

Фізика 10

Урок 91 Робота з переміщення заряду в електростатичному полі. Потенціал

Мета уроку:

Навчальна: Формувати уявлення про роботу з переміщення заряду в електричному полі, формувати знання про потенціальну енергію взаємодії точкових зарядів; формувати уявлення про потенціал як енергетичну характеристику електричного поля та фізичний зміст різниці потенціалів; формувати розуміння про зв'язок між різницею потенціалів та напруженістю.

Розвивальна. Сприяти збагаченню словникового запасу; формуванню пізнавальної самостійності; розвитку спостережливості, уваги, пам'яті, уяви, мислення; виробленню звички до планування своїх дій.

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: урок засвоєння нових знань.

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

Хід уроку

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Як розрахувати роботу з переміщення заряду в електростатичному полі?

Що називають потенціалом електростатичного поля?

III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

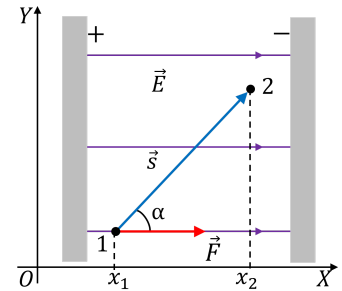
1. Робота з переміщення заряду в однорідному електростатичному полі

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

За означенням роботи: $A = Fs \cos \alpha$

Поле однорідне, тому сила $\vec{F}$ є незмінною: $F = qE$, а $s \cos \alpha = d = x_2 - x_1$

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



Зверніть увагу!

Формула $A_{1 \rightarrow 2} = qE(x_2 - x_1)$ буде справджуватись у випадках руху заряду будь-якою траєкторією. Тобто однорідне електростатичне поле є **потенціальним**.

Потенціальним є будь-яке електростатичне поле: робота електростатичних (кулонівських) сил (як і робота гравітаційних сил) не залежить від форми траєкторії, якою переміщується заряд, а визначається початковим і кінцевим положеннями заряду; у випадку замкненої траєкторії руху заряду робота сил поля дорівнює нулю.

2. Потенціальна енергія зарядженого тіла в полі, створеному точковим зарядом

В електростатичному полі робота з переміщення заряду між двома довільними точками 1 і 2 дорівнює зменшенню потенціальної енергії заряду в цьому полі: $A_{1 \rightarrow 2} = W_{p1} - W_{p2} = -\Delta W_p$

Потенціальну енергію взаємодії двох точкових зарядів Q і q , розташованих на відстані r один від одного, визначають за формулою: $W_p = k \frac{Qq}{r}$

Зверніть увагу!

1) Потенціальна енергія взаємодії зарядів додатна ($W_p > 0$), якщо заряди однойменні, і від'ємна ($W_p < 0$), якщо заряди різнойменні.

2) Якщо заряди нескінченно віддалити один від одного ($r \rightarrow \infty$), то $W_p = 0$ (заряди не взаємодіятимуть).

Таким чином, потенціальна енергія взаємодії двох точкових зарядів дорівнює роботі, яку має виконати електростатичне поле для збільшення відстані між цими зарядами від r до нескінченності.

3. Потенціал електростатичного поля

Потенціал φ електростатичного поля в даній точці – це скалярна фізична величина, яка характеризує енергетичні властивості поля і дорівнює відношенню потенціальної енергії W_p електричного заряду, поміщеного в дану точку поля, до значення q цього заряду.

$$\varphi = \frac{W_p}{q} \quad [\varphi] = 1 \text{ В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$$

Потенціал φ поля, створеного точковим зарядом Q , у точках, які розташовані на відстані r від цього заряду, можна розрахувати за формулою: $\varphi = k \frac{Q}{r}$

Зверніть увагу!

1) Якщо поле створене позитивним точковим зарядом ($Q > 0$), то потенціал цього поля в будь-якій точці є додатним ($\varphi > 0$).

2) Якщо поле створене негативним точковим зарядом ($Q < 0$), то потенціал цього поля в будь-якій точці є від'ємним ($\varphi < 0$).

3) Формула справджується і для потенціалу поля рівномірно зарядженої сфери (або кулі) на відстанях, які більші за її радіус або дорівнюють йому.

Принцип суперпозиції для потенціалів:

Якщо поле утворене кількома довільно розташованими зарядами, потенціал φ поля в будь-якій точці цього поля дорівнює алгебраїчній сумі потенціалів $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ полів, створених кожним зарядом: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$

4. Різниця потенціалів $A_{1 \rightarrow 2} = W_{p1} - W_{p2} \quad W_{p1} = q\varphi_1 \quad W_{p2} = q\varphi_2$

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

Різниця потенціалів – скалярна фізична величина, яка дорівнює відношенню роботи сил електростатичного поля з переміщення заряду з початкової точки в кінцеву до значення цього заряду.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{1 \rightarrow 2}}{q} \quad [\varphi_1 - \varphi_2] = 1 \text{ В}$$

Різницю потенціалів $\varphi_1 - \varphi_2$ – у подібних випадках також називають напругою U .

5. Напруженість електростатичного поля і різниця потенціалів

Розглянемо однорідне електростатичне поле на ділянці між точками 1 і 2.

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

$$A_{1 \rightarrow 2} = F s \cos \alpha = q E d \cos \alpha = q E_x d \quad E_x = E \cos \alpha$$

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

У випадку коли напрямок переміщення заряду і напрямок напруженості електричного поля збігаються ($\vec{E} \uparrow \vec{s}$), ця формула набуває вигляду:

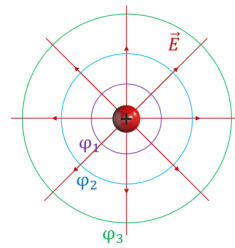
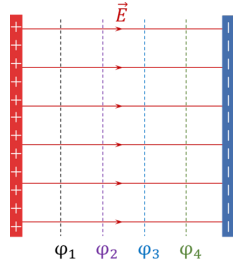
$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} \quad \text{або} \quad E = \frac{U}{d} \quad [E] = 1 \frac{\text{В}}{\text{м}} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

6. Еквіпотенціальні поверхні

Еквіпотенціальна поверхня – це поверхня, в усіх точках якої потенціал електростатичного поля має однакове значення.

Якщо електричний заряд переміщується по еквіпотенціальній поверхні, то робота поля дорівнює нулю, оскільки $A_{1 \rightarrow 2} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$, а на еквіпотенціальній поверхні $\varphi_1 = \varphi_2$.

Під час руху заряду вздовж екіпотенціальної поверхні вектор сили $\vec{F}$, а отже, й вектор напруженості $\vec{E}$ поля в будь-якій точці перпендикулярні до вектора переміщення $\vec{s}$. Таким чином, *силові лінії електростатичного поля перпендикулярні до екіпотенціальних поверхонь*.



IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. Обчисліть роботу однорідного електростатичного поля напруженістю 50 Н/Кл, в якому заряд величиною 4 мкКл переміщується на 5 см у напрямі силових ліній поля.

Дано:

$$E = 50 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

$$q = 4 \text{ мкКл} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$d = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$A = ?$

Розв'язання

$$A = qEd \quad [A] = \text{Кл} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \cdot \text{м} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$$

$$A = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $A = 10 \text{ мкДж}$.

2. Яку роботу виконало поле, переміщуючи заряд 8 нКл між точками, різниця потенціалів між якими дорівнює 25 В?

Дано:

$$q = 8 \text{ нКл} = 8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 25 \text{ В}$$

$A = ?$

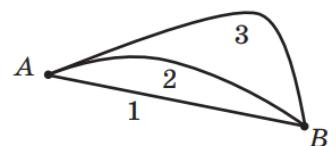
Розв'язання

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) \quad [A] = \text{Кл} \cdot \text{В} = \text{Кл} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{Дж}$$

$$A = 8 \cdot 10^{-9} \cdot 25 = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $A = 0,2 \text{ мкДж}$.

3. Заряд переміщують із точки A у точку B трьома різними траєкторіями (див. рисунок). У якому випадку виконується найбільша робота?



$$A_1 = A_2 = A_3$$

4. На якій відстані від точкового заряду 50 нКл потенціал електричного поля, створеного цим зарядом, дорівнює 45 В?

Дано:

$$q = 50 \text{ нКл} = 50 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$\varphi = 45 \text{ В}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

$r = ?$

$$\begin{aligned} \text{Розв'язання} \quad \varphi &= k \frac{q}{r} \Rightarrow r = \frac{kq}{\varphi} \\ [r] &= \frac{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \text{Кл}}{\text{В}} = \frac{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}}{\text{Дж}} = \text{м} \end{aligned}$$

$$r = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 50 \cdot 10^{-9}}{45} = 10 \text{ (м)}$$

Відповідь: $r = 10 \text{ м}$.

5. Напруженість електричного поля між двома пластинами 25 кВ/м, напруга між ними 5 кВ. Знайти відстань між пластинами.

Дано:

$$E = 25 \frac{\text{кВ}}{\text{м}} = 25 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$U = 5 \text{ кВ} = 5 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$d = ?$$

Розв'язання

$$E = \frac{U}{d} \Rightarrow d = \frac{U}{E}$$

$$[d] = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{м}}} = \text{м} \quad d = \frac{5 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^3} = 0,2 \text{ (м)}$$

Відповідь: $d = 0,2 \text{ м}$.

6. Заряди q і $-q$ розташовані на відстані $2R$ один від одного. Знайти потенціал електричного поля в точці, розташованій посередині відрізка, що з'єднує заряди.

Дано:

$$q_1 = q$$

$$q_2 = -q$$

$$r = 2R$$

$$\varphi = ?$$

Розв'язання $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$; $\varphi_1 = k \frac{q_1}{\frac{r}{2}} = k \frac{q}{R}$ $\varphi_2 = k \frac{q_2}{\frac{r}{2}} = k \frac{(-q)}{R}$

$$\varphi = k \frac{q}{R} + k \frac{(-q)}{R} = 0$$

Відповідь: $\varphi = 0$.

7. Знайти різницю потенціалів між точками, розташованими на відстанях 16 см і 20 см від заряду 4 нКл.

Дано:

$$r_1 = 16 \text{ см} = 0,16 \text{ м}$$

$$r_2 = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$q = 4 \text{ нКл} = 4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = ?$$

Розв'язання

$$\varphi_1 = k \frac{q}{r_1} \quad \varphi_2 = k \frac{q}{r_2}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = k \frac{q}{r_1} - k \frac{q}{r_2} = kq \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$[\varphi_1 - \varphi_2] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{\text{Кл}}{\text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-9} \cdot \left(\frac{1}{0,16} - \frac{1}{0,2} \right) = 45 \text{ (В)}$$

Відповідь: $\varphi_1 - \varphi_2 = 45 \text{ В}$.

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Як визначають роботу однорідного електростатичного поля з переміщення заряду в цьому полі? Чи залежить вона від форми траєкторії руху заряду?
2. Чому дорівнює потенціальна енергія взаємодії двох точкових зарядів?
3. Що називають потенціалом електростатичного поля?
4. Як розраховують потенціал поля точкового заряду?
5. Що таке різниця потенціалів?
6. Яким є співвідношення між напруженістю поля і різницею потенціалів для однорідного електростатичного поля?
7. Які поверхні називають еквіпотенціальними?
8. Як розташовані лінії напруженості поля відносно еквіпотенціальних поверхонь?

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 42, Вправа № 42 (1, 2)

Додаткові задачі

1. Порівняйте потенціали електричного поля в точках 1, 2 і 3.

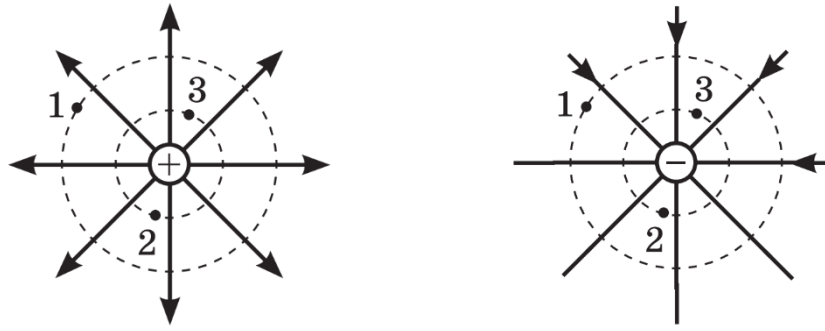


Рис. 1 $\varphi_2 = \varphi_3 > \varphi_1$

Рис. 2 $\varphi_2 = \varphi_3 < \varphi_1$ $\varphi_1 < 0$; $\varphi_2 < 0$; $\varphi_3 < 0$