

Завдання з дисципліни «Фізика і Астрономія»

Заняття 1 курс

Заняття (практичне) 2 курс

Тема: ЕЛЕКТРОДИНАМІКА. Сила Ампера.

Якщо рамку зі струмом розташувати між полюсами магнітів, рамка повернеться і встановиться перпендикулярно до ліній магнітної індукції поля, створеного магнітами. А як змусити рамку обертатися? Як створити електричний двигун, який, до речі, був винайдений на півсторіччя раніше, ніж двигун внутрішнього згоряння? Чому магнітне поле чинить на рамку зі струмом орієнтувальну дію? Згадуємо і дізнаємося нове.

Сила Ампера

Восени 1820 р. *А. Ампер*, досліджуючи дію магнітного поля на провідники різних форм і розмірів, отримав формулу для визначення сили, що діє на окрему невелику ділянку провідника (на елемент струму). Зараз цю силу називають *силою Ампера*.

Сила Ампера — це сила, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом.

Якщо провідник прямолінійний, а магнітне поле, в якому він перебуває, однорідне, то модуль сили Ампера визначають за формулою:

$$F_A = BIl \sin \alpha$$

де B — магнітна індукція поля, в якому перебуває провідник; I — сила струму в провіднику; l — довжина активної частини провідника; α — кут між вектором магнітної індукції і напрямком струму (рис. 11.1).

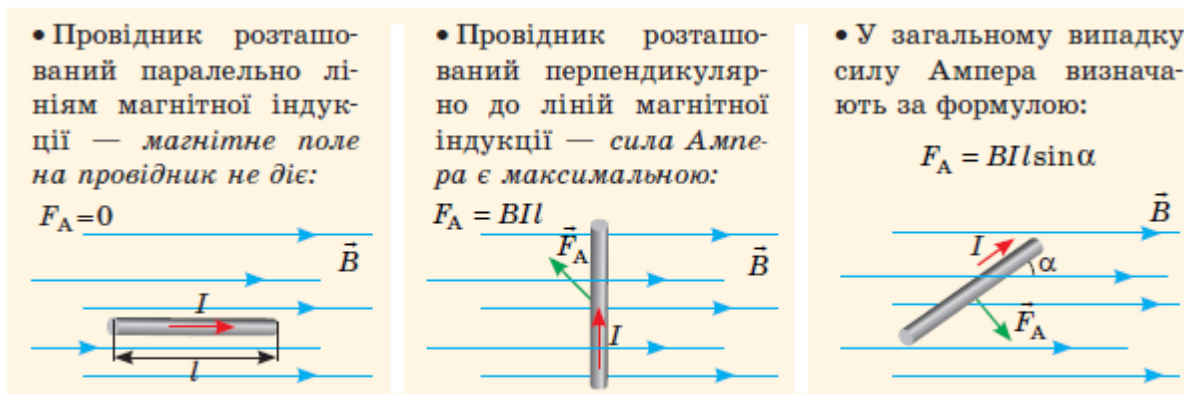


Рис. 11.1. Залежність значення сили Ампера від орієнтації провідника в магнітному полі

Напрямок сили Ампера визначають за правилом лівої руки (рис. 11.2):

Якщо ліву руку розташувати так, щоб лінії магнітної індукції входили в долоню, а чотири витягнуті пальці вказували напрямок струму в провіднику, то відігнутий на 90° великий палець укаже напрямок сили Ампера.

Зверніть увагу: якщо провідник не прямий і (або) магнітне поле неоднорідне, то можна визначити сили Ампера, які діють на невеликі ділянки провідника, а потім геометричним додаванням обчислити силу Ампера, що діє на провідник у цілому.

Момент сил Ампера, які діють на рамку зі струмом

Візьмемо легку прямокутну рамку зі сторонами a і b , яка складається з одного витка дроту, помістимо її в однорідне магнітне поле так, щоб вона могла легко обертатися навколо горизонтальної осі, і пропустимо в рамці струм (рис. 11.3, *а*). Погойдавшись, рамка установиться перпендикулярно до ліній магнітної індукції (рис. 11.3, *б*). Знайдемо момент сил Ампера, що діють на рамку в деякий момент часу (рис. 11.3, *в*). Для цього визначимо напрямок, модуль і плече кожної із сил, що діють на сторони рамки. Бачимо:

1) сили Ампера \vec{F}_3 і \vec{F}_4 не повертають, а лише розтягують рамку — моменти цих сил дорівнюють нулю.

2) сили Ампера \vec{F}_1 і \vec{F}_2 повертають рамку проти ходу годинникової стрілки — створюють *обертальний момент* M : $M = M_1 + M_2 = F_1 d_1 + F_2 d_2$.

Тут $F_1 = F_2 = B I a$, де I — сила струму, a — довжина сторони AK (і CD);

$d_1 = d_2 = \frac{b}{2} \sin \alpha$, де b — довжина сторони KC , α — кут між вектором \vec{B} магнітної індукції і нормаллю (перпендикуляром) n до рамки (рис. 11.3, *в*).

Отже: $M = B I a \frac{b}{2} \sin \alpha + B I b \frac{b}{2} \sin \alpha = B I S \sin \alpha$, де $S = ab$ — площа рамки.

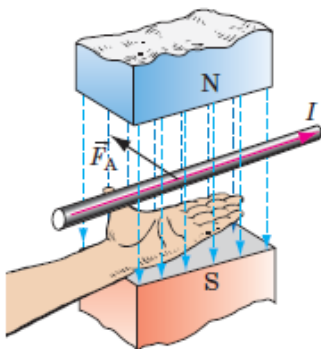


Рис. 11.2. Визначення напрямку сили Ампера за правилом лівої руки

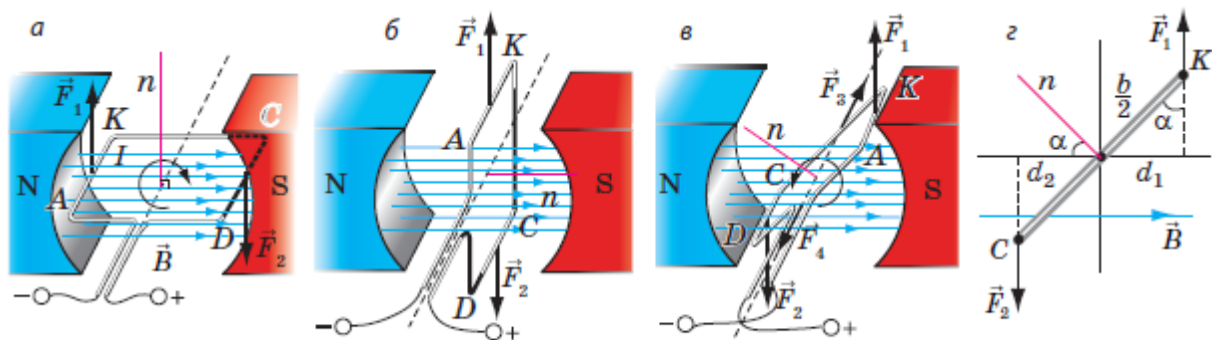


Рис. 11.3. Дослідження дії магнітного поля на рамку зі струмом: а — сили Ампера \vec{F}_1 і \vec{F}_2 повертають рамку $AKCD$ за ходом годинникової стрілки; б — у положенні рівноваги сили Ампера не повертають рамку, а розтягують; в — сили Ампера повертають рамку проти ходу годинникової стрілки

Момент сил Ампера, які діють на плоский замкнений контур, розташований в однорідному магнітному полі, дорівнює добутку модуля магнітної індукції поля, сили струму в контурі, площі контуру і синуса кута α між вектором магнітної індукції та нормаллю до площини контуру: $M = BIS \sin \alpha$.

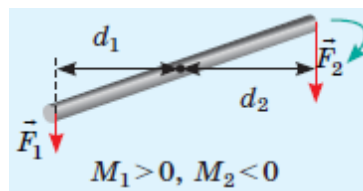
Нагадуємо

• Момент сили M — це фізична величина, яка характеризує обертальний ефект сили і дорівнює добутку сили F на плече d сили:

$$M = F \cdot d; [M] = \text{Н} \cdot \text{м}.$$

• Плече сили d — це відстань від осі обертання до лінії дії сили.

• Момент сили вважають **додатним**, якщо сила повертає (або намагається повернути) тіло проти ходу годинникової стрілки, і **від'ємним**, якщо сила повертає тіло за ходом годинникової стрілки.



Де застосовують силу Ампера

Обертання рамки зі струмом у магнітному полі використовують в **електричних двигунах** — пристроях, в яких електрична енергія перетворюється на механічну.

Повернемося до рис. 11.3. Бачимо, що сили Ампера спочатку повертають рамку в одному напрямку (рис. 11.3, а), а після проходження положення рівноваги — в протилежному (рис. 11.3, в). Тому рамка дуже швидко зупиняється в положенні рівноваги. Щоб рамка не зупинялась і оберталась в одному напрямку, застосовують **колектор** — пристрій, який автоматично змінює напрямок струму в рамці (рис. 11.4). Півкільця колектора обертаються разом із рамкою, а щітки залишаються нерухомими, тому після проходження положення рівноваги до щіток притискаються вже інші півкільця. Напрямок струму в рамці змінюється на протилежний, а напрямок обертання рамки не змінюється.

Зрозуміло, що обертальний момент, який створюють сили Ампера в рамці, зображеній на рис. 11.4, є дуже малим, тому потужність такого «двигуна» незначна.

Для збільшення обертального моменту ($M = NBIS \sin \alpha$) у реальних електродвигунах:

1) *обмотку* обертової частини двигуна — *ротора* (від латин. *rotare* — обертатися) — виготовляють із великої кількості витків дроту, які вкладають у спеціальні пази на

бічній поверхні *осердя* — циліндра, виготовленого з листів магнітної сталі (рис.11.5);

2) використовують кілька обмоток, які намотують на одне осердя; колектор такого двигуна має низку мідних дугоподібних контактних пластин, закріплених на ізолюваному барабані, і кожна обмотка з'єднана з однією парою пластин;

3) замість постійного магніту використовують електромагніт, який становить одне ціле з корпусом електродвигуна та слугує *статором* (від латин. *stator* — той, що стоїть нерухомо). Обмотка статора підключена до того самого джерела струму, що й обмотка ротора.

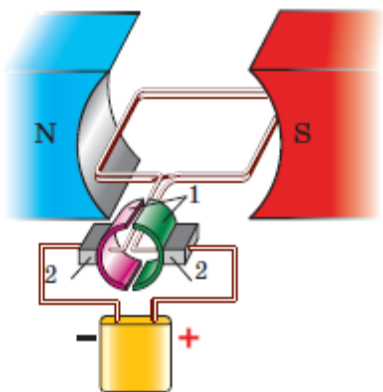


Рис. 11.4. Колектор являє собою два провідних півкільця (1), до кожного з яких притиснута металева щітка (2); щітки з'єднані з полюсами джерела струму



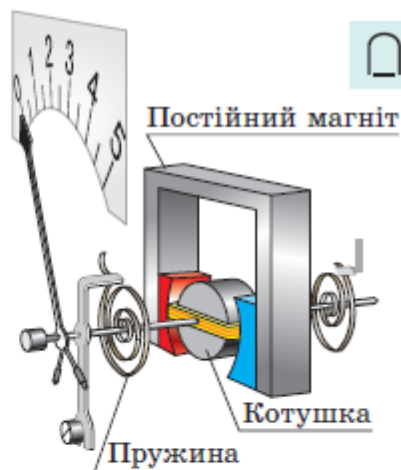
Рис. 11.5. Ротор двигуна (від латин. *rotare* — обертатися), який містить одну обмотку

Електровимірювальні прилади магніто-електричної та електродинамічної систем

У цих приладах використовують залежність обертального моменту, створеного силами Ампера, від сили струму в рамці.

Коли прилад вмикають у коло, в рамці починає йти струм і внаслідок дії сил Ампера рамка повертається в магнітному полі магніту. Разом із рамкою повертається стрілка й одночасно закручуються спіральні пружини. Коли момент сил Ампера зрівноважується моментом сил пружності, рух стрілки припиняється, проте вона залишається відхиленою. Чим більша сила струму в рамці, тим на більший кут відхилиться стрілка.

У приладах *електродинамічної системи* замість постійного магніту застосовують *електромагніт*.

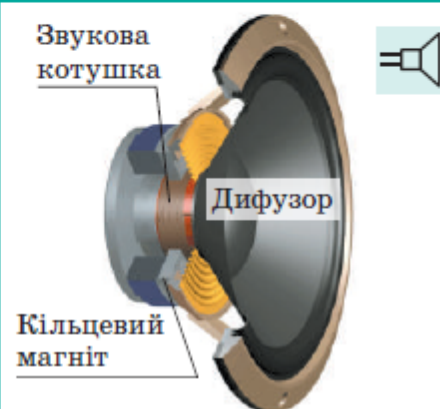


Вимірювальний механізм приладів магнітоелектричної системи

Електродинамічний гучномовець (динамік)

У динаміку сила Ампера, що діє на витки котушки, змушує котушку втягуватись у кільцевий магніт. Коли сила струму в котушці змінюється зі звуковою частотою, так само змінюється й сила Ампера — котушка коливається в такт зміні сили струму. Разом із котушкою коливається і прикріплений до неї дифузор, який «штовхає» повітря, створюючи звукову хвилю, — гучномовець випромінює звук.

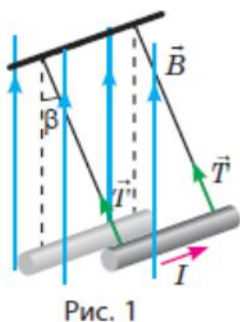
До речі, поширені зараз навушники — це саме електродинамічні випромінювачі звуку.



Приклад розв'язання задач

Задача. Щоб визначити магнітну індукцію магнітного поля, створеного підковоподібним магнітом, учні за допомогою проводів підвісили між полюсами магніту алюмінієвий провідник завдовжки 8 см і масою 6 г (див.рис. 1). Коли в провіднику йшов струм силою 3 А, провідник відхилився на кут 45° від вертикалі. Який результат отримали учні? Магнітне поле на ділянці, де розташований провідник, вважайте однорідним і вертикальним.

Аналіз фізичної проблеми. Провідник відхиляється внаслідок дії сили Ампера, напрямком якої визначимо за правилом лівої руки. Провідник горизонтальний, а магнітне поле вертикальне, тому кут α між напрямком струму та вектором магнітної індукції становить 90° . Зважаючи на те що сили, які діють на провідник, скомпенсовані, визначимо магнітну індукцію поля.



Дано:

$$l = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$m = 6 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$I = 3 \text{ А}$$

$$\beta = 45^\circ$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

B — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

На провідник діють чотири сили: сила тяжіння, дві сили натягу проводів і сила Ампера (рис. 2). Запишемо рівняння другого закону Ньютона у векторному вигляді та в проекціях на осі координат:

$$\vec{F}_A + m\vec{g} + 2\vec{T} = 0;$$

$$\begin{cases} OX : F_A - 2T \sin\beta = 0, \\ OY : 2T \cos\beta - mg = 0, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2T \sin\beta = F_A, \\ 2T \cos\beta = mg. \end{cases}$$

Поділивши перше рівняння системи

на друге, маємо: $\frac{\sin\beta}{\cos\beta} = \frac{F_A}{mg}$, або $\text{tg}\beta = \frac{F_A}{mg}$,

де $F_A = BIl \sin\alpha = BIl$, оскільки $\alpha = 90^\circ$.

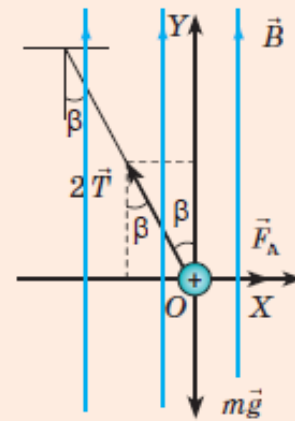


Рис. 2

$$\text{Отже, } \text{tg}\beta = \frac{BIl}{mg} \Rightarrow B = \frac{mg \text{tg}\beta}{Il}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[B] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м/с}^2}{\text{А} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \text{Тл}; \quad B = \frac{6 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot \text{tg} 45^\circ}{3 \cdot 8 \cdot 10^{-2}} = 0,25 \text{ (Тл)}.$$

Відповідь: $B = 0,25 \text{ Тл}$.