

Завдання з дисципліни «Фізика і Астрономія»

**Заняття № 17 (09-12.11) II курс**

**Тема: ІНДУКЦІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ. ПОТІК МАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ. ДІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВІДНИК ЗІ СТРУМОМ. СИЛА АМПЕРА. СИЛА ЛОРЕНЦА.**

**1. Засвоєння нових знань.**

Внесення контуру (замкнутого провідника) в магнітне поле викликає появу механічного моменту сил  $\vec{M}$ , що діють на нього. Силовою характеристикою поля є *вектор індукції* магнітного поля  $\vec{B}$ , який визначається з виразу

$$\vec{M} = [\vec{P}\vec{B}].$$

Орієнтуючи контур у просторі, можна знайти максимальне значення величини моменту сили  $M_{\max} = PB \cdot \sin \pi/2 = PB$  і тим самим визначити величину вектора  $\vec{B}$  так

$$B = M_{\max}/P.$$

Одиницею вимірювання індукції є тесла

$$[B] = \frac{H}{A \cdot m} = \text{Тл.}$$

Існує також таке положення контуру, коли момент сили, що діє на нього установиться рівним 0. Це відбувається тоді, коли вектори магнітного моменту та індукції будуть паралельними  $\vec{P} \parallel \vec{B}$  і  $M_{\max} = PB \cdot \sin 0^0 = 0$ . Тому за напрямком  $\vec{B}$  приймається напрямком магнітного моменту  $\vec{P}$  в положенні, коли величина моменту сили  $\vec{M}$  дорівнює нулю.

Магнітний потік. На провідник зі струмом у магнітному полі діє сила, тому під час руху провідника виконується певна механічна робота. Саме ця робота магнітних полів з переміщення провідників зі струмами використовується в електродвигунах та в багатьох приладах. Припустимо, що провідник зі струмом довжиною  $l$  переміщується поступально в однорідному магнітному полі з індукцією  $B$  паралельно самому собі на відстань  $d$ . Напрямок магнітної індукції  $B$  вважатимемо перпендикулярним до  $l$  і  $d$ . В цьому випадку на провідник діє сила  $F = B \cdot I \cdot l$  і тому роботу, виконану силою  $F$ , можна обчислити за формулою:  $A = F \cdot d = B \cdot I \cdot l \cdot d$ . Але добуток  $ld$  — площа, описана провідником під час його руху (на малюнку її виділено сірим кольором). Позначивши її через  $\Delta S$ , дістанемо

$$A = IB\Delta S. \tag{1}$$

Якщо вектор індукції  $B$  спрямований до площі  $\Delta S$  під кутом  $\alpha$ , то його завжди можна розкласти на складову  $\vec{B}_n$ , перпендикулярну до площі  $\Delta S$ , і складову  $B_m$ , паралельну площі  $\Delta S$ . Оскільки сила Ампера завжди перпендикулярна до індукції поля, то складова  $B_m$  діє із силою, перпендикулярною до  $d$ , і робота цієї сили дорівнюватиме нулеві. Тому

$$A = IB_n \Delta S = IB \Delta S \cos \alpha,$$

де  $B_n = B \cos \alpha$ .

(2)

Одержані формули можна спростити, ввівши ще одну дуже важливу характеристику магнітного поля — *магнітний потік*, або потік магнітної індукції.

У випадку однорідного магнітного поля магнітним потоком  $\Phi$  через площадку  $S$ , розташовану перпендикулярно до ліній індукції, називають величину, яка дорівнює добуткові магнітної індукції  $B$  на її площу  $S$ :

$$\Phi = BS. \quad (3)$$

Якщо магнітна індукція  $B$  не перпендикулярна до площадки  $S$ , магнітний потік дорівнює:

$$\Phi = B_n S = BS \cos \alpha. \quad (4)$$

Одиниця магнітного потоку:

$$1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ вебер (Вб)}.$$

Повернемося до формули (2). Її можна записати:

$$A = IB(S_2 - S_1) = I(BS_2 - BS_1).$$

Але  $BS_1 = \Phi_1$  — магнітний потік через контур у початковому положенні провідника  $l$ , а  $BS_2 = \Phi_2$  — магнітний потік через контур у кінці переміщення провідника  $l$ . Відтак формулу роботи запишемо:

$$A = I(\Phi_2 - \Phi_1) = I\Delta\Phi. \quad (5)$$

Таким чином, робота магнітних сил дорівнює добуткові сили струму на зміну магнітного потоку через контур, обмежений провідником.

Підкреслимо, що формулою (5) можна користуватися і для обчислення роботи магнітних сил у випадку повороту рамки зі струмом (контуром) у магнітному полі.

Сила, діюча на елемент струму в магнітному полі з індукцією  $B$  називається *силою Ампера*.

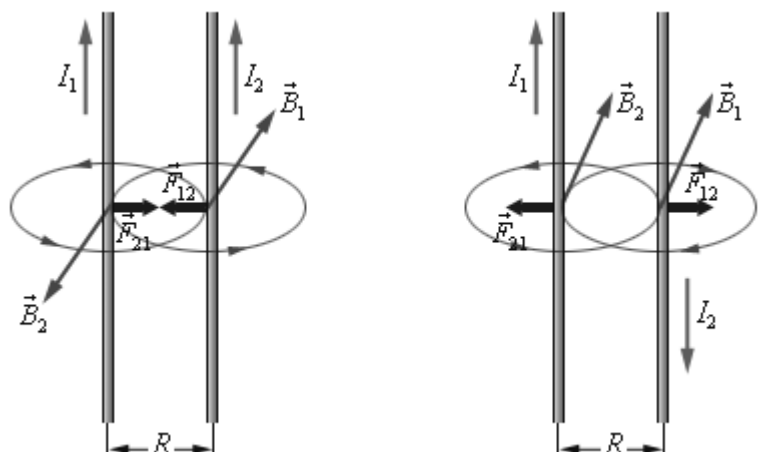
Вираз для модуля сили  $F$ , діючої з боку магнітного поля з індукцією  $B$  на малий відрізок провідника  $l$ , по якому тече струм  $I$ , що складає з елементом струму кут  $\alpha$ , має вигляд:

$$F_A = B \cdot I \cdot l \sin \alpha - \text{закон Ампера.}$$

**!!** Напрямок сили Ампера можна знайти за допомогою *правила лівої руки*: якщо ліву руку розташувати так, щоб силові лінії магнітного поля входили в долоню, а чотири витягнуті пальці були напрямлені уздовж напрямку струму, то відігнутий на  $90^\circ$  великий палець покаже напрям сили, діючої на провідник.

### Взаємодія провідників зі струмом.

Дією сили Ампера пояснюється взаємодія паралельних провідників зі струмом:



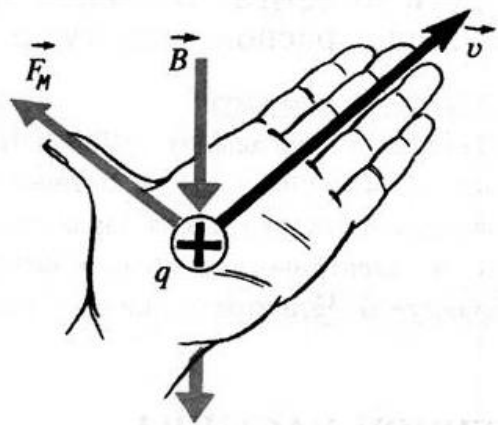
$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 \Delta l}{2\pi R}$$

Сила Лоренца – це сила, з якою магнітне поле діє на рухому заряджену частинку.

$$F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha (\vec{B}, \vec{v}).$$

**!!** Напрямок сили Лоренца визначається за допомогою **правила лівої руки**:

якщо витягнуті пальці лівої руки розташувати у напрямі руху позитивного заряду так, щоб складова магнітної індукції  $B$ , перпендикулярна до напрямку швидкості заряду, входила в долоню, то відігнутий на  $90^\circ$  великий палець укаже напрям сили Лоренца, яка діє на заряд.



Для визначення напрямку сили Лоренца, що діє на негативний заряд, який рухається, треба чотири витягнуті пальці лівої руки направити проти руху цього заряду.

#### Узагальнена сила Лоренца.

Як відомо, на електричний заряд діє не тільки магнітне, але й електричне поле. Отже, якщо електричний заряд рухається в електромагнітному полі, то сила, яка на нього діє, може бути представлена як векторна сума електричної та магнітної складових:

$$\vec{F} = \vec{F}_{el} + \vec{F}_L, \text{ або: } \vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{v} \times \vec{B}]$$

З курсу механіки відомо, що коли швидкість матеріальної точки перпендикулярна до напрямку сили, що на неї діє, то ця точка рухається по колу. Значить, електричний заряд, що влетів в магнітне поле перпендикулярно до ліній поля, буде рухатися по колу. Слід наголосити, що магнітна сила при цьому є доцентровою. Таким чином, хоча магнітне поле й діє на частинку з деякою силою, але воно змінює тільки напрям руху частинки й не змінює її кінетичної енергії.

Нехай заряджена частинка влітає в магнітне поле під кутом  $\alpha = 90^\circ$  і рухається по колу радіусом  $R$ :  $F_L = Bqv$ ,  $F_L = ma_{доц} = m \frac{v^2}{R}$ , тоді:  $Bqv = m \frac{v^2}{R}$ .

Оскільки сила Лоренца перпендикулярна до напрямку швидкості руху частинки то і робота сили Лоренца дорівнює нулю.