

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія природничих дисциплін**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни «Фізика»  
обов'язкових компонент  
освітньої програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**Аеронавігація**

**За темою - Закон Ампера**

**Харків 2022**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2022 № 8\_\_\_\_\_

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
ХНУВС  
Протокол від \_22.08.2022\_№ \_\_1\_\_

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2022 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії природничих дисциплін, протокол  
від 10.08.2022 № 1

**Розробник:** викладач циклової комісії природничих дисциплін, спеціаліст  
першої категорії, Москалик В.М.

**Рецензенти:**

1. Завідувач відділення фахової підготовки навчального відділу КЛК ХНУВС,  
к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.
2. Доцент кафедри автомобілів і тракторів Кременчуцького національного  
університету імені Михайла Остроградського, к.т.н., доцент Черниш А.А.

### План лекції:

1. Дія магнітного поля на прямолінійний провідник із струмом.
2. Взаємодія струмів.
3. Дія магнітного поля на рухомий заряд. Сила Лоренца.

### Література:

#### Основна література:

- 1.1 Дмитрієва В. Ф. Фізика : навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К. : Техніка, 2008. – 608 с.
- 1.2 Трофімова Т.І. Курс фізики ; 11-е изд., стер. : навчальний посібник для вишів / Т.І. Трофімова. –К.: Видавничий центр «Академія», 2006. – 560 с.
- 1.3.Технічна термодинаміка ( Термодинаміка, теплопередача, теорія авіаційних двигунів) навчальний посібник: Л.В. Михненко. Міністерство цивільної авіації. Московський інститут інженерії цивільної авіації. Москва, 1988 рік.

#### 1Дія магнітного поля на прямолінійний провідник із струмом

Одним із проявів магнітного поля є його дія на рухомі електричні заряди і провідники із струмом. У 1820 р. А. Ампер установив закон, який визначає силу, що діє на елемент струму в магнітному полі. Оскільки створиш відокремлений елемент струму не можна, то Ампер вивчав поведінку рухомих дротяних замкнених контурів різної форми. Він установив, що

на провідник із струмом, вміщений в однорідне магнітне поле індукції  $B$ , діє сила, пропорційна довжині відрізка провідника  $\Delta l$ , силі струму  $I$ , який проходить по провіднику, та індукції магнітного поля  $B$ :

$$F = B I \Delta l \sin \alpha,$$

де  $\alpha$  – кут між напрямом струму в провіднику і напрямом вектора  $B$ .

Ця сила має максимальне значення, якщо  $\alpha = \pi / 2$ . Якщо провідник розміщений уздовж ліній магнітної індукції, то ця сила дорівнює нулю.

Вираз  $F = B I \Delta l \sin \alpha$  називають законом Ампера.

Для визначення напрямку сили, яка діє на провідник із струмом, вміщений у магнітне поле, застосовують правило лівої руки:

якщо ліву руку розмістити так, щоб лінії магнітної індукції входили в долоню, а випрямлені чотири пальці збігалися з напрямом струму в провіднику, то відігнутий великий палець покаже напрям сили, яка діє на провідник із струмом, вміщений у магнітне поле (рис. 1).

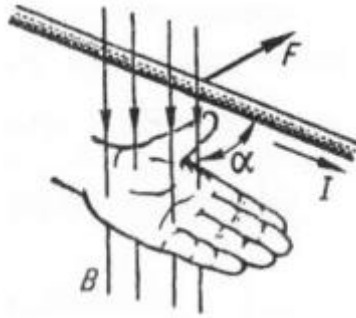


Рис. 1

Ця сила завжди перпендикулярна до площини, в якій лежать провідник і вектор  $B$ . Знаючи напрям і модуль сили, що діє на будь-яку ділянку провідника  $\Delta l_i$  можна обчислити силу, що діє на весь провідник. Для цього треба знайти суму сил, які діють на всі ділянки провідника.

## 2 Взаємодія струмів

Розглянемо взаємодію паралельних провідників із струмом. Припустимо, що в однорідному ізотропному середовищі з магнітною проникністю  $\mu$  на відстані  $d$  один від одного розміщені два провідники 1 і 2 (рис. ). Нехай в одному напрямі по одному з них проходить струм  $I_1$ , а по другому –  $I_2$ .

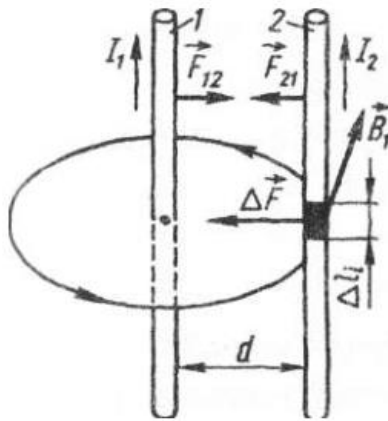


Рис. 2

Вважатимемо, що провідник із струмом  $I_1$  створює магнітне поле, а провідник із струмом  $I_2$  лежить у магнітному полі провідника  $I_1$ .

Виділимо на провіднику 2 довільний елемент  $\Delta l_i$ , на нього діє сила Ампера

$$\Delta F_i = B_1 I_2 \Delta l_i \sin \alpha,$$

де  $B_1 = \frac{\mu \mu_0 I_1}{2\pi d}$  – індукція магнітного поля, яке створює перший провідник.

Вектор  $B_1$  напрямлений перпендикулярно до провідника із струмом  $I_2$ , тому  $\sin \alpha = 1$ . Враховуючи це, дістанемо

$$\Delta F_i = \frac{\mu\mu_0 I_1}{2\pi d} I_2 \Delta l_i.$$

Застосувавши правило лівої руки, визначимо напрям цієї сили. Щоб визначити силу  $F_{21}$  (тобто силу, яка діє з боку першого провідника на другий), треба взяти суму всіх елементарних  $F_i$ . Врахувавши те, що  $\sum \Delta l_i = l$ , дістанемо

$$F_{21} = \sum_{i=1}^n \Delta F_i = \frac{\mu\mu_0 I_1}{2\pi d} \Delta l_i = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}.$$

Отже,

сила, з якою перший провідник діє на другий, пропорційна добутку струмів, що проходять по провідниках, і обернено пропорційна відстані між ними.

Крім того, вона залежить від магнітних властивостей середовища, в якому розміщені провідники і їх довжини.

Нехай тепер, навпаки, перший провідник буде в магнітному полі, яке створює другий провідник. За допомогою аналогічних обчислень дістанемо, що другий провідник діє на перший із силою

$$F_{12} = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}.$$

З порівняння останніх формул видно, що ці сили однакові за модулем, але протилежні за напрямом.

Якщо струми проходять по провідниках в однакових напрямках, то провідники притягуються, а якщо в протилежних - відштовхуються, бо на кожний з них з боку магнітного поля другого провідника діє сила, модуль якої

$$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}.$$

Магнітну взаємодію провідників із струмом використано для означення ампера - одиниці сили електричного струму, основної одиниці СІ:

1 А дорівнює силі незмінюваного струму, який під час проходження по двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини і дуже малої площі кругового поперечного перерізу, розміщених у вакуумі на відстані 1 м один від одного, спричинював би на кожній ділянці провідника завдовжки 1 м силу взаємодії, що дорівнює  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

Використавши означення ампера і останню формулу, можна знайти

$$\mu_0 = \frac{2\pi d F}{\mu I_1 I_2 l} = \frac{2\pi \cdot 1 \text{ м} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}}{1 \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ м}} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}.$$

### 3Дія магнітного поля на рухомий заряд. Сила Лоренца

Рухомі електричні заряди створюють навколо себе магнітні поля, які поширюються у вакуумі із швидкістю світла. У середовищах з  $\epsilon > 1, \mu \geq 1$  швидкість поширення менша.

Якщо заряд рухається в зовнішньому магнітному полі, то відбувається силова взаємодія магнітних полів, яку визначають за законом Ампера. Процес взаємодії магнітних полів дослідив Лоренц, який вивів формулу для визначення сили, що діє з боку магнітного поля на рухому заряджену частинку.

Силу, яка діє з боку магнітного поля  $B$  на заряд  $Q$ , що рухається з швидкістю  $V$ , називають силою Лоренца. Її можна визначити, виходячи з закону Ампера. Нехай по провіднику завдовжки  $\Delta l$  за час  $\Delta t$  проходить  $n$  однакових зарядів  $Q$  (рис. 3). Це означає, що через провідник проходить струм  $I = nQ/\Delta t$ . За законом Ампера, на  $nQ$  зарядів діє сила

$$F = BI\Delta l \sin \alpha = B \frac{nQ}{\Delta t} \Delta l \sin \alpha.$$

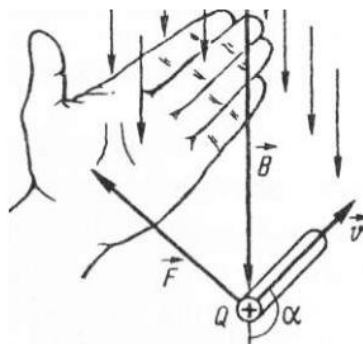


Рис. 3

Сила, з якою поле діє на кожний окремий заряд (сила Лоренца),

$$F_{\text{л}} = \frac{F}{n} = BQ \frac{\Delta l}{\Delta t} \sin \alpha.$$

Врахувавши, що  $\frac{\Delta l}{\Delta t} = V$  - середня швидкість руху заряду, дістанемо

$$F_{\text{л}} = QVB \sin \alpha,$$

де  $\alpha$  - кут між вектором швидкості заряду  $u$  і вектором магнітної індукції  $B$ .

Сила Лоренца напрямлена перпендикулярно до векторів  $V$  і  $B$ .

Для рухомого позитивного заряду її напрям визначають за правилом лівої руки (рис. 3). Із зміною знака заряду напрям сили змінюється на протилежний.

Аналізуючи вираз, можна зробити висновки:

- а) якщо швидкість заряду  $V = 0$ , то  $F_L = 0$ , тобто магнітне поле не діє на нерухому заряджену частинку;
- б) якщо  $\alpha = 0$ , то  $\sin \alpha = 0$  і  $F_L = 0$ , тобто якщо частинка рухається так, що вектор її швидкості  $V$  паралельний вектору магнітної індукції  $B$ , то на неї з боку магнітного поля сили не діють.

Оскільки сила Лоренца завжди напрямлена перпендикулярно до вектора швидкості частинки, яка летить, то вона не змінює модуля швидкості, а змінює тільки напрям руху частинки. Якщо заряджена частинка рухається в однорідному магнітному полі, вектор індукції якого перпендикулярний до напрямку швидкості зарядженої частинки, то сила Лоренца викривляє траєкторію руху, виконуючи роль доцентрової сили. Дія цієї сили не змінює кінетичної енергії зарядженої частинки, тобто сила Лоренца не виконує роботи