

Майкл Фарадей
(1791–1867)

Яким є механізм взаємодії зарядів? Яким чином заряди «відчують» один одного і взаємодіють на відстані? Пошук відповідей на ці та багато інших запитань привів англійського фізика *Майкла Фарадея* до ідеї *поля*, яку *Альберт Ейнштейн* пізніше назвав найважливішим відкриттям із часів Ньютона. У курсі фізики ви вже зустрічалися з поняттям поля, а зараз ознайомитеся з ним детальніше.

1 Що називають електричним полем

Згідно з ідеєю М. Фарадея *електричні заряди не діють один на одного безпосередньо. Кожний заряд створює у навколишньому просторі електричне поле, і взаємодія зарядів відбувається через їхні поля.* Наприклад, взаємодія двох електричних зарядів q_1 і q_2 зводиться до того, що електричне поле заряду q_1 діє на заряд q_2 , а поле заряду q_2 діє на заряд q_1 .

Електричне поле поширюється в просторі з величезною, але скінченною швидкістю, — зі швидкістю поширення світла. Завдяки цій властивості взаємодія між двома зарядами починається не миттєво, а через певний інтервал часу Δt . Таке запізнення взаємодії важко виявити на відстанях у декілька метрів, але в космічних масштабах воно є досить помітним.

Людина не може безпосередньо, за допомогою органів чуття, сприймати електричне поле, проте його *матеріальність*, тобто об'єктивність існування, доведено експериментально.

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

Електричне поле є складовою єдиного електромагнітного поля. Джерелами електричного поля можуть бути рухомі й нерухомі електричні заряди та змінні магнітні поля.

Електричне поле, створене тільки *нерухомими* зарядами, є незмінним у часі (*статичним*). Таке поле називають **електростатичним**.

2 Що вважають силовою характеристикою електричного поля

Електричне поле, що оточує заряджене тіло, можна досліджувати за допомогою *пробного заряду*. Зрозуміло, що він не має змінювати досліджуване поле, тому як пробний заряд доцільно використовувати невеликий за значенням *точковий заряд*.

Отже, для вивчення електричного поля в деякій точці слід у цю точку помістити пробний заряд q і виміряти силу \vec{F} , яка на нього діє. Очевидно, що в точці, де на заряд діє більша сила, електричне поле є сильнішим. Однак сила, яка діє на пробний заряд в електричному полі, залежить від цього заряду. А от відношення $\frac{\vec{F}}{q}$ від заряду не залежить, тож це відношення можна розглядати як *силову характеристику поля*.

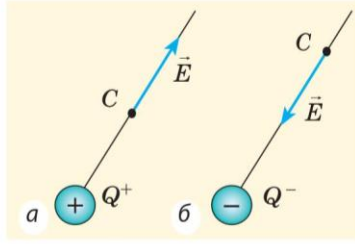


Рис. 41.1. Визначення напрямку вектора напруженості \vec{E} електричного поля в деякій точці C : поле створено позитивним точковим зарядом Q^+ (а); негативним точковим зарядом Q^- (б)

Зверніть увагу!

Формула $E = k \frac{|Q|}{r^2}$ справджується й для напруженості поля рівномірно зарядженої сфери на відстанях, що більші за її радіус або дорівнюють йому, адже поле сфери поза сферою і на її поверхні збігається з полем точкового заряду, поміщеного в центр сфери.

Напруженість електричного поля \vec{E} в даній точці — векторна фізична величина, яка характеризує електричне поле й дорівнює відношенню сили \vec{F} , з якою електричне поле діє на пробний заряд, поміщений у цю точку поля, до значення q цього заряду:

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

За напрямком вектора напруженості в даній точці електричного поля беруть напрямок сили, яка діяла б на пробний позитивний заряд, якби він був поміщений у цю точку поля (рис. 41.1).

Формула $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ дозволяє визначити одиницю напруженості електричного поля:

$$[E] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \left(\frac{\text{Н}}{\text{С}} \right).$$

Нехай точковим зарядом Q у вакуумі створено електричне поле. Дослідимо це поле за допомогою пробного заряду q , розташованого на відстані r від заряду Q . З боку поля на пробний заряд q діє сила Кулона: $F = k \frac{|Q| \cdot |q|}{r^2}$.

Оскільки модуль напруженості $E = \frac{F}{|q|}$,

$$\text{маємо: } E = k \frac{|Q| \cdot |q|}{r^2 |q|} = k \frac{|Q|}{r^2}.$$

Отже, модуль напруженості \vec{E} електричного поля, створеного точковим зарядом Q на відстані r від цього заряду, обчислюють за формулою:

$$E = k \frac{|Q|}{r^2}, \text{ або } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|Q|}{r^2}.$$

3 У чому суть принципу суперпозиції полів

Знаючи напруженість \vec{E} електричного поля, створеного деяким зарядом у даній точці простору, неважко визначити модуль і напрямок вектора сили, з якою поле діятиме на будь-який заряд q , поміщений у цю точку:

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

Якщо ж поле утворено кількома зарядами, то результуюча сила, яка діє на пробний заряд із боку системи зарядів, визначається геометричною сумою сил, з якими діють ці заряди на даний пробний заряд:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n.$$

Звідси випливає **принцип суперпозиції (накладання) електричних полів**:

Напруженість електричного поля системи зарядів у даній точці простору дорівнює векторній сумі напруженостей полів, які створюються цими зарядами в даній точці (рис. 41.2):

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

4 Як зробити видимим розподіл поля в просторі

Електричне поле можна зобразити *графічно*, використавши *лінії напруженості електричного поля (силові лінії)*, — лінії, дотичні до яких у кожній точці збігаються з напрямком вектора напруженості електричного поля (рис. 41.3).

Силкові лінії електричного поля мають *загальні властивості* (це випливає з їх означення): вони не перетинаються; не мають зламів; починаються на позитивних зарядах і закінчуються на негативних.

Дуже просто побудувати силкові лінії поля, створеного відокремленим точковим зарядом (рис. 41.4). Такі «родини» силових ліній полів точкових зарядів демонструють, що заряди є джерелами поля.

На підставі картини силових ліній можна дійти висновку не тільки про напрямок вектора напруженості \vec{E} , але й про його модуль. Справді, для точкових зарядів напруженість поля більшає в міру наближення до заряду, і, як видно з рис. 41.4, силкові лінії при цьому згущуються.

Якщо відстань між лініями напруженості в деякій області простору є однаковою, то однаковою є і напруженість поля в цій області. Електричне поле, вектори напруженості якого однакові в усіх точках простору, називають *однорідним*.

Побудувати точну картину силових ліній електричного поля, створеного будь-яким зарядженим тілом, досить важко, саме тому зазвичай обмежуються наближеним зображенням картини, керуючись певною симетрією в розташуванні зарядів (рис. 41.5).

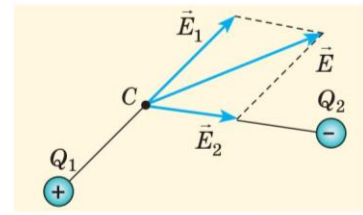


Рис. 41.2. Визначення напруженості електричного поля в точці С. Поле створене двома точковими зарядами Q_1 і Q_2

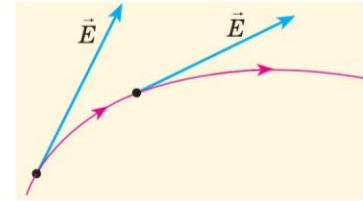


Рис. 41.3. Силова лінія електричного поля (на рисунку зображена червоним)

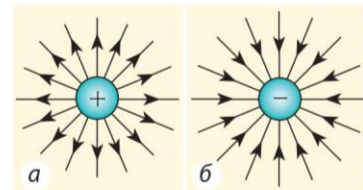


Рис. 41.4. Силкові лінії електричного поля, створеного точковим зарядом: а — позитивним; б — негативним

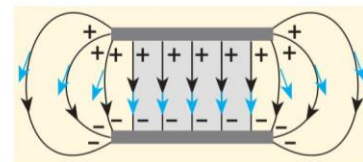


Рис. 41.5. Картина силових ліній електричного поля, створеного системою двох пластин, заряди яких рівні за модулем і протилежні за знаком. Синім позначено напрямки векторів напруженості

Зверніть увагу на картину силових ліній поля, створеного системою двох різнойменно заряджених пластин (див. рис. 41.5): в області простору між пластинами, розташованій порівняно далеко від країв пластин (на рисунку ця область зафарбована), лінії напруженості паралельні й відстані між ними однакові, тобто поле в цій області є однорідним.



Підбиваємо підсумки

- 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.

- Силова характеристика електричного поля — напруженість \vec{E} : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$.

Напруженість електричного поля системи зарядів у даній точці простору дорівнює векторній сумі напруженостей полів, які створюються цими зарядами системи в даній точці: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$.

- Для графічного зображення полів використовують лінії напруженості електричного поля (силові лінії), — лінії, дотичні до яких у кожній точці збігаються з напрямком вектора напруженості електричного поля.



Контрольні запитання

1. Що називають електричним полем? 2. Які об'єкти створюють електричне поле? 3. Що є силовою характеристикою електричного поля? За якою формулою її розраховують? 4. Як визначити напруженість поля, створеного точковим зарядом Q ? 5. У чому полягає принцип суперпозиції полів? 6. Що називають лінією напруженості електричного поля? 7. Чи можуть лінії напруженості електричного поля перетинатися? бути паралельними?



Вправа № 41

1. З якою силою електричне поле напруженістю 250 Н/Кл діє на заряд 40 нКл?
2. Точковий електричний заряд $8 \cdot 10^{-10}$ Кл розташований у деякій точці електричного поля. Визначте напруженість електричного поля в цій точці, якщо відомо, що поле діє на заряд із силою $2 \cdot 10^{-7}$ Н.
3. Як рухатиметься електрон, що влетів в однорідне електричне поле: а) в напрямку, протилежному напрямку силових ліній? б) перпендикулярно до напрямку силових ліній? Як рухатиметься в таких випадках протон?
4. Напруженість поля точкового заряду на відстані 30 см від цього заряду — 600 Н/Кл. Чому дорівнює напруженість поля на відстані 10 см від заряду?
5. У вершинах квадрата зі стороною a розташовані однакові за модулем точкові заряди q . Визначте напруженість поля в центрі квадрата, якщо: а) всі заряди позитивні; б) один із зарядів негативний.
6. Два точкові заряди $+q$ і $-q$ розміщені на відстані a один від одного (див. рисунок). Знайдіть напруженість поля в точці A , яка ділить відрізок, що сполучає заряди, навпіл; у точках B і C , розташованих на продовженнях цього відрізка, на відстані $\frac{a}{2}$ від найближчого заряду.

