

2. ЕЛЕКТРОСТАТИКА

Електростатика – розділ учення про електрику, в якому вивчаються взаємодії та властивості систем електричних зарядів, нерухомих відносно вибраної інерціальної системи відліку.

2.1. Електричне поле у вакуумі**2.1.1 Природа електрики. Закон Кулона**

Одним із фундаментальних понять фізики й основним поняттям учення про електрику є *електричний заряд*. *Електричний заряд* є внутрішньою характеристикою деяких елементарних матеріальних частинок, яка зумовлює електромагнітний тип взаємодії. Він не існує поза носіями заряду та є джерелом і об'єктом дії електростатичного поля.

Властивості електричного заряду
--

1. Існує два типи заряду. Умовно їх назвали позитивними (+) та негативними (-). Однойменно заряджені тіла відштовхуються, а різнойменно заряджені – притягуються.

2. Заряд є величиною *дискретною* (заряд квантується).

3. Елементарний заряд – найменший заряд, який існує в природі.

Негативний елементарний заряд e_0^- має електрон, позитивний елементарний заряд e_0^+ – протон. Заряд будь-якого тіла є величиною кратною елементарному заряду.

$$q = \pm N \cdot e_0 \quad (N=1,2,3\dots), \quad e_0=1,601 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Для макроскопічних тіл і зарядів можна вважати, що заряд змінюється безперервно.

4. $[q] = 1 \text{ Кл.}$

Електризація тіл

У будь-якому електронейтральному тілі кількість елементарних негативних зарядів дорівнює кількості елементарних позитивних. Тіл, які б не мали ніяких зарядів, у природі не існує. Електричні заряди позитивні та негативні з'являються та зникають одночасно (парами).

Перетворення незарядженого тіла у заряджене називається електризацією. Електризацію можна здійснити двома засобами:

- надати (зовні) тілу заряди одного знаку (або відібрати);
- під зовнішнім впливом перерозподілити заряди, що існують у тілі, таким чином, щоб позитивні заряди зібрались на одному краю, а негативні – на іншому.

Закон збереження електричного заряду

Закон збереження електричного заряду:
алгебраїчна сума електричних зарядів у електроізолюваній системі не змінюється з часом.

$$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const.}$$

Електроізолювана система – це така система, через граничну поверхню якої не можуть проходити заряджені частинки.

В системі можуть виникати нові електрично заряджені частинки, наприклад електрони внаслідок явища іонізації атомів чи молекул, іони за рахунок явища іонізації або електричної дисоціації і таке інше. Але якщо система електроізолювана, то алгебраїчна сума зарядів, які виникли завжди дорівнює нулю.

Закон збереження електричного заряду є одним із фундаментальних законів природи.

Точковий електричний заряд – заряд, що його має тіло, розміри якого малі порівняно з відстанями до інших тіл, з котрими він взаємодіє (заряджена матеріальна точка).

Закон взаємодії нерухомих точкових зарядів експериментально встановлено у 1785 р. Кулоном і носить його ім'я.

Закон Кулона Сила електростатичної взаємодії двох точкових електричних зарядів, що знаходяться у вакуумі, прямо пропорційна добутку величин цих зарядів q_1 та q_2 , обернено пропорційна квадрату відстані між ними r , та спрямована вздовж прямої, що їх з'єднує.

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}, \quad \vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{21}}{r_{21}}, \quad (2.1)$$

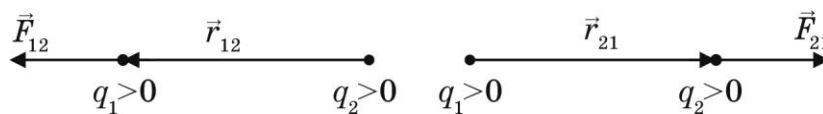


Рисунок 2.1а

Рисунок 2.1б

де \vec{F}_{12} – сила, що діє на заряд q_1 з боку заряду q_2 ,

\vec{r}_{12} – радіус-вектор, напрямлений від заряду q_1 до заряду q_2 (рис 2.1а),

\vec{F}_{21} – сила, що діє на заряд q_2 з боку заряду q_1 ,

\vec{r}_{21} – радіус-вектор, напрямлений від заряду q_2 та q_1 (рис 2.1б).

Напрямок сил визначається знаками зарядів q_1 та q_2 ($\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ за третім законом Ньютона).

Коефіцієнт k залежить від вибору системи одиниць. У системі Гаусса $k=1$ і не має розмірності. В системі СІ $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, ϵ_0 – електрична стала $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{12} \frac{\Phi}{\text{м}}$.

У законі Кулона міститься два основних твердження:

- про обернену залежність сили взаємодії від квадрата відстані
- про адитивність дії електричних зарядів. Сила взаємодії двох зарядів не залежить від наявності інших зарядів.

Густина зарядів

Характеристикою неперервного-розподілу зарядів є їх *густина*.

Якщо заряди неперервно-розподілені вздовж лінії, то вводиться *лінійна густина зарядів* τ :

$$\tau = \frac{dq}{dl},$$

де dq - заряд малої ділянки лінії dl .

$$[\tau] = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{м}}.$$

Якщо електричні заряди неперервно-розподілені по певній поверхні, то *поверхнева густина зарядів* σ :

$$\sigma = \frac{dq}{dS},$$

де dq - заряд, розташований на малій ділянці поверхні площею dS .

$$[\sigma] = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}.$$

При неперервному розподілі зарядів у будь-якому об'ємі *об'ємна густина зарядів* ρ :

$$\rho = \frac{dq}{dV},$$

де dq - заряд, який міститься в малому елементі об'ємі dV .

$$[\rho] = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^3}.$$

2.1.2. Електричне поле. Напруженість електричного поля

Електричне поле – вид матерії, яка існує в просторі й часі та через яку здійснюється взаємодія електричних зарядів. Якщо поле не змінюється у часі, то воно називається **електростатичним** (далі саме воно і розглядається).

Властивості електростатичного поля (ЕПС):

1. ЕПС створюється нерухомими зарядами і виявляється по дії на заряди.
2. ЕПС є потенційним полем (дивись далі).

Напруженість електричного поля

Силовою характеристикою електричного поля є вектор напруженості \vec{E} .

Вектор напруженості електростатичного поля \vec{E} дорівнює відношенню сили \vec{F} , з якою поле діє на одиничний точковий заряд, що міститься в даній точці поля, до величини q_0 цього заряду

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (2.2)$$

Властивості напруженості:

1. У загальному випадку у різних точках поля вона різна, тобто $E=f(x,y,z)$. Якщо напруженість однакова електростатичне поле є *однорідним*.

2. $[E]=1$ В/м (Вольт на метр).

Із формули (2.2) випливає, що сила \vec{F} , яка діє з боку електричного поля на будь-який точковий заряд q , що знаходиться в цьому полі, дорівнює :

$$\vec{F} = q\vec{E}. \quad (2.3)$$

Напруженість поля, яке утворено точковим зарядом q у вакуумі, згідно з формулами (2.1) та (2.2) дорівнює:

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

де \vec{r} – радіус-вектор, що з'єднує заряд q з точкою поля, в якій визначається \vec{E} . Якщо $q > 0$ вектор \vec{E} напрямлений по радіус-вектору від заряду (рис 2.2а), якщо $q < 0$ – до заряду (рис 2.2б).

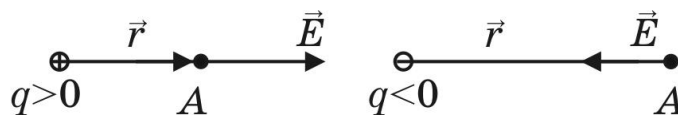


Рисунок 2.2а

Рисунок 2.2б

Отже, джерелом електричного поля є нерухомі електричні заряди. Потужність джерела характеризується величиною заряду.

Однорідне електричне поле – поле, в кожній точці якого напруженість \vec{E} однакова за величиною та напрямком. Якщо \vec{E} не змінюється з часом – однорідне поле є *стаціонарним (або постійним)*. Поле точкового заряду неоднорідне.

Силкові лінії

Для графічного зображення електричних полів застосовують метод силових ліній (ліній напруженості).

Силкові лінії – уявні лінії, дотична до яких в кожній точці поля збігається з напрямком вектора напруженості поля в цій точці.

Властивості силових ліній:

1. Силкові лінії від одного джерела ніде не перетинаються тому, що вектор \vec{E} в кожній точці має лише один напрямок.
2. Силкові лінії однорідного поля паралельні та знаходяться одна від одної на однакових відстанях.
3. Густина силових ліній характеризує величину напруженості.
4. Силкові лінії починаються на позитивних зарядах, а закінчуються на негативних, або у нескінченності (так умовились).

Принцип суперпозиції електричних полів

Основна задача електростатики може бути сформульована наступним чином: за заданими розподілом у просторі джерел поля та їх потужності (електричних зарядів) – знайти значення вектора напруженості \vec{E} в усіх точках поля. Ця задача вирішується на основі **принципу суперпозиції електричних полів**: *напруженість електричного поля системи*

зарядів дорівнює геометричній сумі напруженостей полів, утворених кожним із цих зарядів окремо, тобто

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n. \quad (2.4)$$

У просторі заряди розподіляються або *дискретно*, або *неперервно*.

- У випадку дискретного розподілу зарядів

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i,$$

де \vec{E}_i - напруженість, яку створює i -тий заряд у заданій точці поля; n - число дискретних зарядів, що входять до складу системи.

- Напруженість електричного поля, яка створюється системою точкових нерухомих зарядів $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$, ϵ :

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^3} \vec{r}_i,$$

де \vec{r}_i - радіус-вектор, проведений від точкового заряду q_i в точку поля, що розглядається.

- Напруженість електричного поля утвореного неперервно-розподіленими зарядами за принципом суперпозиції дорівнює :

$$E_x = \int dE_x ; \quad E_y = \int dE_y ; \quad E_z = \int dE_z \quad (2.5)$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} .$$

Оскільки операція інтегрування скалярна, то результуючу напруженість доводиться знаходити через її проєкції на вісі координат.