



**Завдання на самостійну роботу до практичного заняття
" Електричне поле у вакуумі "**

Питання, що виносяться на практичне заняття

1. Закон Кулона.
2. Характеристики електростатичного поля в вакуумі.
3. Теорема Остроградського-Гауса для вектора напруженості електричного поля у вакуумі та її використання для розрахунку полів.

Література

1. Конспект лекцій Л11,12.
2. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики: Т.2.: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. – К.: Техніка, 1999. – 269с., §§ 1.1-1.7, 1.10, 1.11.

Контрольні питання та вправи

1. Сформулюйте закон збереження електричного заряду.
2. Сформулюйте та запишіть в скалярній та векторній формі закон Кулона.
3. Дайте визначення напруженості електричного поля. Сформулюйте принцип суперпозиції електричних полів.
4. Як визначається робота сил електростатичного поля при переміщенні заряду?
5. Дайте визначення потенціалу електростатичного поля. Дайте визначення градієнту потенціалу електростатичного поля.
6. Вкажіть на зв'язок між напруженістю та потенціалом електростатичного поля.
7. Дайте визначення потоку вектора напруженості електричного поля.
8. Сформулюйте теорему Остроградського-Гауса для вектора напруженості електричного поля в вакуумі.
9. Наведіть приклади використання теореми Остроградського-Гауса для розрахунку полів.

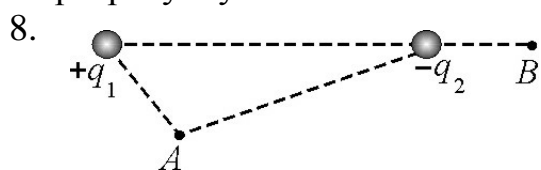


Рис. 1

На рис.1 два точкових заряди $+q_1$ і $-q_2$ створюють в навколишньому просторі електростатичне поле. Визначте напрямок напруженості електростатичного поля, що створюється обома зарядами в точках A та B .

9.

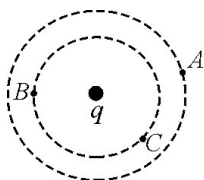


Рис. 2

На рис.2 точковий заряд q створює в навколишньому просторі електростатичне поле. Порівняйте роботи переміщення пробного заряду в полі точкового заряду q з точки A в точки B і C .

10. Який знак буде мати потік вектора напруженості електричного поля через замкнуту поверхню, що оточує два заряди $+q_1$ та $-q_2$, якщо $|q_1| < |q_2|$?

Приклади розв'язання типових задач

Задача 1. Дві однакові залізні кульки об'ємом $V = 25 \text{ мм}^3$ підвішені в одній точці на тонких нитках довжиною $l = 0,5 \text{ м}$ кожна. Одержавши однаковий заряд, вони, відштовхнувшись, розійшлися на відстань $r = 5 \text{ см}$ між їх центрами. Визначити заряд кожної кульки.

Розв'язання:

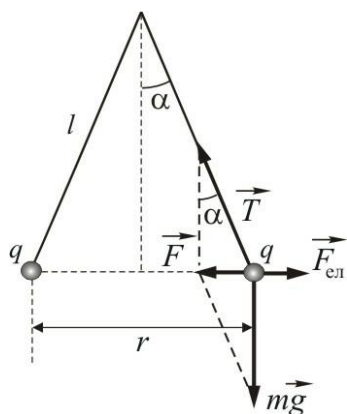


Рис. 3

На заряджену кульку діють сила тяжіння $m\vec{g}$, сила натягу нитки \vec{T} і сила електростатичної взаємодії $\vec{F}_{\text{ел}}$. Сила електростатичної взаємодії

$$F_{\text{ел}} = k \frac{q^2}{r^2},$$

де коефіцієнт $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$. Рівнодійна \vec{F} сил натягу \vec{T} і сили тяжіння $m\vec{g}$, згідно з рис. 3, дорівнює

$$F = mg \operatorname{tg} \alpha.$$

В стані рівноваги $\vec{F}_{\text{ел}}$ компенсує рівнодійну \vec{F} , тому виконується рівність

$$k \frac{q^2}{r^2} = mg \operatorname{tg} \alpha.$$

Врахувавши, що маса кульки $m = \rho V$ (густина заліза $= 7,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$) і те, що

$$\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha = \frac{r}{2l} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 0,5} = 5 \cdot 10^{-2},$$

з останнього рівняння одержимо

$$q = \sqrt{mg \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot r^2 \cdot \frac{1}{k}} = \sqrt{\rho V g \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot r^2 \cdot \frac{1}{k}} =$$

$$= \sqrt{\frac{7,9 \cdot 10^3 \cdot 25 \cdot 10^{-9} \cdot 9,8 \cdot 25 \cdot 10^{-4} \cdot 0,05}{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 0,5}} = \sqrt{269 \cdot 10^{-22}} = 16,4 \cdot 10^{-11} \text{ Кл.}$$

Задача 2. ([2], 9.114). Різниця потенціалів між пластинами плоского конденсатора $U = 280$ В. Площа пластин $S = 0,01$ м², поверхнева густина заряду на пластинах $\sigma = 495$ нКл/м². Знайти: а) напруженість E електричного поля всередині конденсатора; б) відстань d між пластинами; в) швидкість v , яку одержить електрон, пройшовши в конденсаторі шлях від одної пластини до іншої; г) енергію W конденсатора; д) ємність C конденсатора; е) силу F притягання пластин.

Розв'язання:

а) Напруженість електричного поля між двома нескінченними різнойменно зарядженими пластинами з однаковою за модулем поверхневою густиною заряду σ визначається за виразом

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

де ε – діелектрична проникність речовини між пластинами конденсатора; ε_0 – електрична стала. Підставивши числові значення маємо

$$E = \frac{495 \cdot 10^{-9}}{1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 55,93 \cdot 10^3 \approx 56 \text{ кВ/м.}$$

б) Оскільки електричне поле між пластинами однорідне, то різниця потенціалів між ними $U = Ed$, звідки одержимо

$$d = \frac{U}{E} = \frac{280}{56 \cdot 10^3} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5 \text{ мм.}$$

в) При русі електрона від однієї пластини до іншої робота електричного поля A перетворюється в кінетичну енергію W_k електрона, тому можна записати $A = W_k$, тобто

$$\frac{mv^2}{2} = eU$$

звідки

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 280}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 9,92 \cdot 10^6 \approx 10^7 \text{ м/с.}$$

г) Оскільки густина енергії електричного поля (енергія поля в одиниці об'єму) визначається за виразом $w = \varepsilon\varepsilon_0 E^2 / 2$, а об'єм між пластинами конденсатора $V = Sd$, то енергія електричного поля конденсатора дорівнює

$$W = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} V = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} Sd = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 \sigma^2}{2(\varepsilon\varepsilon_0)^2} Sd = \frac{\sigma^2 Sd}{2\varepsilon\varepsilon_0}.$$

Підставивши числові дані, одержимо

$$W = \frac{\sigma^2 Sd}{2\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{495^2 \cdot 10^{-18} \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 692,1 \cdot 10^{-9} \text{ Дж} \approx 692 \text{ нДж}$$

д) Електроємність плоского конденсатора визначається за виразом

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} = \frac{1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-3}} = 1,77 \cdot 10^{-12} \text{ Ф.}$$

е) Напруженість електричного поля створеного однією пластиною конденсатора $E = \sigma / 2\varepsilon\varepsilon_0$. На кожний елементарний заряд dq іншої пластини конденсатора діє сила $dF = Edq$ і оскільки всі $d\vec{F}$ будуть однакові за напрямком і величиною, то повна сила, що діє на пластину дорівнює $\vec{F} = \vec{E}q$. Заряд пластини $q = \sigma S$, тому одержимо

$$F = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} \sigma S = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{495^2 \cdot 10^{-18} \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 138,43 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \approx 138 \text{ мкН.}$$

Розв'язати задачі (на наступне практичне заняття)

1. Електрон влітає в плоский горизонтально розміщений, конденсатор паралельно його обкладинкам зі швидкістю $v_0 = 10^7$ м/с. Напруженість електричного поля в конденсаторі $E = 10$ кВ/м, довжина конденсатора $l = 5$ см. Знайти модуль і напрямок швидкості електрона при вильоті його з конденсатора.

Відповідь: $v = 1,33 \cdot 10^7$ м/с; $\alpha = 41^\circ$.

2. Вісім заряджених крапель радіусом $r = 1$ см і зарядом $q = 0,1$ нКл кожна зливаються в одну загальну водяну краплю. Знайти потенціал φ великої краплі. Відповідь: $\varphi = 3,6$ кВ.