

Розділ I. Кола постійного струму
Тема 1.1 «Електричне поле. Постійний електричний струм»

Лекція 1

Електричне поле та його основні характеристики. Закон Кулона

Мета: оволодіти знаннями про основні характеристики електричного поля.

Методи: словесний, практичний, наочний.

План:

1. Електричний заряд. Електричне поле. Властивості електричного поля.
2. Закон Кулона.
3. Напруженість електричного поля. Силові лінії.

1. Електричний заряд. Електричне поле. Властивості електричного поля.

Фізичну основу електротехніки складають електричні та магнітні явища. Зміст же електротехніки як галузі науки полягає в технічному використанні цих явищ.

Перш ніж приступити до вивчення теоретичної частини електротехніки, необхідно повернутися до курсу фізики, у якому вивчаються електричні і магнітні явища, згадати уже відомі і настільки необхідні в даному випадку поняття і визначення.

Електропровідність - це властивість речовини проводити під дією незмінного в часі електричного поля незмінний в часі електричний струм.

У дане визначення входять ще два поняття: електричне поле й електричний струм, що далі розглянуті в першу чергу як основні для всього курсу.

У сучасній науці затвердилося представлення про поле як про фізичну реальність, що існує поряд з речовиною.

Електромагнітне поле як вид матерії характеризується тим, що здійснює силовий вплив на заряджені частки, степінь якого залежить від швидкості руху часток та величини їх електричного заряду.

В залежності від умов спостереження електромагнітне поле проявляється в цілому або як одна з двох його сторін: електричне поле та магнітне поле.

До структури атомів речовини входять елементарні частки. Деякі з них мають електричний заряд.

Елементарні частки, які мають електричний заряд (наприклад, електрони та протони), оточені електромагнітним полем. Ці частки не існують окремо від їх електромагнітного поля, тобто між зарядженою частинкою та її електромагнітним полем точної межі немає.

Однак припускають, що електричний заряд зосереджений у вельми малій області простору, і тоді кажуть про частинку, яка має електричний заряд. Поза цієї області матерія існує у вигляді електромагнітного поля, а об'ємна щільність електричного заряду дорівнює нулю.

Електрон і протон мають рівний за величиною ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл), але протилежний за знаком заряд, який вважається елементарним (найменшим відомим).

Елементарний електричний заряд – це властивість електрона або протона, яка характеризує їх взаємозв'язок з власним електричним полем та їх взаємодію із зовнішнім електричним полем.

Електромагнітне поле може існувати окремо від електрично заряджених частинок. Підтвердженням тому є електромагнітні хвилі, які розповсюджуються в просторі (радіохвилі).

Електростатичне поле.

Як електромагнітне поле, так і обидві його сторони, характеризуються силовим впливом на заряджені частинки.

Електричне поле характеризується впливом на електрично заряджену частинку з силою, пропорційною заряду частинки і незалежною від її швидкості.

Звичайним станом оточуючих нас тіл є стан електрично нейтральний, хоча вони і складаються з частинок, які мають електричний заряд. Це пояснюється рівністю загального позитивного заряду ядр атомів загальному негативному заряду електронів.

Тіло може отримати електричний заряд в результаті якогось процесу, який призведе до нерівності в об'ємі тіла або частини його позитивного та негативного зарядів. В обох випадках заряджені частинки не пропадають, а передаються від одного тіла іншому або пересуваються в даному тілі, тобто відбувається просторовий розподіл позитивно і негативно заряджених частинок.

Тому електричний заряд тіла (системи тіл) завжди дорівнює алгебраїчній сумі елементарних електричних зарядів.

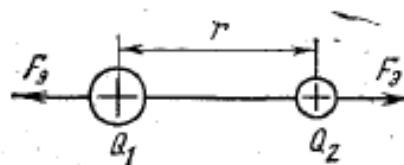
Електризація тіл може бути здійснена тертям, електростатичною індукцією або в результаті інших фізичних та хімічних процесів.

Нерухоме тіло, яке має електричний заряд, так само, як і нерухома елементарна частинка, оточене електричним полем. Електричне поле нерухомих заряджених тіл за відсутності в них електричних струмів називається **електростатичним**.

Силову характеристикою електричного поля є його напруженість. За допомогою величини напруженості стає можливим оцінювати інтенсивність електричного поля та визначати силу, яка діє зі сторони поля на заряджену частинку. Напруженість електростатичного поля не змінюється з плином часу.

2. Закон Кулона.

Відзначена раніше властивість електричного поля – силова дія на заряджені частинки і тіла – використовується з метою його знаходження і дослідження. Для цього необхідно помістити у простір довкола тіла з зарядом Q_1 інше тіло з зарядом Q_2 (мал. 1). Перше тіло разом з його полем будемо називати досліджуваним, а друге тіло – пробним.



Мал. 1. Взаємодія двох заряджених тіл

Досвід показує, що на кожне з двох заряджених тіл діють однакові сили F_3 , направлені так, що тіла із зарядами одного знаку відштовхуються, а тіла із зарядами різних знаків притягуються.

Електричне поле пробного тіла розподілене в тому ж просторі, що і досліджуване поле. Тому досліджуване поле за наявності в ньому пробного зарядженого тіла повинне відрізнитись від того поля, яке пов'язане з відокремленим досліджуваним тілом.

У відповідності до принципу накладання можна вважати, що два заряджених тіла оточені загальним електричним полем, яке отримується в результаті накладання двох полів, кожне з яких пов'язане зі своїм зарядженим тілом, коли останнє відокремлене.

В такому випадку силу F_3 можна розглядати як результат силової дії загального електричного поля на кожне із заряджених тіл. Кількісно ця дія визначається по формулі закону Кулона (1.1), яка справедлива для точкових заряджених тіл.

Заряджене тіло називається **точковим**, якщо його лінійні розміри дуже малі порівняно з відстанню від нього до точок, в яких розглядається його електричне поле.

Величина сили, з якою на кожне з двох точкових заряджених тіл, розташованих у вакуумі, діє їх загальне електричне поле, пропорційна множині зарядів цих тіл і обернено пропорційна квадрату відстані між ними:

$$F_3 = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_a R^2} \quad (1.1)$$

де Q_1 і Q_2 – заряди точкових тіл; r – відстань між їх центрами; $\frac{1}{4\pi\epsilon_a}$ – коефіцієнт пропорційності, який визначається вибором системи одиниць; ϵ_a – абсолютна діелектрична проникність середовища (вона враховує вплив середовища, в якому знаходяться заряджені точкові тіла, на силу їх взаємодії).

Різні речовини мають різну абсолютну діелектричну проникність. Абсолютна діелектрична проникність вакууму ε_0 називається **електричною сталою**, яка в Міжнародній системі одиниць (СІ) має числове значення

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{фарад}}{\text{метр}} (\text{Ф/м})$$

Величина, яка показує, у скільки разів абсолютна діелектрична проникність речовини ε_a більше електричної сталої ε_0 , називається **відносною діелектричною проникністю** цієї речовини $\varepsilon_r = \varepsilon_a / \varepsilon_0$. Наприклад, для парафінованого паперу $\varepsilon_r = 4,3$, тоді абсолютна діелектрична проникність паперу у 4,3 рази більше електричної сталої і складає $\varepsilon_a = \varepsilon_r \varepsilon_0 = 4,3 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} = 38 \cdot 10^{-12} \text{Ф/м}$.

Відносна діелектрична проникність не має розмірності. Для більшості діелектриків вона знаходиться в межах 1-10, відносно мало залежить від електричних умов і температури, а тому вважається постійною. В табл.1 приведені значення ε_r для деяких речовин.

Таблиця 1

Матеріал	ε_r	Матеріал	ε_r
Повітря	1	Міканіт	5,2
Трансформаторне мастило	2,2	Порцеляна	5,8
Гума	2,7	Мармур	8,3
Папір парафінований	4,3	Скло	6-10

Невелика група діелектриків, яка називається сегнетоелектриками (титанат барію, титанат свинцю та ін.), має дуже високу проникність ε_r (багато тисяч), яка сильно залежить від електричних умов та температури.

Інші величини, які входять до формули (1.1), мають наступні одиниці виміру: сила $[F_3]$ – ньютон (Н); кількість електрики (електричний заряд) $[Q]$ – кулон (Кл).

3. Напруженість електричного поля. Силові лінії.

Для дослідження електричного поля, яке створюється тілом з позитивним зарядом Q , будемо вносити в різні точки цього поля пробне заряджене тіло. Через мале значення заряду пробного тіла будемо вважати, що змін в досліджуваному полі не спостерігається. В кожній точці поля на пробне заряджене тіло діє певна за значенням та напрямком механічна сила. Користуючись цим, визначимо основну фізичну величину, яка характеризує електричне поле в кожній його точці і називається напруженістю електричного поля.

Напруженість електричного поля – векторна величина, яка характеризує електричне поле та визначає силу, яка діє на заряджену частинку (тіло) з боку електричного поля (або напруженість електричного поля дорівнює відношенню сили F , яка діє на нерухоме позитивно заряджене пробне тіло, поміщене в дану точку поля, до величини заряду q).

Вектор напруженості електричного поля E співпадає за напрямком з вектором сили F . Отже,

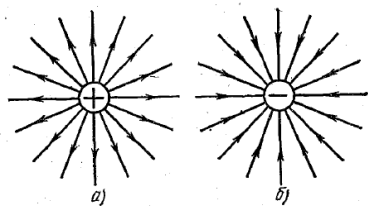
$$E = \frac{F}{q} \quad (1.2)$$

В СІ сила виражається в ньютонах (Н), а заряд – в кулонах (Кл), тому одиниця напруженості Н/Кл.

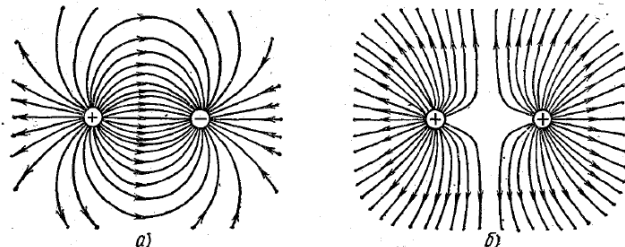
З курсу фізики відомо, що $\text{Н} = \text{Дж/м}$; $\text{Дж} = \text{А} \cdot \text{В} \cdot \text{с}$ і $\text{Кл} = \text{А} \cdot \text{с}$; отже, $F = \text{Дж}/(\text{м} \cdot \text{Кл}) = \text{А} \cdot \text{В} \cdot \text{с}/(\text{м} \cdot \text{А} \cdot \text{с}) = \text{В/м}$.

Таким чином, напруженість електричного поля в СІ виражається в вольтах на метр (В/м). Якщо напруженість поля в будь-якій точці дорівнює 100 В/м, це значить, що на пробне тіло з одиничним зарядом, поміщене в цю точку, діє сила $F = 100 \text{ Н}$. Якщо значення заряду пробного тіла збільшити, то збільшиться і сила F . Тому чим більша напруженість електричного поля і значення заряду пробного тіла, тим більша і сила F , яка діє на нього.

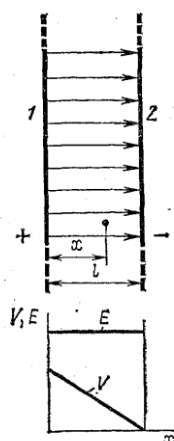
Для наглядного зображення електричного поля користуються лініями напруженості або силовими лініями. **Лінії напруженості** електричного поля проводяться так, що вектор напруженості співпадає з дотичною в кожній точці цієї лінії.



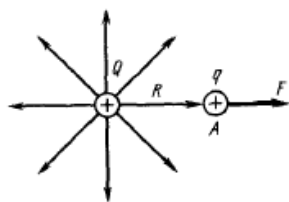
Мал. 2. Зображення електричного поля відокремлених точкових заряджених тіл



Мал. 3. Лінії напруженості поля групи з двох точкових заряджених тіл



Мал. 4. Лінії напруженості рівномірного електричного поля



Мал. 5

Силові лінії одиночного точкового зарядженого тіла представляють собою радіальні прямі, проведені через точку, в якій знаходиться це тіло, так як в будь-якій точці навколишнього простору сила, яка діє на пробне тіло, направлена по прямій, яка з'єднує центри заряджених тіл.

Якщо заряд тіла позитивний, силові лінії направлені від центра тіла (мал. 2, а), якщо негативний – то до центру тіла (мал. 2, б).

Розглянемо електричне поле групи заряджених точкових тіл. Напруженість результуючого поля в кожній точці дорівнює геометричній сумі напруженостей полів, зумовлених всіма зарядами. На мал. 3 представлено поле найпростішої групи з двох точкових тіл, які мають однакові по величині заряди: а – різнойменними, б – однойменними.

Електричне поле називається однорідним (рівномірним), якщо напруженість його в усіх точках однакова за величиною і напрямком. Електричні силові лінії такого поля паралельні і розташовані з однаковою щільністю.

Рівномірне поле виникає між двома паралельними пластинами, розміри яких великі у порівнянні з відстанню між ними (мал. 4).

Електричне поле одного і декількох точкових зарядів.

Розглянемо електричне поле точкового заряду, показаного на мал. 5. Тут Q – заряд тіла, яке створює електричне поле; q – заряд пробного тіла; R – відстань між зарядами Q і q .

За законом Кулона сила взаємодії між тілами із зарядами Q і q буде дорівнювати $F = Q \cdot q / (4\pi R^2 \epsilon_a)$, а напруженість електричного поля в точці А

$$E = \frac{F}{q} = \frac{Q \cdot q}{(4\pi R^2 \epsilon_a q)} = \frac{Q}{(4\pi R^2 \epsilon_a)} \quad (1.3)$$

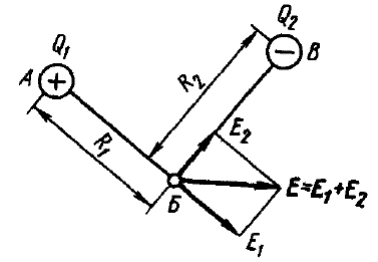
Отже, напруженість електричного поля, створеного зарядженим точковим тілом, різко падає зі збільшенням відстані R . Якщо цю відстань збільшити в два рази, то напруженість поля зменшиться у чотири рази. Таке поле буде неоднорідним. Інколи електричне поле створюється системою точкових тіл.

На мал. 6 показані два точкових тіла із зарядами $+Q_1$ і $-Q_2$, які створюють електричне поле. Визначимо напруженість в точці Б цього поля наступним чином:

а) знайдемо напруженість поля в даній точці від заряду Q_1 (за відсутності заряду Q_2), тобто $E_1 = \frac{Q_1}{(4\pi R_1^2 \epsilon_a)}$;

б) визначимо напруженість поля в цій самій точці від заряду Q_2 (за відсутності заряду Q_1), тобто $E_2 = \frac{Q_2}{(4\pi R_2^2 \epsilon_a)}$;

в) шляхом складання векторів напруженості E_1 і E_2 знайдемо шукану напруженість $E = E_1 + E_2$. Особливу увагу при цьому слід звернути на напрямки векторів E_1 і E_2 .

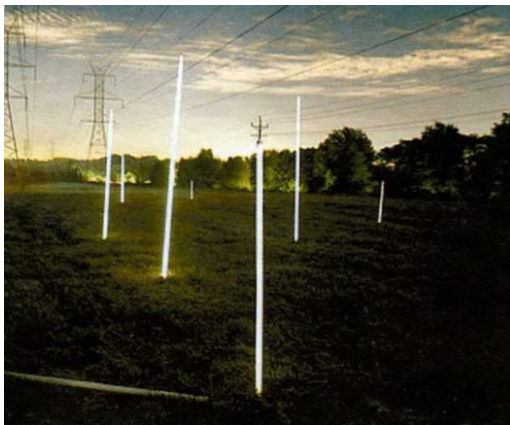


Мал. 6

Знання, корисні для практики!

Люмінесцентна лампа може слугувати зручним індикатором напруженості електричного поля. Щоб переконатися в цьому, перебуваючи в темному приміщенні, потremo лампу рушником або шарфом - в результаті зовнішня поверхня лампового скла заряджатиметься позитивно, а тканина - негативно. Як тільки це відбудеться, ми побачимо спалахи світла, лампи, що виникають в тих місцях, до яких ми доторкаємося зарядженою тканиною. Виміри показали, що напруженість електричного поля усередині працюючої люмінесцентної лампи складає близько 10 В/м. При такій напруженості вільні електрони володіють необхідною енергією для іонізації атомів ртуті всередині люмінесцентної лампи.

Електричне поле під високовольтними лініями електропередач (ЛЕП) може досягати дуже високих значень. Тому якщо в темний час доби люмінесцентну лампу увіткнути в землю під ЛЕП, то вона загориться, і досить яскраво (мал. 8). Так за допомогою енергії електростатичного поля можна освітлювати простір під ЛЕП.



Мал.8. Свічення люмінесцентних ламп, увіткнутих в ґрунт під високовольтними лініями електропередач