

22.11.2022

Група 25

Фізика і астрономія

Урок 17-18

**Тема:** Робота під час переміщення заряду в однорідному електричному полі. Потенціал електричного поля. Різниця потенціалів. Зв'язок напруженості електричного поля з різницею потенціалів

**Мета:**

- Повторити теоретичний матеріал; узагальнити, систематизувати та поглибити знання учнів із теми; застосувати знання з фізики під час розв'язування прикладних задач; формувати уяву про процеси у природі;
- розвивати в учнів пізнавальний інтерес, уміння використовувати набуті знання, навички й уміння в нових ситуаціях; підвищити інтерес до вивчення фізики та астрономії; розвивати абстрактне та логічне мислення;
- виховувати у учнів повагу та зацікавленість до вивчення фізики та астрономії, старанність у навчанні; сприяти розширенню кругозору учнів.

### Матеріали до уроку:

#### 1 Як розрахувати роботу з переміщення заряду в однорідному електростатичному полі

Якщо електростатичне поле діє з деякою силою на електрично заряджені тіла, то воно здатне виконати роботу з переміщення цих тіл.

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  $x_2$  (рис. 42.1).

Обчислимо роботу  $A$ , яку виконує сила  $\vec{F}$ , що діє на заряд з боку електростатичного поля. За означенням роботи:  $A = F s \cos \alpha$ .

Поле однорідне, тому сила  $\vec{F}$  є незмінною, її модуль дорівнює:  $F = qE$ , а  $s \cos \alpha = d = x_2 - x_1$  є проекцією вектора переміщення на напрямок силових ліній поля. Отже, *робота сил однорідного електростатичного поля в ході переміщення електричного заряду  $q$  із точки 1 у точку 2 ( $A_{1 \rightarrow 2}$ ) дорівнює:*

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

*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 виконувалася б проти сил поля.

❓ Який результат було б отримано, якби з точки 1 у точку 2 переміщувався не позитивний, а негативний заряд?

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

Заряджене тіло, розміщене в електростатичному полі, так само як тіло, що перебуває в гравітаційному полі Землі, має потенціальну

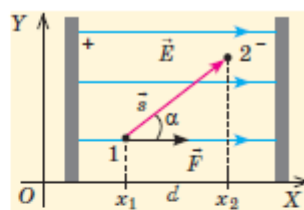


Рис. 42.1. До обчислення роботи сили однорідного електростатичного поля

*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.

енергію. Потенціальну енергію заряду, розташованого в електричному полі, зазвичай позначають символом  $W_p$ . Відповідно до теореми про потенціальну енергію зміна потенціальної енергії заряду, взята з протилежним знаком, дорівнює роботі, яку виконує електростатичне поле під час переміщення заряду із точки 1 у точку 2 поля:

$$-\Delta W_p = W_{p1} - W_{p2} = A_{1 \rightarrow 2}$$

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 Що називають потенціалом електростатичного поля

Потенціал  $\varphi$  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:

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

Одиниця потенціалу в СІ — **вольт**:  $[\varphi] = 1 \text{ В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \left( 1 \text{ В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \right)$ .

Із означення потенціалу випливає, що *потенціал  $\varphi$  поля, створеного точковим зарядом  $Q$ , у точках, які розташовані на відстані  $r$  від цього заряду, можна розрахувати за формулою:  $\varphi = k \frac{Q}{r}$  (\*).*

Із формули (\*) бачимо: 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 ( $\varphi < 0$ ). Формула (\*) справджується і для потенціалу поля рівномірно зарядженої сфери (або кулі) на відстанях, які більші за її радіус або дорівнюють йому.

Якщо поле утворене кількома довільно розташованими зарядами, потенціал  $\varphi$  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 Як визначають різницю потенціалів

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:  $A_{1 \rightarrow 2} = W_{p1} - W_{p2}$ . Оскільки  $W_p = q\phi$ , то  $A_{1 \rightarrow 2} = q\phi_1 - q\phi_2 = q(\phi_1 - \phi_2)$ . Вираз  $(\phi_1 - \phi_2)$  — різниця значень потенціалу  $\phi_1$  у початковій точці і потенціалу  $\phi_2$  у кінцевій точці траєкторії руху заряду — має назву *різниця потенціалів*.

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

$$\phi_1 - \phi_2 = \frac{A_{1 \rightarrow 2}}{q}$$

Одиниця різниці потенціалів в СІ — **вольт**:  $[\phi_1 - \phi_2] = 1 \text{ В (V)}$ .

Різниця потенціалів між двома точками поля дорівнює 1 В, якщо для переміщення між ними заряду 1 Кл електричне поле виконує роботу 1 Дж.

Зазначимо, що різницю потенціалів  $(\phi_1 - \phi_2)$  у подібних випадках також називають *напругою* ( $U$ ). Важливо не плутати зміну потенціалу  $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$  і різницю потенціалів (напругу)  $\phi_1 - \phi_2$ .

#### 5 Як пов'язані напруженість електростатичного поля і різниця потенціалів

Розглянемо *однорідне* електростатичне поле на ділянці між точками 1 і 2, розташованими на відстані  $d$  одна від одної; нехай із точки 1 у точку 2 під дією поля переміщується заряд  $q$  (рис. 42.2). Виконувану полем роботу можна подати через різницю потенціалів  $(\phi_1 - \phi_2)$  між точками 1 і 2:  $A_{1 \rightarrow 2} = q(\phi_1 - \phi_2)$  — або через напруженість  $\vec{E}$  поля:  $A_{1 \rightarrow 2} = F s \cos\alpha = qEd \cos\alpha = qE_x d$ , де  $E_x = E \cos\alpha$  — проекція вектора  $\vec{E}$  на вісь  $OX$ , проведену через точки 1 і 2.

Зіставивши обидва вирази для роботи, маємо:  $q(\phi_1 - \phi_2) = qE_x d$ , звідки:  $\phi_1 - \phi_2 = E_x d$ , або

$$E_x = \frac{\phi_1 - \phi_2}{d}.$$

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

$$E = \frac{\phi_1 - \phi_2}{d}, \text{ або } E = \frac{U}{d}$$

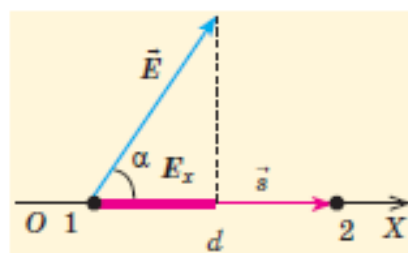


Рис. 42.2. До виведення формули зв'язку напруженості електричного поля та різниці потенціалів

#### 6 Які поверхні називають еквіпотенціальними

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

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



Для більшої наочності слід розглядати не одну екіпотенціальну поверхню, а їх сукупність. Проте графічно зобразити сукупність складних поверхонь на одному рисунку дуже важко, тому зазвичай зображують тільки лінії перетину екіпотенціальних поверхонь певною площиною (рис. 42.3).

Екіпотенціальні поверхні тісно пов'язані із силовими лініями електростатичного поля. Якщо електричний заряд переміщується по екіпотенціальній поверхні, то робота поля дорівнює нулю, оскільки  $A = q(\phi_1 - \phi_2)$ , а на екіпотенціальній поверхні  $\phi_1 = \phi_2$ . Цю роботу поля можна також подати через силу  $\vec{F}$ , що діє на заряд з боку електричного поля:  $A = Fscos\alpha$ , де  $s$  — модуль переміщення заряду;  $\alpha$  — кут між векторами  $\vec{F}$  і  $\vec{s}$ . Оскільки  $A = 0$ , а  $F \neq 0$  і  $s \neq 0$ , то  $cos\alpha = 0$ , отже,  $\alpha = 90^\circ$ . Це означає, що 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* (див. рис. 42.3).

*Зверніть увагу!* Симетрія екіпотенціальних поверхонь повторює симетрію джерел поля. Так, поле точкового заряду сферично симетричне, тож екіпотенціальними поверхнями поля точкового заряду є концентричні сфери; у випадку однорідного поля екіпотенціальні поверхні — це система паралельних площин.

1. Заряди  $q$  і  $2q$  розташовані на відстані  $R$  один від одного. Як зміниться потенціальна енергія взаємодії зарядів, якщо збільшити вдвічі відстань між зарядами? якщо збільшити вдвічі значення кожного заряду?

№1.  $W_{p1} = k \frac{Qq}{R}$ ; 1)  $W_{p2} = k \frac{Qq}{2R}$ ; 2)  $W_{p3} = k \frac{2Q \cdot 2q}{R} = k \frac{4Qq}{R}$ .

Відповідь: 1) зменшилась в 2 рази; 2) збільшилась в 4 рази.

2. В однорідному електричному полі напруженістю  $500 \text{ Н/Кл}$  перемістили заряд  $q = -40 \text{ нКл}$  у напрямку силової лінії поля на  $15 \text{ см}$ . Яку роботу виконало поле? Як змінилась потенціальна енергія заряду?

№2. Дано:

$$E = 500 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

$$q = -40 \text{ нКл} = -40 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$d = 15 \text{ см} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

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

$$A = ?, \Delta W_p = ?$$

$$A = qEd$$

$$A = -40 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \cdot 500 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \cdot 15 \cdot 10^{-2} \text{ м} =$$

$$= -3 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = -3 \text{ мкДж}$$

$\Delta W_p$  збільшилась.

Відповідь:  $A = -3 \text{ мкДж}$ ;  $W_p$  збільшилась.

4. В електростатичному полі із точки з потенціалом  $450 \text{ В}$  у точку з потенціалом  $900 \text{ В}$  рухається негативно заряджена частинка. Електричне поле виконує при цьому роботу  $1,8 \text{ мкДж}$ . Визначте модуль заряду частинки.

№4 Дано:

$$\varphi_1 = 450 \text{ В}$$

$$\varphi_2 = 900 \text{ В}$$

$$A = 1,8 \text{ мкДж} = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$|q| = ?$$

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

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

$$|q| = \left| \frac{1,8 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}}{450 \text{ В} - 900 \text{ В}} \right| = |-4 \cdot 10^{-9}| \text{ Кл} = 4 \text{ нКл}$$

Відповідь:  $|q| = 4 \text{ нКл}$

5. Електрон, рухаючись зі швидкістю  $3 \cdot 10^7 \text{ м/с}$ , влітає в електричне поле. Визначте різницю потенціалів, яку необхідно пройти електрону, щоб швидкість його руху зменшилася до  $1 \cdot 10^7 \text{ м/с}$ .

№5. Дано:

$$v_1 = 3 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 1 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

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

$$\Delta \varphi = ?$$

$$\Delta v = v_1 - v_2 = 3 \cdot 10^7 \text{ м/с} - 1 \cdot 10^7 \text{ м/с} = 2 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

$$\Delta \varphi = \frac{A}{e}$$

$$A = \Delta W_k = \frac{m v_2^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2} =$$

$$= \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot (1 \cdot 10^7)^2 \text{ м/с} - 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot (3 \cdot 10^7)^2 \text{ м/с}}{2} \approx$$

$$\approx -3,64 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

$$\Delta \varphi = \frac{-3,64 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}}{-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 2,275 \text{ В}$$

Відповідь:  $\Delta \varphi = 2,275 \text{ В}$ .

Домашнє завдання: пройти тест за посиланням  
<https://forms.gle/7tcVbxd2K9r78JyRA>.

Зворотній зв'язок:

E-mail [t.anastasia.igorivna@gmail.com](mailto:t.anastasia.igorivna@gmail.com)