



Підготовка до НМТ/ЗНО з фізики

ЕЛЕКТРОСТАТИКА



ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД

1) Позитивним або
негативним

$$q \text{ [Кл]}$$

1) Елементарний =
найменший

$$q_e = q_p$$

Негативний –
електрон (e)

Позитивний –
протон (p)

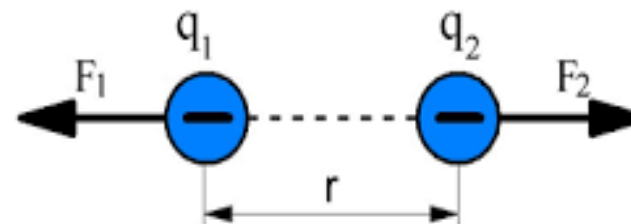
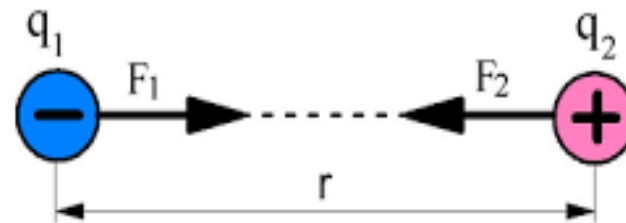
$$q_e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$



ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД

3) Електричний заряд тіла дорівнює цілому числу елементарних зарядів

$$q = N \cdot e$$



3) Сили притягання та відштовхування



ЗАКОН КУЛОНА

Точкові заряди

Сила пропорційна добутку абсолютних значень зарядів (q_1 і q_2) і обернено пропорційна квадрату відстані між ними (r)

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



ЗАКОН КУЛОНА

Константи

1) електрична стала

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

1) відносна діелектрична
проникність
середовища

ε

$$\varepsilon = 1$$

для вакууму і повітря
для діелектриків

$$\varepsilon > 1$$

3) електрична стала
вакууму

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = k \text{ [м/Ф]}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$$



ЗАКОН КУЛОНА

Векторна форма

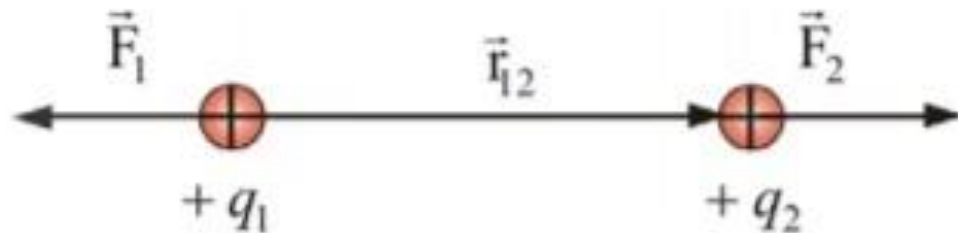
Електростатичні
Центральні
Потенціальні

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^3} \cdot \vec{r}$$

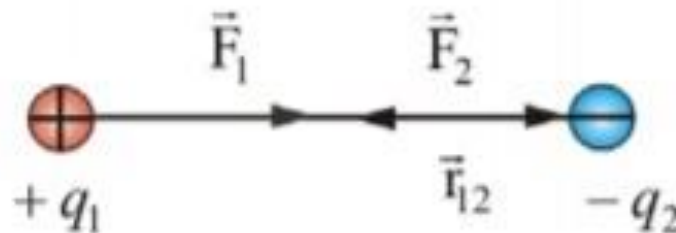
\vec{r} – радіус-вектор, що з'єднує заряди q_1 і q_2



ЗАКОН КУЛОНА



$$F_1 = -F_2$$



Взаємодія зарядів підкоряється третьому закону Ньютона:

сили взаємодії між зарядами рівні за величиною і спрямовані протилежно один одному уздовж прямої, що зв'язує ці заряди



НАПРУЖЕНІСТЬ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ

Силова характеристика
електростатичного поля

Це сила, що діє на
одичний ($q_0 = 1$ Кл)
позитивний заряд,
розміщений в даній точці
поля

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

$E \left[\frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \right]$



НАПРУЖЕНІСТЬ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ

Напруженість
електростатичного поля
точкового заряду q

$$E = \frac{q}{2\varepsilon_0\varepsilon S}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{q}{r^2}$$

Напруженість
електростатичного поля
рівномірно зарядженої
пластини площею S

$$\frac{q}{S} = \sigma \text{ [Кл/м]}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon}$$

Напруженість
електростатичного поля між
двома рівномірно
зарядженими паралельними
площинами з однаковою
густиною заряду σ

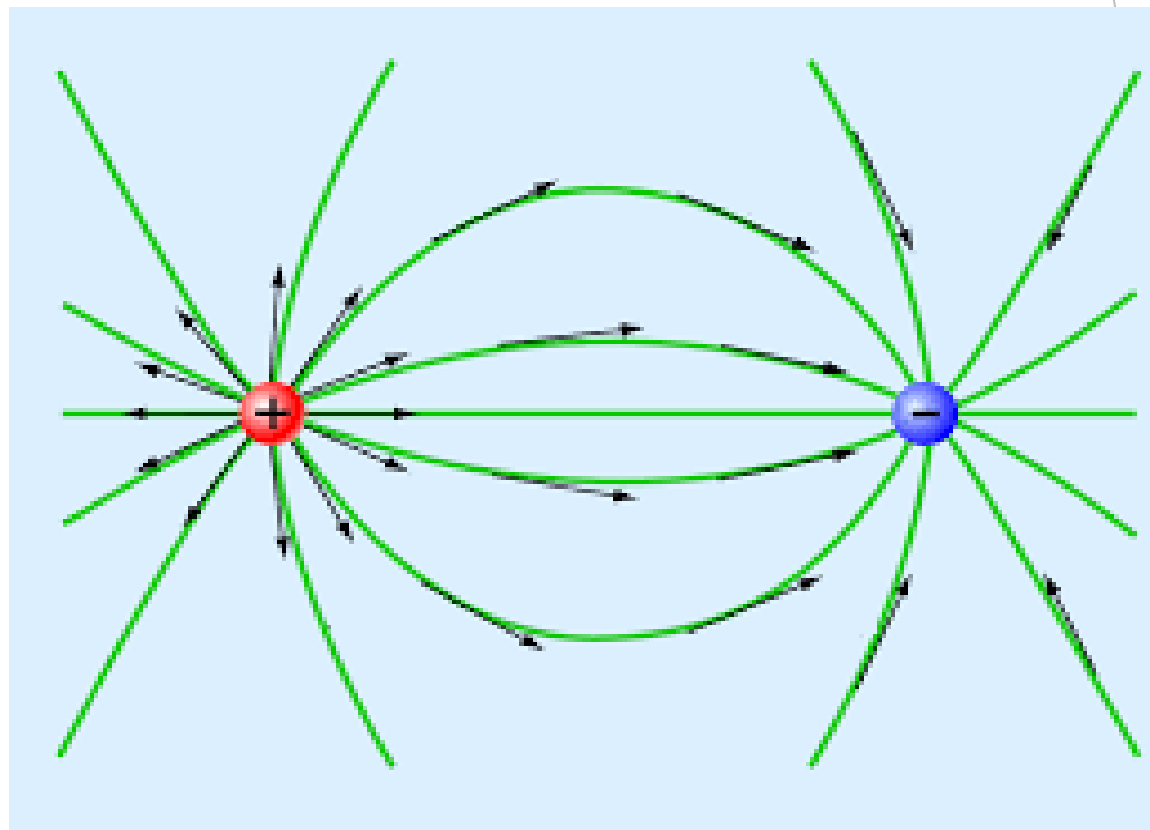
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon}$$



СИЛОВІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ

Уявлені лінії

- 1) починаються на позитивних зарядах і закінчуються на негативних
- 2) ніде не перетинаються
- 3) завжди перпендикулярні поверхні провідника



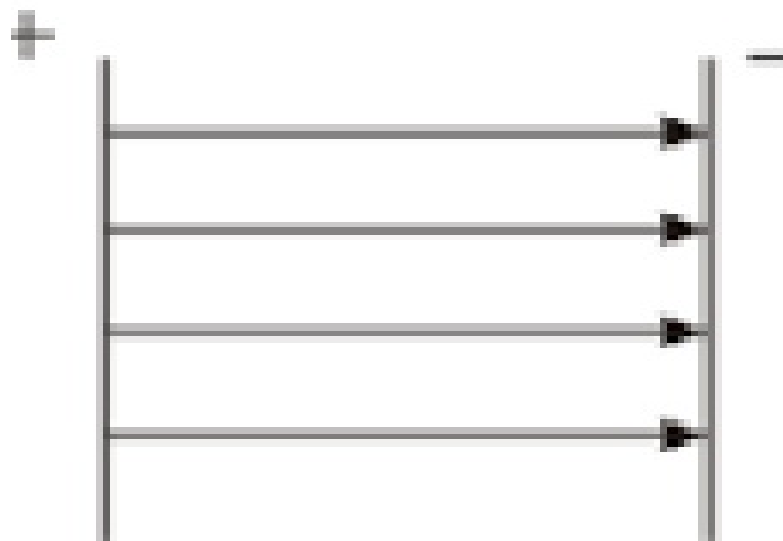
вектор напруженості в даній точці поля - по дотичній



СИЛОВІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ

4) розподілення силових ліній визначає характер поля

однорідне

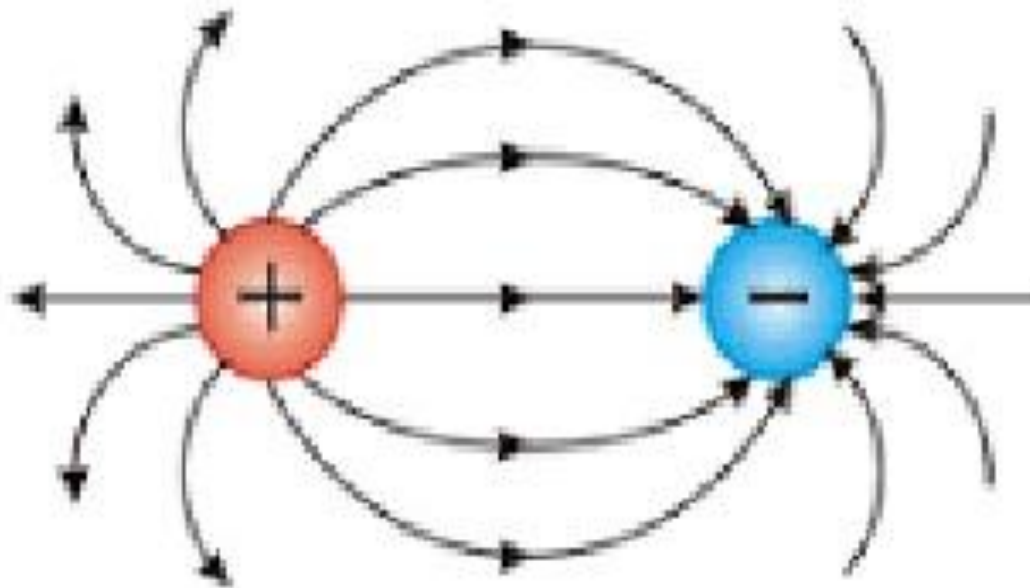




СИЛОВІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ

4) розподілення силових ліній визначає характер поля

неодноріднене

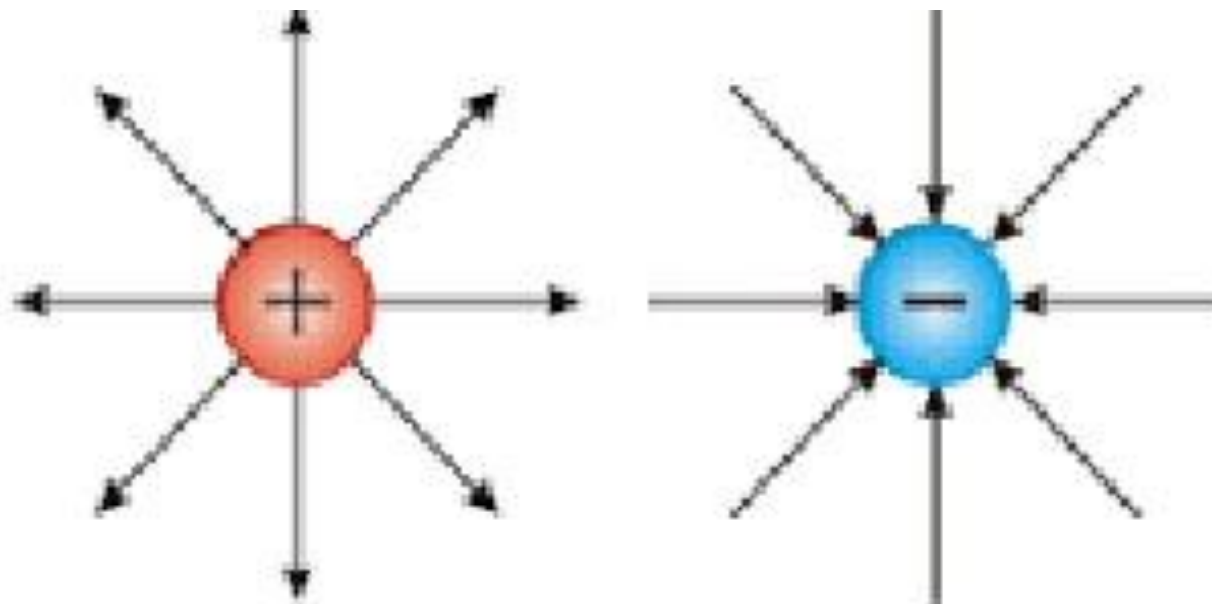




СИЛОВІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ

4) розподілення силових ліній визначає характер поля

радіальне

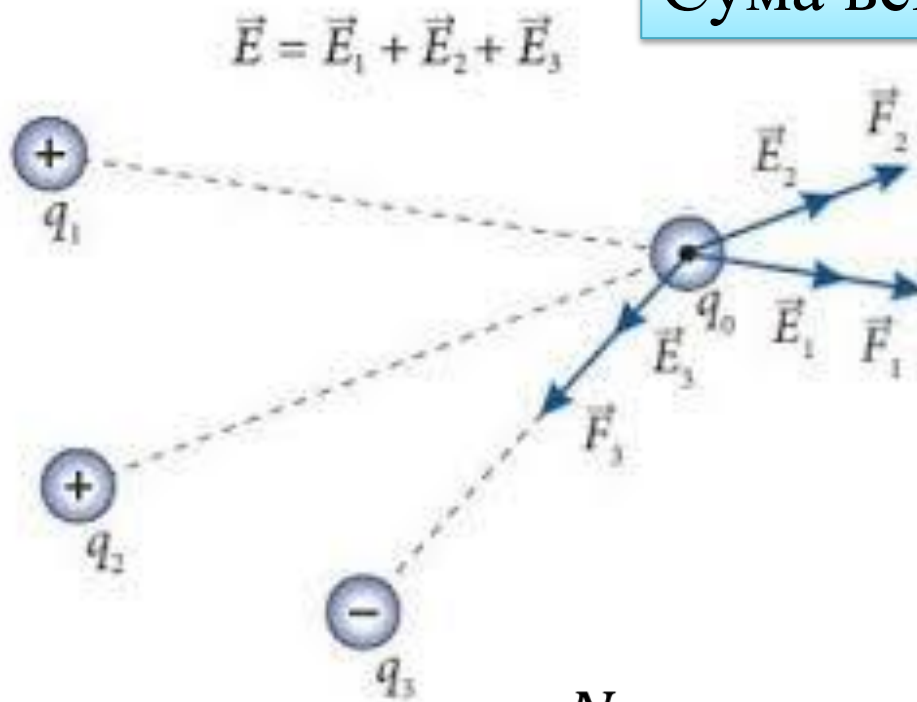




ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦІЇ

Напруженість
електростатичного поля
системи з N зарядів
дорівнює векторній сумі
напруженості полів, які
створюються кожним із
зарядів окремо

Сума векторів !!!!



$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i$$



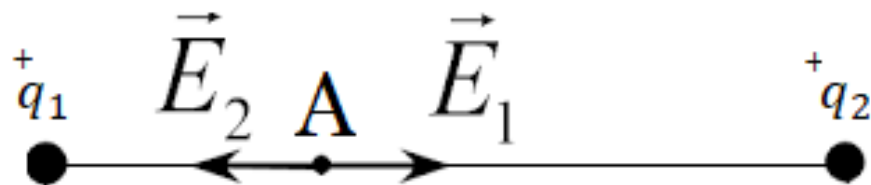
ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦІЇ

Сума векторів !!!!

Визначення напруженості
електростатичного поля
двох зарядів в точці, яка
лежить на прямій між
цими зарядами

1) різнойменні заряди

1) однойменні заряди

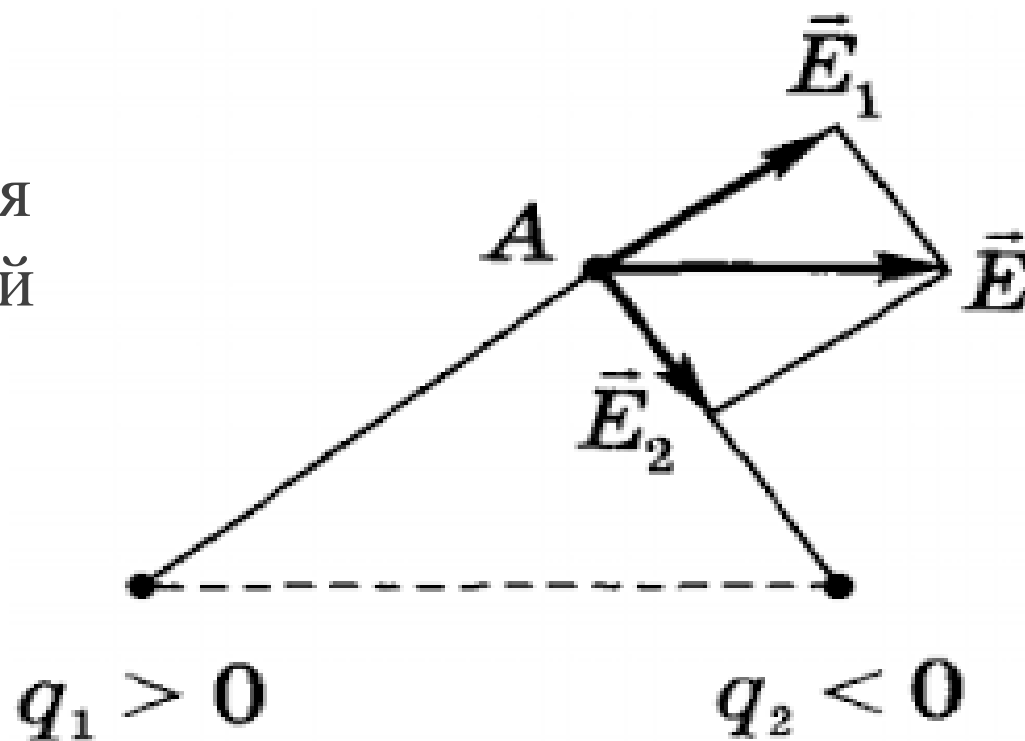




ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦІЇ

Сума векторів !!!!

Визначення
напруженості
електростатичного поля
двох зарядів у довільній
точці





Задача 1

Точкові заряди 10^{-7} Кл та 10^{-6} Кл взаємодіють у вакуумі з силою 0,36 Н. Потім їх занурили в керосин ($\epsilon_{\text{кер}} = 2$). На скільки треба змінити відстань між ними, щоб сила взаємодії не змінилась?



$$q_1 = 10^{-7} \text{ Кл}$$
$$q_2 = 10^{-6} \text{ Кл}$$
$$r = 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м}$$
$$F = 0,36 \text{ Н}$$
$$\varepsilon_{\text{кер}} = 2$$

$$(r_1 - r_2) - ?$$

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \frac{q_1q_2}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$$

$$F = \frac{k}{\varepsilon} \cdot \frac{q_1q_2}{r^2}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$F_1 = k \cdot \frac{q_1q_2}{r_1^2}$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{kq_1q_2}{F_1}}$$

$$\varepsilon_{\text{кер}} = 2$$

$$F_2 = \frac{k}{\varepsilon_{\text{кер}}} \cdot \frac{q_1q_2}{r_2^2}$$

$$r_2 = \sqrt{\frac{kq_1q_2}{\varepsilon_{\text{кер}}F_2}}$$



$$F_1 = F_1 = F$$

$$r_1 - r_2 = \sqrt{\frac{kq_1q_2}{F} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{\text{кер}}}} \right)}$$

Відповідь: $1,5 \cdot 10^{-2}$ м



Задача 2

На шовковій нитці висить кулька масою 0,5 г заряд якої дорівнює $- 9,8 \cdot 10^{-9}$ Кл. На який кут відхилиться нитка, якщо кульку внести в однорідне електричне поле з напруженістю $5 \cdot 10^7$ Н/Кл спрямованої горизонтально?

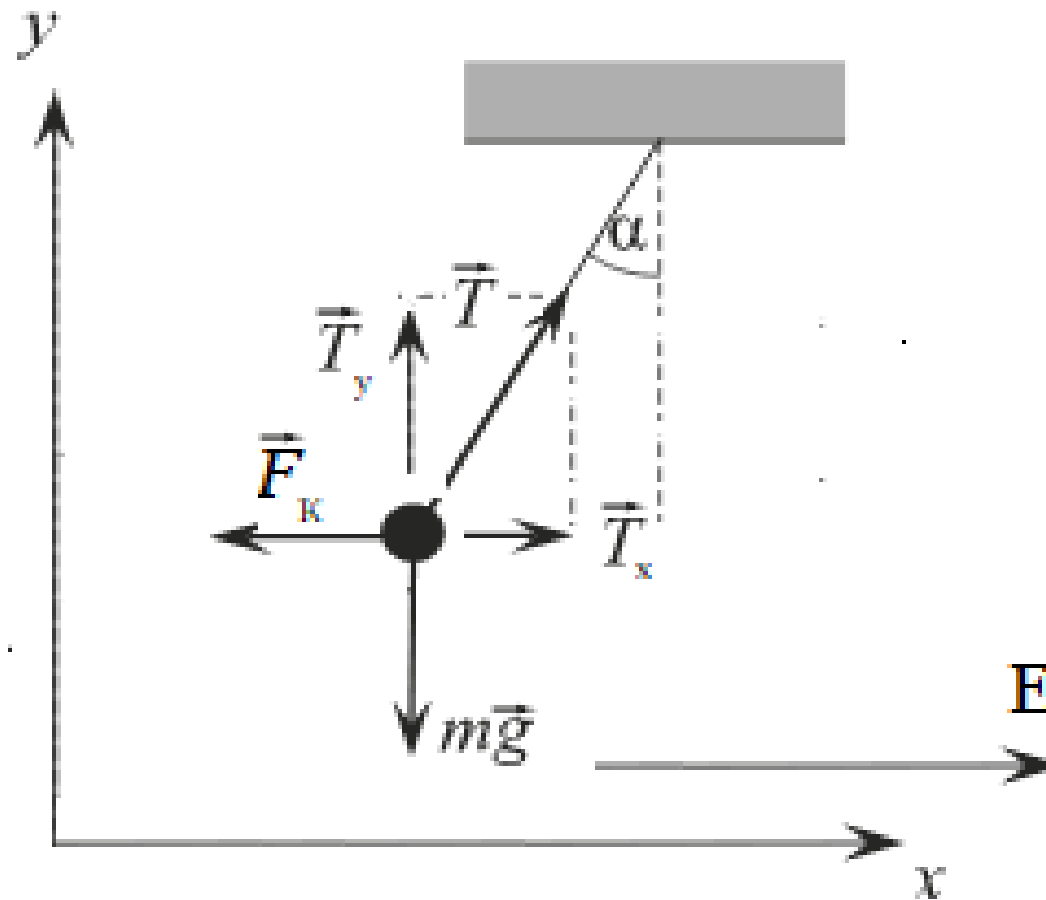


$$m = 0,5 \text{ г} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$$

$$q = -9,8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$E = 5 \cdot 10^4 \text{ Н/Кл}$$

α - ?



$$\vec{m\vec{g}} + \vec{T} + \vec{F_K} = 0$$



В проекції на вісь X

$$T_x + F_K = 0$$

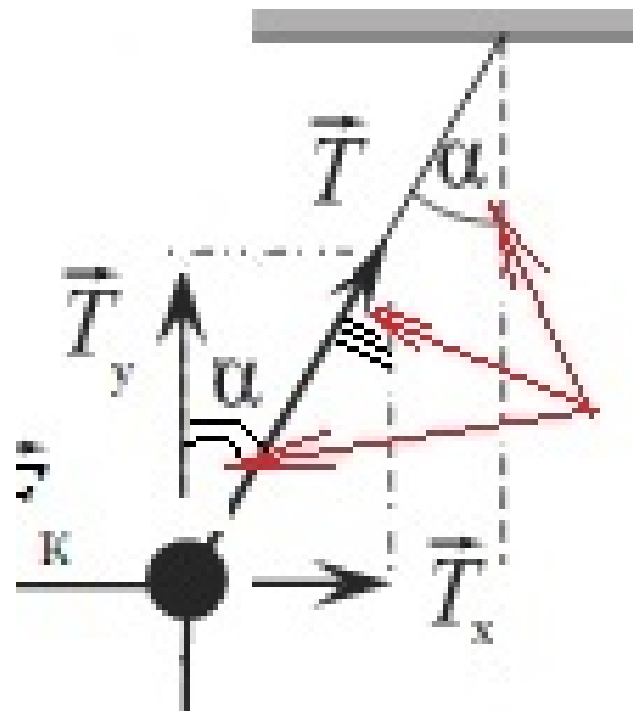
В проекції на вісь Y

$$-mg + T_y = 0$$

$$\begin{cases} T \cdot \sin \alpha + q \cdot E = 0 \\ -mg + T \cdot \cos \alpha = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sin \alpha = -\frac{q \cdot E}{T} \\ T = \frac{mg}{\cos \alpha} \end{cases}$$

Теорема про кути,
утворені двома
паралельними прямими і
січною





$$\sin \alpha = -\frac{qE \cdot \cos \alpha}{mg}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = -\frac{qE}{mg}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{qE}{mg}$$

Відповідь: $\alpha \approx 6^\circ$



Задача 3

Електричне поле створене двома точковими зарядами $3 \cdot 10^{-8}$ Кл та -10^{-8} Кл. Відстань між зарядами 20 см. Визначити напруженість електричного поля в точці А, що знаходиться на відстані 15 см від першого заряду та на відстані 10 см від другого.



$$q_1 = 3 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

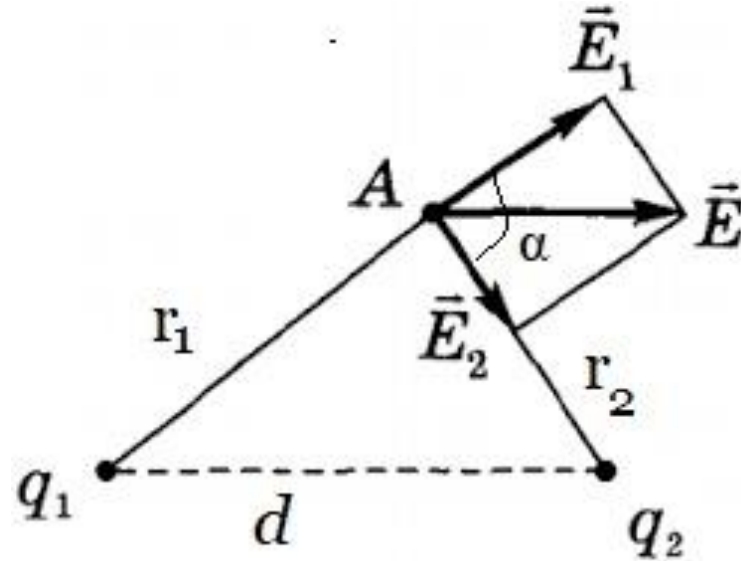
$$q_2 = -10^{-8} \text{ Кл}$$

$$r_1 = 15 \text{ см} = 0,15 \text{ м}$$

$$r_2 = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$d = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$E - ?$



Згідно з принципом суперпозиції
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

Правило додавання векторів

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$$

$$\begin{cases} E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r_1^2} \\ E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r_2^2} \\ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = k = 9 \cdot 10^9 \end{cases}$$
$$\begin{cases} E_1 = k \cdot \frac{q}{r_1^2} \\ E_2 = k \cdot \frac{q}{r_2^2} \end{cases}$$

В даному випадку
рекомендую
розрахувати спочатку
 E_1 і E_2 , а для
розрахування E брати
ці значення

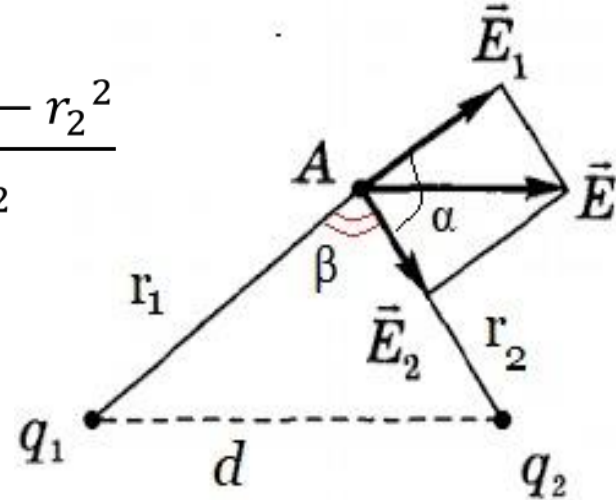
для розрахування E залишається невідомим
 $\cos \alpha$

знаходимо його за теоремою синусів
трикутника $q_1 A q_2$, враховуючи що
 $\alpha = \pi - \beta$

$$d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \beta$$

тоді

$$\cos \alpha = \frac{d^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1 r_2}$$



Відповідь: $E = 1,67 \cdot 10^4$ Н/Кл

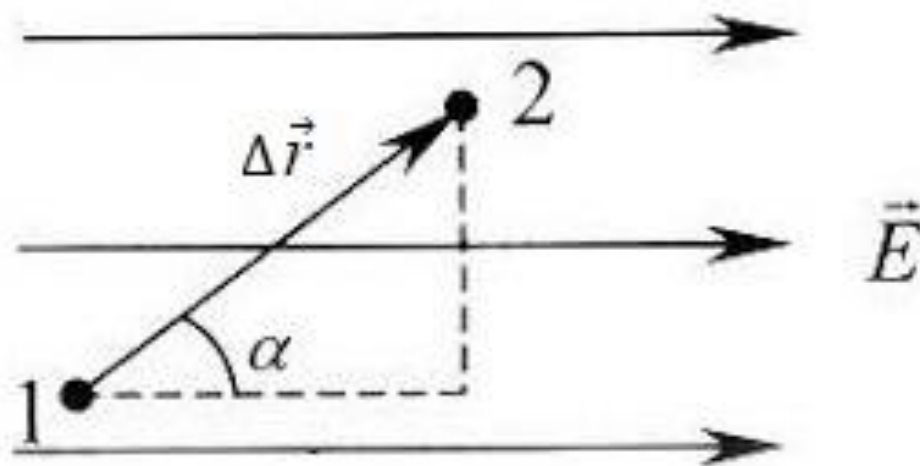


РОБОТА СИЛ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ

Однорідне електростатичне
поле \vec{E}

Позитивний заряд q

Переміщується під дією
сили $F_{\text{Кулона}}$



$$A = \overrightarrow{F_{\text{Кулона}}} \cdot \Delta \vec{r}$$

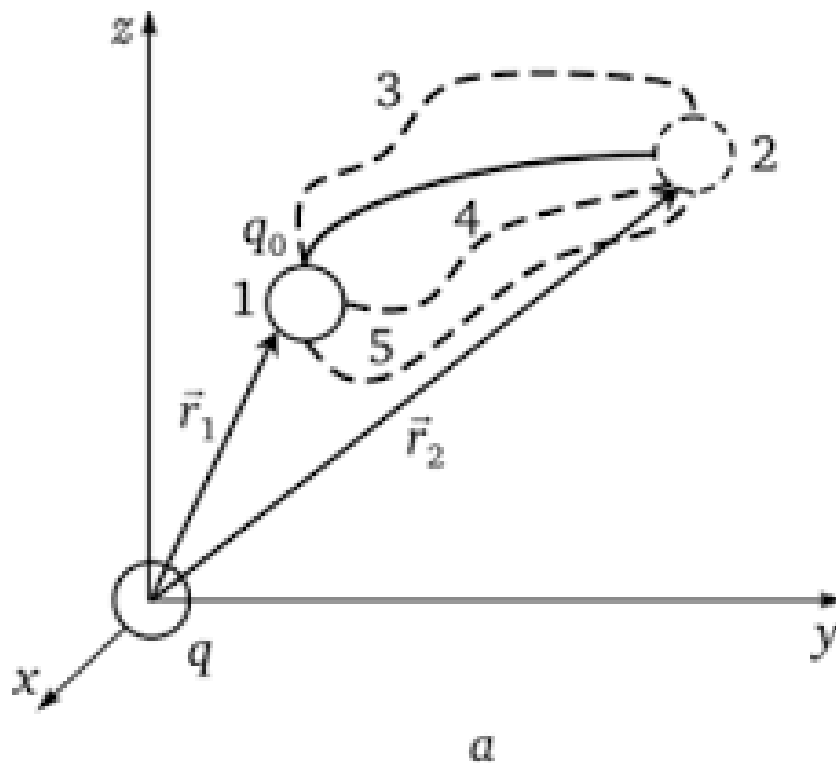
$$A = q \cdot |\vec{E}| \cdot |\Delta \vec{r}| \cdot \cos \alpha$$



РОБОТА СИЛ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ

- не залежить від форми траєкторії
- залежить від положення цих точок
- робота по замкнутій траєкторії дорівнює нулю

$$A = q \cdot |\vec{E}| \cdot |\Delta\vec{r}| \cdot \cos \alpha$$





ПОТЕНЦІАЛЬНА ЕНЕРГІЯ ЗАРЯДУ

Потенціальна енергія заряду дорівнює роботі, яку може виконати кулонівська сила при переміщенні цього заряду на відстань Δx

$$W_p = A = qE \cdot \Delta x$$



ПОТЕНЦІАЛ

Потенціалом електростатичного поля в даній точці називається скалярна величина, яка дорівнює потенціальній енергії одиночного позитивного заряду q_0 , якщо його помістити в цю точку

$$\varphi = \frac{W_p}{q_0} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В} \right]$$

Потенціал електростатичного поля, створеного точковим зарядом q – це робота віддалення одиночного позитивного заряду q_0 на відстань r

$$\varphi = \frac{A}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q}{r}$$



ПОТЕНЦІАЛ

Потенціал поля, створеного декількома зарядами, дорівнює *алгебраїчній сумі* потенціалів, що створюються окремими зарядами

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_N$$



РІЗНИЦЯ ПОТЕНЦІАЛІВ

Різниця потенціалів – це робота
переміщення одиночного позитивного
заряду з точки **1** в точку **2**

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}$$



РІЗНИЦЯ ПОТЕНЦІАЛІВ

Різниця
потенціалів

- У полі точкового заряду q
- Між двома паралельними рівномірно і різнойменно зарядженими пластинами

Також називається напругою
 U

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\sigma \cdot d}{\varepsilon_0\varepsilon}$$

$$\Delta\varphi = U$$



Задача 4

Дві паралельні пластини площею $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ кожна знаходяться у повітрі, заряджені різнойменними зарядами 10^{-7} Кл . Яку роботу треба виконати, щоб збільшити відстань між пластинами на $0,1 \text{ мм}$?



$$S = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$q = 10^{-7} \text{ Кл}$$

$$\Delta x = 0,1 \text{ мм} = 10^{-4} \text{ м}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

$A - ?$

$$A = F \cdot \Delta x$$

$$F = q \cdot E$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{q}{S \varepsilon_0 \varepsilon}$$

$$A = \frac{q^2 \cdot \Delta x}{S \varepsilon_0 \varepsilon}$$

Відповідь: $A = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$



Задача 5

Визначити різницю потенціалів між точками, що знаходяться на відстанях 16 см та 20 см від заряду 4 нКл



$$q_1 = 4 \text{ нКл} = 4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

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

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

$$\varepsilon = 1$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = ?$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Відповідь: 45 В



Задача 6

Електрон, рухаючись під дією електричного поля, збільшив свою швидкість з 10 Мм/с до 30 Мм/с . Знайти різницю потенціалів між початковою і кінцевою точками переміщення.



$$v_1 = 10 \text{ ММ/с} = 10^7 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 30 \text{ ММ/с} = 3 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

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

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = ?$$

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

$$A = W_{p1} - W_{p2}$$

$$W_{p1} - W_{p2} = W_{k2} - W_{k1}$$

$$W_{k1} = \frac{m_e v_1^2}{2}; \quad W_{k2} = \frac{m_e v_2^2}{2}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{m_e}{2q_e} (v_2^2 - v_1^2)$$

Відповідь: $2,3 \cdot 10^3 \text{ В}$



ЕЛЕКТРОЄМНІСТЬ

$$C = \frac{q}{\varphi} \left[\frac{\text{Кл}}{\text{В}} = \Phi \right]$$

Ємність кулі радіусом R

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot R$$

Ємність двох провідників з потенціалами φ_1 та φ_2

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



КОНДЕНСАТОРИ

З двох провідників у вигляді пластин, заряджених різнойменними, рівними за абсолютною величиною зарядами

Ємність плоского конденсатора

Ємність конденсатора, що складається з N паралельних пластин



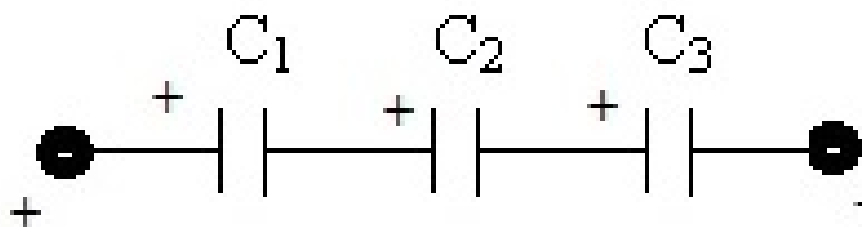
$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot S}{d}$$

$$C = (N - 1)C_i$$



СПОЛУЧЕННЯ КОНДЕНСАТОРІВ

Послідовне



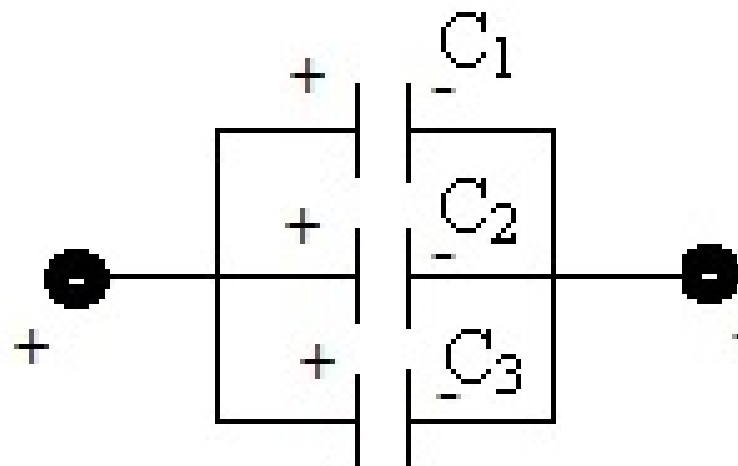
Сумарна ємність при
послідовному
сполученні

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$



СПОЛУЧЕННЯ КОНДЕНСАТОРІВ

Паралельне



Сумарна ємність при
паралельному сполученні

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$



ЕНЕРГІЯ ЗАРЯДЖЕНОГО КОНДЕНСАТОРА

$$W = \frac{C \cdot U^2}{2}$$



Задача 7

Скільки електронів знаходиться на поверхні металевої кулі діаметром 4 см зарядженої у вакуумі до потенціалу 100 В



$$d = 4 \text{ см} = 0,04 \text{ м}$$

$$\varphi = 100 \text{ В}$$

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

$$\varepsilon = 1$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

$$N - ?$$

$$N = \frac{q}{q_e}$$

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

$$N = \frac{C \cdot \varphi}{q_e}$$

Ємність кулі

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot R = 2\pi\varepsilon_0\varepsilon d$$

$$N = \frac{2\pi d \cdot \varphi}{q_e}$$

Відповідь: $137 \cdot 10^6$



Задача 8

Ємність одного конденсатора 200 пФ , а другого 1 мкФ . Порівняти заряди, що накопичені на цих конденсаторах за умови їх підключення до полюсів одного й того самого джерела постійної напруги.



$$C_1 = 200 \text{ пФ} = 2 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$$

$$C_2 = 1 \text{ мкФ} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$U_1 = U_2 = U$$

$$\frac{q_1}{q_2} = ?$$

$$C_1 = \frac{q_1}{U_1}$$
$$C_2 = \frac{q_2}{U_2}$$

$$U_1 = U_2 = U$$
$$C_1 = \frac{q_1}{U}$$
$$C_2 = \frac{q_2}{U}$$

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{C_1}{C_2}$$

Відповідь: $\frac{q_1}{q_2} = 2 \cdot 10^{-4}$



Задача 9

Після введення твердого діелектрика у проміжок між пластинами повітряного конденсатора напруга на конденсаторі зменшилась з 350 В до 50 В. Якою є діелектрична проникність діелектрика?



$$U_1 = 350 \text{ В}$$

$$U_2 = 50 \text{ В}$$

$$\varepsilon_1 = 1$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

$$\varepsilon_2 = ?$$

Ємність двох провідників
(пластин) через різницю
потенціалів (напругу)

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}$$

Ємність плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot S}{d}$$

$$\frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot S}{d} = \frac{q}{U} \Rightarrow \varepsilon = \frac{qd}{US\varepsilon_0}$$



1) $\varepsilon_1 = 1$ (повітря)

$$\varepsilon_1 = 1 = \frac{qd}{U_1 S \varepsilon_0}$$

2) $\varepsilon_2 - ?$

$$\varepsilon_2 = \frac{qd}{U_2 S \varepsilon_0}$$

Розділити (2) на (1)

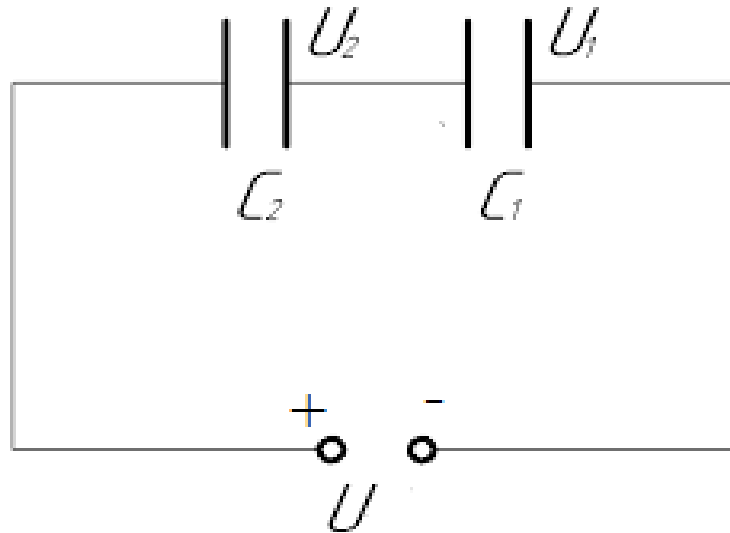
$$\varepsilon_2 = \frac{qd \cdot U_1 S \varepsilon_0}{qd \cdot U_2 S \varepsilon_0} = \frac{U_1}{U_2}$$

Відповідь: $\varepsilon_2 = 7$



Задача 10

Конденсатори ємністю 2 мкФ та 8 мкФ сполучені послідовно й підключені до джерела напруги 200 В. Визначити різницю потенціалів на кожному конденсаторі та енергію кожного з них. Схема електричного кола на рисунку.





$$C_1 = 2 \text{ мкФ} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$C_2 = 8 \text{ мкФ} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$U = 200 \text{ В}$$

$$U_1 - ? \quad U_2 - ?$$

$$W_1 - ? \quad W_2 - ?$$

Для конденсаторів, сполучених послідовно

$$q_1 = q_2 = q$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$C_1 = \frac{q_1}{U_1} = \frac{q}{U_1}$$

$$C_2 = \frac{q_2}{U_2} = \frac{q}{U_2}$$

$$C = \frac{q}{U} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$q = U \cdot \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$



$$U_1 = \frac{q}{C_1}$$

$$U_2 = \frac{q}{C_2}$$

$$W_1 = \frac{C_1 \cdot U_1^2}{2}$$

$$W_2 = \frac{C_2 \cdot U_2^2}{2}$$

Відповідь: $U_1 = 160 \text{ В}$, $U_2 = 40 \text{ В}$,

$W_1 = 2,56 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$, $W_2 = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$

ХПІ підготовка

Онлайн сервіс НТУ "ХПІ" для вибору спеціальності, тренування до тестів та успішного вступу в університети.

<http://training.kpi.kharkov.ua/>



Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»