

Тема 17. Електростатичне поле.

Електричний заряд – це фізична величина, яка характеризує властивість частинок або тіл вступати в електромагнітну взаємодію.

Електричний заряд позначають літерою q . *Одиниця електричного заряду в СІ – кулон (Кл).*

В природі існують два типи електричних зарядів – **позитивні** та **негативні**. Тіла, що мають заряди одного знаку, *відштовхуються*; тіла, що мають заряди протилежних знаків, *притягуються*.

Носієм електричного заряду є частинка – електричний заряд не існує окремо від неї.

Електричний заряд є *дискретним*, тобто електричні заряди фізичних тіл кратні найменшому (елементарному) заряду. Носієм найменшого негативного заряду є **електрон**. Цей заряд позначають символом e , а його значення дорівнює $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Носієм найменшого позитивного заряду є **протон**, його заряд дорівнює за модулем заряду електрона.

Заряд тіла q можна представити у вигляді:

$$|q| = N|e| ,$$

де e – заряд електрона, N – деяке натуральне число. Якщо заряд тіла значно перевищує елементарний, то дискретність заряду можна не враховувати.

Електризація – це процес одержання електричного заряду макроскопічними тілами або їх частинами.

Одним із способів електризації є тертя. В процесі електризації тертям відбувається тісний контакт двох тіл, виготовлених з різних матеріалів, і частина електронів переходить з одного тіла на інше. Після роз'єднання цих тіл виявляється, що тіло, яке віддало частину своїх електронів, заряджене позитивно, а тіло, яке одержало їх, заряджене негативно.

За будь-якого способу електризації тіл відбувається перерозподіл наявних в них електричних зарядів, а не поява нових. Це є наслідком **закону збереження електричного заряду**.

В електрично ізольованій системі алгебраїчна сума зарядів залишається незмінною:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = const .$$

Основним законом електростатики є **закон Кулона**.

Сила взаємодії двох точкових зарядів q_1 і q_2 прямо пропорційна величинам цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon r^2} = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2},$$

де $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{М}}{\text{Ф}}$, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{М}}$ – електрична стала, ε – діелектрична проникність середовища, в якому знаходяться заряди.

Діелектрична проникність різних речовин наведена у таблицях, зокрема, для повітря $\varepsilon \approx 1$, якщо заряди знаходяться у вакуумі, то $\varepsilon = 1$.

Вектор кулонівської сили напрямлений вздовж лінії, яка з'єднує заряди (рис. 1).

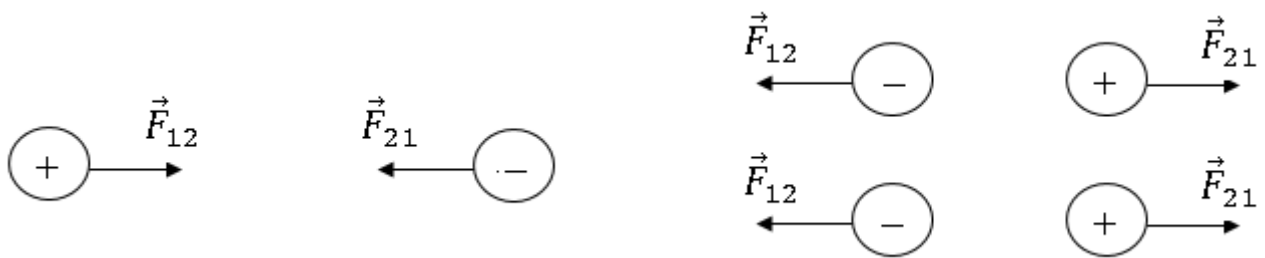


Рис. 1.

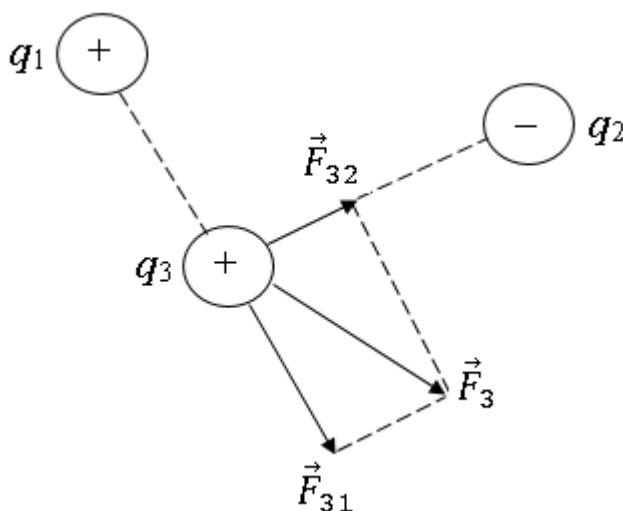


Рис. 2.

При наявності декількох зарядів сила взаємодії між будь-якою парою зарядів не залежить від наявності інших. Загальна сила, що діє, на один із зарядів системи, дорівнює векторній сумі сил, які діють на даний заряд з боку кожного з інших зарядів (рис. 2).

Характеристики електростатичного поля

Згідно з ідеєю М. Фарадея, *електричні заряди не діють один на одного безпосередньо*. Кожен заряд створює у довколишньому просторі електричне поле, і взаємодія зарядів відбувається через їхні поля.

Електричне поле – це форма матерії, яка існує навколо заряджених тіл і виявляється в дії з деякою силою на будь-яке заряджене тіло, що перебуває в цьому полі.

Електричне поле є складовою частиною єдиного електромагнітного поля. Незмінне в часі (*статичне*) електричне поле може бути створене тільки нерухомими зарядами. Таке поле називають **електростатичним**.

Електричне поле поширюється у просторі зі швидкістю світла.

Напруженість електричного поля $\vec{E}$ – це векторна фізична величина, яка є силовою характеристикою електростатичного поля і дорівнює відношенню сили $\vec{F}$, що діє на заряд в електричному полі, до величини q цього заряду:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

Згідно останньої формули, одиниця напруженості електричного поля – 1 Н/Кл. *Одиниця напруженості в СІ – 1 В/м.*

Напрямок вектору $\vec{E}$ співпадає з напрямком вектору сили, яка діяла б в даній точці поля на позитивний заряд. Напрямки векторів $\vec{E}$, створених позитивним та негативним зарядами, показані на рис. 3.

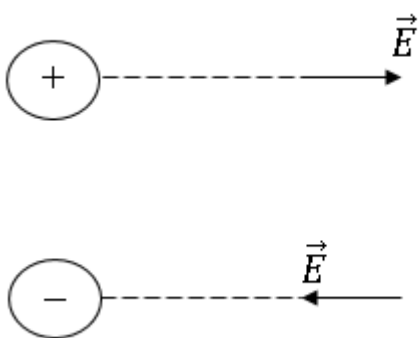


Рис. 3.

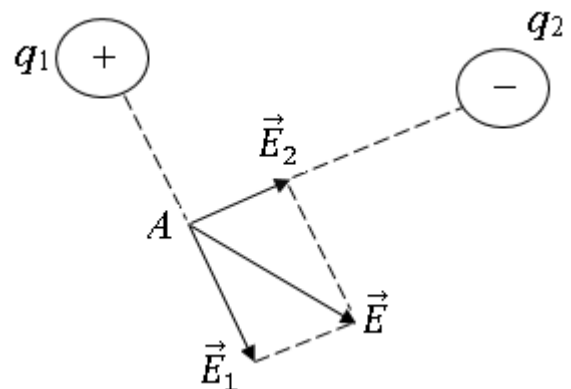


Рис. 4

Принцип суперпозиції полів. Напруженість електричного поля системи зарядів дорівнює векторній сумі напруженостей, створених у даній точці поля кожним із зарядів окремо:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i.$$

Для системи двох точкових зарядів q_1 та q_2 визначення напруженості в точці A показано на рис. 4.

Напруженість поля точкового заряду q на відстані r від нього:

$$E = \frac{k|q|}{\epsilon r^2} = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}.$$

Напруженість поля на відстані r від центра сфери радіуса R , яка несе заряд q , рівномірно розподілений по її поверхні:

для точок всередині сфери ($r < R$): $E = 0$;

для точок зовні сфери та на її поверхні ($r \geq R$):

$$E = \frac{k|q|}{\epsilon r^2} = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}.$$

Напруженість поля нескінченної площини.

Під нескінченною площиною слід розуміти таку площину, розміри якої значно перевищують відстань від неї до точок, де визначається напруженість.

Напруженість поля такої площини визначається за формулою:

$$E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0\epsilon} = \frac{|q|}{2\epsilon_0\epsilon S},$$

де σ – поверхнева густина зарядів, тобто заряд, що припадає на одиницю площі:

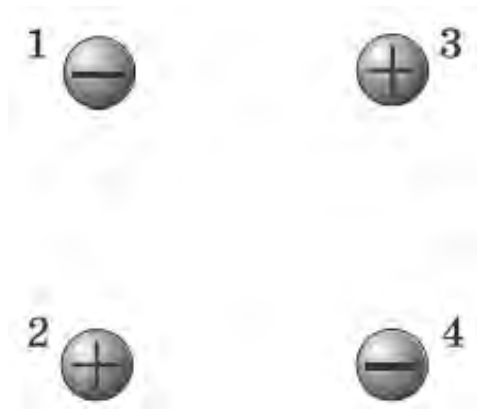
$$\sigma = \frac{q}{S}.$$

Напруженість поля двох нескінченних паралельних площин, що несуть рівні за величиною і протилежні за знаком заряди з поверхневою густиною $\pm\sigma$ визначається за принципом суперпозиції полів і дорівнює:

між площинами:

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

зовні площин: $E = 0$.



Приклад 1. Модулі зарядів однакових металевих куль дорівнюють відповідно 4 нКл, 6 нКл, 8 нКл, 10 нКл (див. рисунок). Яким буде заряд кожної кулі після їх з'єднання?

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = -4 + 6 + 8 - 10 = 0.$$

Відповідь: 0.

Приклад 2. Відомо, що під час натирання ебонітової палички об вовну, паличка та вовна електризуються. Укажіть знаки зарядів палички та вовни під час їхньої взаємної електризації.

Відповідь: паличка – негативний, вовна – позитивний.

Приклад 3. Як зміниться кулонівська сила взаємодії двох точкових зарядів, якщо величину одного із зарядів вдвічі збільшити, а другого – вдвічі зменшити?

Відповідь: не зміниться.

Приклад 4. Як зміниться кулонівська сила взаємодії двох точкових зарядів, якщо відстань між ними зменшити вдвічі?

Відповідь: збільшиться в 4 рази.

Приклад 5. Як зміниться кулонівська сила взаємодії двох точкових зарядів, які знаходились у повітрі, якщо занурити їх в рідкий діелектрик з діелектричною проникністю 3? Відстань між зарядами не змінюється.

Відповідь: зменшиться в 3 рази.

Приклад 6. Два точкових заряди знаходяться у вакуумі на деякій відстані. Як зміниться сила взаємодії цих зарядів, якщо помістити їх у середовище з діелектричною проникністю 4, а відстань між ними зменшити в два рази?

Відповідь: не зміниться.

Приклад 7. Як зміниться кулонівська сила взаємодії двох однакових металевих кульок, що мають заряди $2q$ і $-8q$, якщо ними доторкнутися одна до одної, а потім розвести на початкову відстань?

$$F_1 = k \frac{2q \cdot 8q}{\epsilon r^2} = k \frac{16q^2}{\epsilon r^2}, \quad 2q - 8q = -6q, \quad q_1 = -3q, \quad q_2 = -3q.$$

$$F_2 = k \frac{3q \cdot 3q}{\epsilon r^2} = k \frac{9q^2}{\epsilon r^2} = 9/16 F_1$$

Відповідь: зменшиться у 16/9 рази.

Приклад 8. Чому дорівнює кулонівська сила взаємодії двох точкових зарядів по 2 нКл кожен, якщо вони розташовані на відстані 2 см один від одного?

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{(2 \cdot 10^{-2})^2} = 9 \cdot 10^{-5} \text{ Н} = 90 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \\ = 90 \text{ мкН.}$$

Відповідь: 90 мкН.

Приклад 9. Два однакові точкові заряди знаходяться на відстані 10 см один від одного і взаємодіють із силами 81 мН. Якою є величина зарядів?

$$F = k \frac{q \cdot q}{\epsilon r^2}, \quad q^2 = \frac{F \epsilon r^2}{k}, \\ q = r \sqrt{\frac{F \epsilon}{k}} = 0,1 \sqrt{\frac{81 \cdot 10^{-3}}{9 \cdot 10^9}} = 0,3 \cdot 10^{-6} = 300 \text{ нКл.}$$

Відповідь: 300 нКл.

Приклад 10. Точковий заряд створює електричне поле, напруженість якого на відстані 10 см від заряду дорівнює 100 В/м. Якою буде напруженість поля в точці, віддаленій від заряду на відстань 20 см?

$$E = \frac{k|q|}{\epsilon r^2}$$

$$E_2 = 0,25E_1 = 25 \text{ В/м.}$$

Відповідь: 25 В/м.

Приклад 11. Знайти напруженість електричного поля на відстані 10 см від центра сфери, радіус якої 30 см і заряд 10 мКл.

Напруженість поля на відстані r від центра сфери радіуса R , яка несе заряд q , рівномірно розподілений по її поверхні:

для точок всередині сфери ($r < R$): $E = 0$;

для точок зовні сфери та на її поверхні ($r \geq R$):

$$E = \frac{k|q|}{\epsilon r^2} = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}.$$

$r = 0,1$ м, $R = 0,3$ м, $r < R$, $E = 0$.

Відповідь: 0.

Приклад 12. Яке прискорення надає порошинці масою 2 мг електричне поле напруженістю 10 кВ/м? Заряд порошинки 2 нКл.

$m = 2 \cdot 10^{-6}$ кг, $E = 10000$ В/м, $q = 2 \cdot 10^{-9}$ Кл.

$$E = \frac{F}{q}, \quad F = Eq$$

$$F = ma, \quad ma = Eq, \quad a = \frac{Eq}{m} = \frac{10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 10^{-6}} = 10 \text{ м/с}^2$$

Відповідь: 10 м/с².

Приклад 13. Визначте силу, з якою взаємодіють дві маленькі алюмінієві кульки масою 27 мг кожна на відстані 2 м, якщо $10^{-5} \%$ електронів однієї кульки перенесли на другу.

Для того щоб визначити силу кулонівської взаємодії між кульками, слід обчислити їхній заряд після перенесення електронів. Кожен атом алюмінію має 13 електронів. Загальна кількість електронів у кульці $N_{\text{ел}} = 13 \frac{m}{M_{\text{Al}}} N_{\text{A}}$. За умовою задачі одна кулька втрачає $10^{-5} \%$ електронів, а інша отримує. Тому за модулем заряд кожної кульки $q = 13 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{m}{M_{\text{Al}}} N_{\text{A}} e$. Остаточню із закону Кулона впливає:

$$F = k \frac{(13 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{m}{M_{\text{Al}}} N_{\text{A}} e)^2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{(13 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{0,027}{27} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19})^2}{2^2} = 35 \text{ (Н)}.$$

Відповідь: 35 Н.

Домашнє завдання:

основне: 3.1, 3.2, 3.4, 3.12, 3.13, 3.15, 3.16, 3.19, 3.23;

додаткове: 3.3, 3.7, 3.8, 3.14, 3.17, 3.22.