

## § 25. ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ



Електромагнітна взаємодія належить до чотирьох фундаментальних видів взаємодій, що існують у природі. Вона виявляється між частинками, які мають електричний заряд, і визначає структуру речовини (зв'язує електрони та ядра в атомах і атоми в молекулах), хімічні й біологічні процеси. Різні агрегатні стани речовини, сили пружності, тертя тощо так само визначаються електромагнітною взаємодією. *Електромагнітна взаємодія здійснюється за допомогою електромагнітного поля.*



### Що таке електромагнітне поле

**Електромагнітне поле** — форма існування матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між зарядженими частинками.

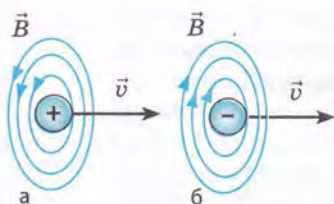
Умовно прийнято, що електромагнітне поле має дві складові (дві форми виявлення): *електричну*, яка характеризується впливом поля на рухомі та нерухомі заряджені частинки, і *магнітну*, яка характеризується впливом тільки на рухомі заряджені частинки. Згадаємо основні властивості складових електромагнітного поля.

**Електричне поле** — складова електромагнітного поля, яка характеризується дією на заряджену частинку із силою  $\vec{F}_{\text{ел}}$ , що прямо пропорційна заряду  $q$  частинки:  $\vec{F}_{\text{ел}} = q\vec{E}$ . Основною властивістю електричного поля є силовий вплив на заряджені частинки. Відповідно основною характеристикою електричного поля є *вектор напруженості  $\vec{E}$  електричного поля*.

Якщо взяти ебонітову паличку та потерти її об шматочок вовни, то паличка набуде електричного заряду і навколо неї виникне електричне поле. Отже, *джерелом електричного поля є електричний заряд* (будь-яка частинка, що має заряд, або заряджене тіло). Лінії напруженості електричного поля, створеного зарядом, починаються на позитивному заряді або в нескінченності й закінчуються на негативному заряді або в нескінченності (див. рис. 2.5, 2.6).

*Джерелом електричного поля є також змінне магнітне поле.* Лінії напруженості електричного поля, створеного змінним магнітним полем, замкнені (це поле є вихровим) й утворюють лівий гвинт із вектором магнітної індукції магнітного поля, якщо магнітна





**Рис. 25.1.** Напрямок ліній магнітної індукції магнітного поля, створеного рухомою зарядженою частинкою: а — частинка має позитивний заряд; б — частинка має негативний заряд



**Рис. 25.2.** Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879) — англійський фізик і математик, творець класичної електродинаміки, один із засновників статистичної фізики

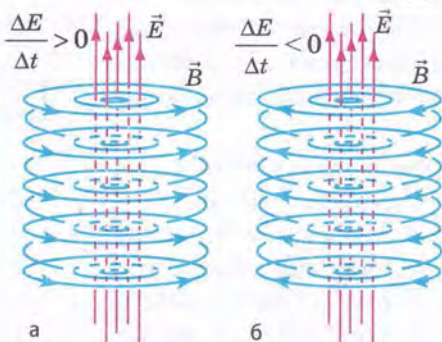
індукція збільшується (див. рис. 22.1, а), і правий гвинт, якщо магнітна індукція зменшується (див. рис. 22.1, б).

**Магнітне поле** — складова електромагнітного поля, яка характеризується дією на рухомі заряджені частинки із силою, модуль якої є прямо пропорційним заряду  $q$  та швидкості  $v$  руху частинки, а напрямок визначається за правилом лівої руки. (Ви вже знаєте, що ця сила має назву **сила Лоренца**:  $F_{\text{л}} = qBv \sin \alpha$ .) Основною характеристикою магнітного поля є **вектор магнітної індукції**  $\vec{B}$ .

**Джерела магнітного поля** — рухомі заряджені тіла й частинки та намагнічені тіла. Лінії магнітної індукції поля завжди замкнені (магнітне поле є вихровим) й утворюють правий гвинт із напрямком руху позитивно зарядженої частинки та лівий гвинт із напрямком руху негативно зарядженої частинки (рис. 25.1). Лінії магнітної індукції виходять з північного полюсу намагніченого тіла і входять у південний (див. рис. 18.6, а).

## 2 У чому полягає гіпотеза Максвелла

Намагаючись перекласти чіткою математичною мовою результати дослідів Фарадея та інших учених, видатний англійський фізик *Джеймс Клерк Максвелл* (рис. 25.2) припустив, що причиною виникнення електричного струму в дослідів Фарадея є наявність вихрового електричного поля, створеного змінним магнітним полем. Керуючись принципом симетрії, Максвелл висунув гіпотезу про те, що **й змінне електричне поле створює магнітне поле**.



**Рис. 25.3.** Напрямок ліній магнітної індукції магнітного поля: а — напруженість електричного поля збільшується; б — напруженість електричного поля зменшується

Згодом ця гіпотеза одержала блискуче експериментальне підтвердження. Згідно з теорією Максвелла лінії магнітної індукції магнітного поля утворюють правий гвинт із вектором напруженості електричного поля, якщо напруженість електричного поля збільшується (рис. 25.3, а), і лівий — якщо напруженість поля зменшується (рис. 25.3, б).

Спираючись на той факт, що електричне поле породжується змінним магнітним полем, а магнітне поле — змінним електричним, Максвелл дійшов висновку: **електричне та магнітне поля не існують окремо, незалежно одне від одного, — існує єдине електромагнітне поле**.



На частинку, що має заряд  $q$  і рухається в електромагнітному полі, діє зведена сила Лоренца  $\vec{F}_{\text{зв}}$ , яку можна визначити за формулою:

$$\vec{F}_{\text{зв}} = \vec{F}_{\text{ел}} + \vec{F}_{\text{л}},$$

де  $\vec{F}_{\text{ел}}$  — електрична складова зведеної сили Лоренца;  $\vec{F}_{\text{л}}$  — магнітна складова зведеної сили Лоренца.

Електромагнітне поле має властивість *неперервності*: якщо в деяких точках  $A$  і  $B$  простору існує електромагнітне поле, то воно існує й у просторі між цими точками. Електромагнітне поле поширюється в просторі зі скінченною швидкістю, яка у вакуумі дорівнює швидкості поширення світла —  $3 \cdot 10^8$  м/с.

3

### У чому відносність електричного і магнітного полів

Існування єдиного електромагнітного поля, а не окремих магнітного та електричного полів підтверджується тим фактом, що вияв у просторі тільки електричної або тільки магнітної складової поля залежить від вибору системи відліку (СВ).

Уявіть, що ви передали деякому тілу електричний заряд і, тримаючи це тіло в руках, йдете до свого товариша. Якби наші органи зору мали здатність завжди бачити електромагнітне поле, то ви бачили б тільки одну його складову — електричне поле, оскільки відносно вас заряд є нерухомим. Водночас ваш товариш бачив би як електричне, так і магнітне поле, тому що відносно нього заряд рухається.

Нехай тепер ваш товариш візьме в руки постійний магніт і понесе його до вас. Тепер він «бачитиме» тільки магнітне поле, ви ж — і магнітне, і електричне, оскільки відносно вас магнітне поле буде змінним. Водночас ви ніколи не знайдете СВ, відносно якої обидві складові електромагнітного поля зникли би, адже електромагнітне поле матеріальне. Це можна порівняти з розгляданням медалі. Ми ж не думаємо, що в неї немає зворотного боку. Є! Просто в деякий момент ми його не бачимо.

!

### Підбиваємо підсумки

Електромагнітне поле — форма існування матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між зарядженими частинками.

Умовно прийнято, що електромагнітне поле має дві складові — електричну (електричне поле), яка характеризується впливом поля як на рухомі, так і на нерухомі заряджені частинки, і магнітну (магнітне поле), яка характеризується впливом тільки на рухомі заряджені частинки. Електричне та магнітне поля не існують окремо, незалежно одне від одного; існує єдине електромагнітне поле.

?

### Контрольні запитання

1. Дайте визначення електромагнітного поля, назвіть його умовні складові.
2. Дайте визначення електричного поля. Яка фізична величина є його силовою характеристикою?
3. Назвіть джерела електричного поля. Що собою являють лінії напруженості поля, створеного кожним типом джерел? Як визначити їх напрямки?
4. Дайте визначення магнітного поля. Яка фізична величина є його силовою характеристикою?
5. Назвіть джерела магнітного поля. Що собою являють лінії магнітної індукції поля, створеного кожним типом джерел? Як визначити їх напрямки?
6. У чому полягає гіпотеза Дж. Максвелла?
7. Назвіть основні властивості електромагнітного поля.
8. Наведіть приклади, що підтверджують відносність електричного та магнітного полів.