphi_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Звідси:

$$\frac{A_{1 \rightarrow 2}}{q} = \varphi_1 - \varphi_2.$$



*Різниця потенціалів між двома точками - це скалярна фізична величина, яка дорівнює відношенню роботи сил електростатичного поля з переміщення заряду з початкової точки в кінцеву до значення цього заряду*

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{1 \rightarrow 2}}{q}$$

Одиниця різниці потенціалів в СІ - вольт (В). Різниця потенціалів між двома точками поля дорівнює 1 В, якщо для переміщення між ними заряду 1 Кл електричне поле виконує роботу 1 Дж.

Слід зазначити, що різницю потенціалів ( $\varphi_1 - \varphi_2$ ) у подібних випадках також називають напругою ( $U$ ).

Важливо не плутати зміну потенціалу  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$  і різницю потенціалів (напругу)  $\varphi_1 - \varphi_2$ .

## Як пов'язані напруженість електростатичного поля та різниця потенціалів

Розглянемо однорідне електричне поле на ділянці між будь-якими точками 1 і 2, що перебувають на відстані  $d$  одна від одної; нехай із точки 1 у точку 2 під дією поля переміщується заряд  $q$ . У цьому випадку виконувану полем роботу можна подати через різницю потенціалів  $\varphi_1 - \varphi_2$  між цими точками:

$$A_{1 \rightarrow 2} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

або через напруженість  $\vec{E}$  поля  $A_{1 \rightarrow 2} = qEd \cos a = qE_x d$ , де  $E_x = E \cos a$  – проекція вектора  $\vec{E}$  на вісь  $Ox$ , проведenu через точки 1 і 2. Порівнюючи обидва вирази для роботи, маємо:

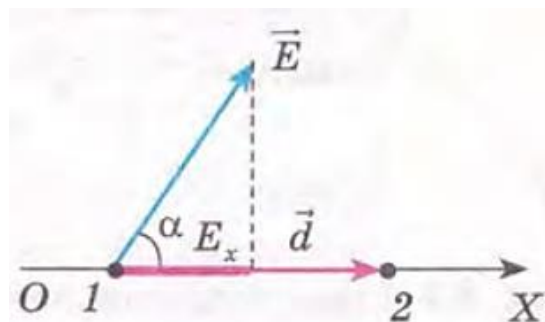
$$q(\varphi_1 - \varphi_2) = qE_x d$$

Звідси:  $\varphi_1 - \varphi_2 = E_x d$  або

$$E_x = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} \quad (2)$$

З урахуванням співвідношення  $\varphi_1 - \varphi_2 = -\Delta\varphi$  формула (2) набуває вигляду:

$$E_x = -\frac{\Delta\varphi}{d}$$



Очевидно, що аналогічні вирази можна написати для проекцій напруженості поля на інші осі координат. А у випадку, коли напрямки переміщення заряду та напруженості електричного поля збігаються, формула (2) набуває вигляду:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} \quad \text{або} \quad E = \frac{U}{d}$$

Одиниця напруженості поля в СІ – **вольт на метр**  $\left(\frac{\text{В}}{\text{м}}\right)$  – встановлено на підставі формули (2).

*Напруженість однорідного електричного поля дорівнює 1 В/м, якщо різниця потенціалів між точками, розташованими на відстані 1 м у цьому полі, дорівнює 1 В.*

Як уже говорилося, напруженість можна також подавати в ньютонях на кулон  $\left(\frac{\text{Н}}{\text{Кл}}\right)$ .

Дійсно:  $1 \frac{\text{В}}{\text{м}} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \cdot \frac{1}{\text{м}} = 1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Кл} \cdot \text{м}} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$ .

Аналіз формули (2) показує: чим менше змінюється потенціал електростатичного поля на даній відстані, тем меншою є напруженість цього поля; якщо ж потенціал не змінюється, то напруженість поля дорівнює нулю.

### **Еквіпотенціальні поверхні**

Для наочного уявлення електростатичного поля крім силових ліній використовують еквіпотенціальні поверхні.



*Еквіпотенціальна поверхня - це поверхня, в усіх точках якої потенціал електростатичного поля має однакове значення*



## Закріплення нових знань і вмінь

**Задача 1.** Електрон пройшов прискорювальну різницю потенціалів  $-300$  В. Визначте швидкість руху електрона, якщо початкова швидкість його руху дорівнювала нулю. Маса електрона  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг, значення його заряду  $-1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Дано:

$$\begin{aligned}\varphi_1 - \varphi_2 &= -300 \text{ В} \\ v_0 &= 0 \\ m &= 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \\ q &= -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}\end{aligned}$$

$v$ —?

СІ

*Аналіз фізичної проблеми*

Оскільки знак заряду електрона є від'ємним і початкова швидкість його руху дорівнює нулю, то під дією сил поля електрон рухатиметься в напрямку, протилежному напрямку силових ліній поля, тобто в напрямку збільшення потенціалу. Таким чином, поле буде виконувати додатну роботу, в результаті чого кінетична енергія електрона і, відповідно, швидкість його руху збільшуватимуться. Отже, скориставшись формулою для розрахунку роботи електростатичного поля, яка подана через різницю потенціалів

$$A = e(\varphi_1 - \varphi_2)$$

і теоремою про кінетичну енергію

$$A = \Delta W_K = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}, \quad \text{знайдемо шукану}$$

величину.

*Пошук математичної моделі*

Згідно з теоремою про кінетичну енергію:  $A = \Delta W_K = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$ , де  $A$  - робота сил поля, яка дорівнює  $A = e(\varphi_1 - \varphi_2)$ .

Таким чином  $e(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{mv^2}{2}$ . Звідси

$$v = \sqrt{\frac{2e(\varphi_1 - \varphi_2)}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}) \cdot (-300 \text{ В})}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} \approx 1,07 \cdot 10^7 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

*Перевірка розмірності*

$$v = \sqrt{\frac{\text{Кл}(\text{В} - \text{В})}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Кл} \cdot \text{В}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Кл} \cdot \text{Дж}}{\text{Кл} \cdot \text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\frac{\text{М} \cdot \text{Кг}}{\text{с}^2} \cdot \text{М}}{\text{Кг}}} = \sqrt{\frac{\text{М}^2}{\text{с}^2}} = \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

**Відповідь:**  $1,07 \cdot 10^7 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$ .

## **Оголошення домашнього завдання**

Написати конспект, опрацювати §3 с.16-18, впр.2,3,4 на с.19-20.

### **Зворотній зв'язок**

- **Viber** 0662728430
- **E-mail** [partitskiy.dmitro@kmerf.kiev.ua](mailto:partitskiy.dmitro@kmerf.kiev.ua)

**!!!! у повідомленні з д/з не забуваємо вказувати прізвище, групу і дату уроку**