

§ 28. ДІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВІДНИК ЗІ СТРУМОМ. ПРАВИЛО ЛІВОЇ РУКИ. ЕЛЕКТРИЧНІ ДВИГУНИ



Фізичні дослідження, які часто проводять заради «наукової цікавості», у разі вдалого завершення зазвичай започатковують новий етап у розвитку техніки. Саме так сталося з вивченням електромагнітних явищ. Минув час, і наше життя неможливо уявити без електричних двигунів — екологічно чистих, зручних, компактних пристроїв, у яких енергія електричного струму перетворюється на механічну енергію.

Про те, як електрична енергія може бути перетворена на механічну, ви дізнаєтеся з цього параграфа.

1 Знайомимося із силою, що діє на провідник зі струмом

Із § 26 ви дізналися, що магнітне поле діє на провідник зі струмом з деякою силою. У цьому легко переконатися за допомогою дослідів. Візьмемо прямий провідник, виготовлений з немагнітного матеріалу, і підвісимо його на тонких і гнучких проводах таким чином, щоб він перебував між полюсами підковоподібного постійного магніту (рис. 28.1, а). Якщо пропустити по провіднику струм, провідник відхилиться від положення рівноваги (рис. 28.1, б). Причиною такого відхилення є *сила, що діє на провідник зі струмом з боку магнітного поля*. Довів наявність цієї сили та з'ясував, від чого залежать її значення й напрямок, А. Ампер (див. рис. 9.2). Саме тому цю силу називають *силою Ампера*.

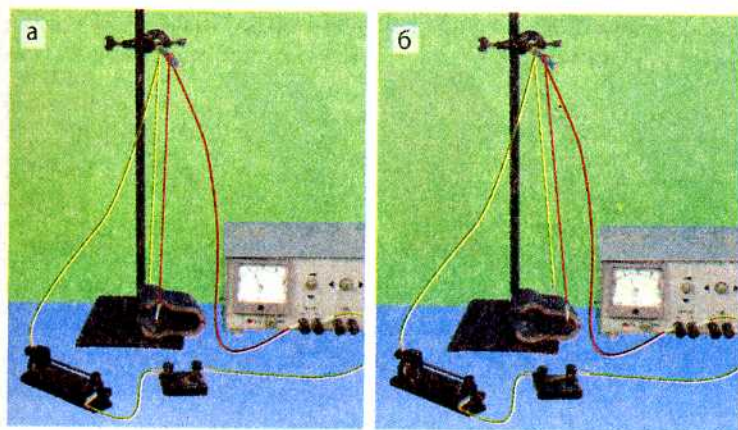


Рис. 28.1. Дослід, який демонструє дію магнітного поля на алюмінієвий провідник зі струмом: у разі відсутності струму магнітне поле на провідник не діє (а); якщо по провіднику тече струм, провідник відхиляється (б)

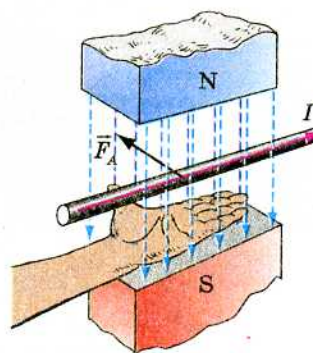


Рис. 28.2. Напрямок сили Ампера (\vec{F}_A) визначають за правилом лівої руки

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

Експериментально встановлено, що *сила Ампера пропорційна силі струму в провіднику та довжині тій частини провідника, що перебуває в магнітному полі**. Сила Ампера збільшується з посиленням магнітного поля і залежить від розташування провідника відносно ліній магнітного поля. Сила Ампера є максимальною, якщо провідник розташований перпендикулярно до магнітних ліній, і дорівнює нулю, якщо провідник розташований паралельно магнітним лініям.

Напрямок сили Ампера зручно визначати за допомогою **правила лівої руки** (рис. 28.2):

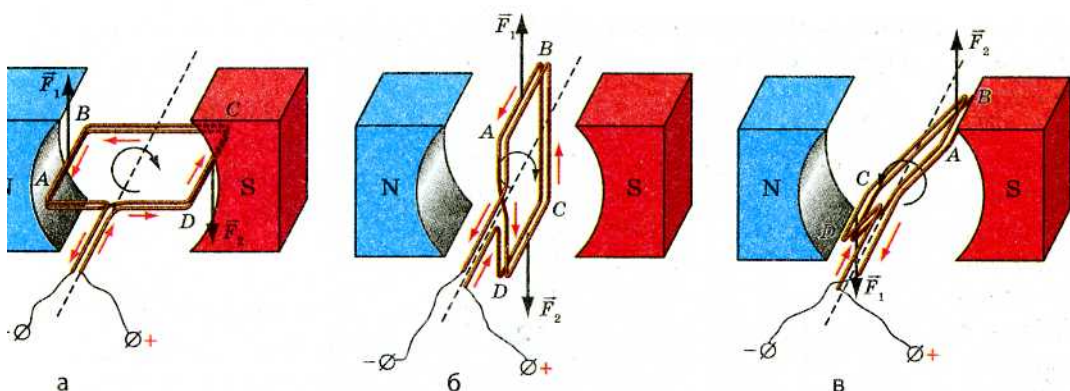
Якщо ліву руку розташувати так, щоб лінії магнітного поля входили в долоню, а чотири витягнуті пальці вказували напрямок струму в провіднику, то відігнутий на 90° великий палець укаже напрямок сили Ампера.

2 Вивчаємо дію магнітного поля на рамку зі струмом

Візьмемо легку прямокутну рамку, що складається з кількох витків ізоляованого дроту, і помістимо її між полюсами магніту так, щоб вона могла легко обертатися навколо горизонтальної осі (див. рис. 28.3, а). Пропустимо по рамці електричний струм (на рисунку напрямок струму позначений червоними стрілками). Рамка повернеться і, гойднувшись кілька разів, установиться так, як показано на рис. 28.3, б. Це положення є **положенням рівноваги рамки**.

З'ясуємо, чому рамка почала рух. Для цього, скориставшись правилом лівої руки, визначимо напрямок сили Ампера, що діє на кожну

* Частину провідника, яка перебуває в магнітному полі, називають **активною частиною провідника**.



ис. 28.3. Дослідження дії магнітного поля на рамку зі струмом:

- сили Ампера (\vec{F}_1 і \vec{F}_2) повертають рамку за ходом годинникової стрілки;
- у положенні рівноваги сили Ампера не повертають рамку, а розтягують;
- після проходження рамкою положення рівноваги сили Ампера повертають її проти ходу годинникової стрілки

сторону рамки на початку спостереження. На рис. 28.3, *а* бачимо, що сила Ампера F_1 , яка діє на сторону AB , напрямлена вгору, а сила Ампера F_2 , що діє на сторону CD , напрямлена вниз. Отже, обидві сили повертають рамку за ходом годинникової стрілки.

А тепер з'ясуємо, чому рамка припинила рух. Річ у тім, що після проходження рамкою положення рівноваги сили Ампера (F_1 і F_2) повертатимуть її вже проти годинникової стрілки (рис. 28.3, *в*). (Переконайтеся в цьому, скориставшись правилом лівої руки.) У результаті рамка почне повертатися у зворотному напрямку, пройде положення рівноваги, після чого напрямок її руху знову зміниться. Урешті-решт через дію сил тертя рамка зупиниться.

3 Знайомимося з принципом дії колектора

Обертання рамки зі струмом у магнітному полі було використано при створенні *електричних двигунів* — пристроїв, в яких *електрична енергія перетворюється на механічну*. Щоб зрозуміти принцип дії електродвигуна, спочатку з'ясуємо, як змусити рамку безперервно обертатися в одному напрямку, наприклад за ходом годинникової стрілки.

Неважко здогадатися: для цього треба, щоб сила Ампера, яка діє на ліву частину рамки (F_1), завжди була спрямована вгору, а сила Ампера, що діє на праву частину рамки (F_2), — вниз (див. рис. 28.3). Тобто, зважаючи на правило лівої руки, слід зробити так, щоб струм у лівій частині рамки завжди був спрямований до нас, а в правій частині — від нас. Іншими словами, у момент проходження рамкою положення рівноваги, коли ліва і права частини рамки міняються місцями, напрямок струму в рамці має змінюватися на протилежний.

Пристрій, який автоматично змінює напрямок струму в рамці, називають **колектором**.

На рис. 28.4 зображено модель, за допомогою якої можна ознайомитися з принципом дії колектора. Власне колектор являє собою два півкільця (1), до кожного з яких притиснута металева щітка (2). Півкільця виготовлені з провідника й розділені зазором. Щітки слугують для підведення напруги від джерела струму (5) до рамки (4), яка може легко обертатися навколо горизонтальної осі і розташована між полюсами потужного магніту (3). Одну з щіток з'єднують з позитивним полюсом джерела струму, другу — з негативним.

Після замикання кола рамка під дією сил Ампера починає повертатися за ходом годинникової стрілки. Півкільця колектора повертаються разом із рамкою, а щітки залишаються нерухомими, тому після проходження положення рівноваги до щіток будуть притиснуті вже інші півкільця. Напрямок струму в рамці зміниться на протилежний, а напрямок обертання рамки залишиться тим самим.

4 Збільшуємо потужність електричного двигуна та забезпечуємо рівномірність його роботи

Для збільшення потужності електродвигуна потрібно збільшити сили Ампера, дія яких забезпечує обертання рамки.

Оскільки сила Ампера пропорційна довжині провідника, то обмотку електродвигуна виготовляють із великої кількості витків дроту. Витки вкладають у спеціальні пази на бічній поверхні циліндра, який виготовлено зі сталевих листів. Циліндр слугує осердям, що значно посилює магнітне поле обмотки. Осердя з обмоткою слугує **ротором** (від латин. *rotare* — обертатися), або **якорем**, двигуна (рис. 28.5).

Для забезпечення рівномірного обертання ротора використовують кілька обмоток, які намотують на одне осердя. Колектор такого двигуна являє собою не півкільця, а низку мідних дугоподібних пластин, закріплених на ізолюваному барабані (рис. 28.6).

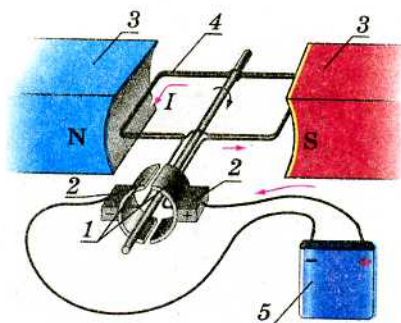


Рис. 28.4. Модель, яка демонструє принцип дії колектора: 1 — півкільця; 2 — металеві щітки; 3 — постійний магніт; 4 — рамка, що обертається навколо горизонтальної осі; 5 — джерело струму

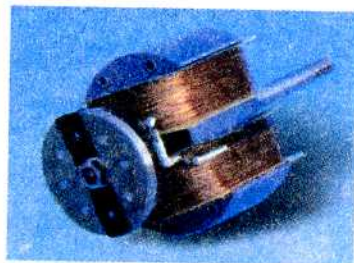


Рис. 28.5. Ротор двигуна, що містить одну обмотку

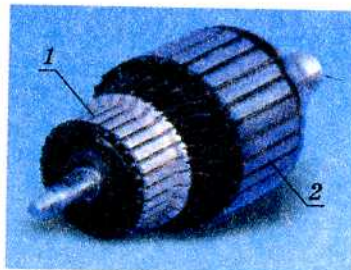


Рис. 28.6. Колектор (1) і ротор (2), який містить дванадцять обмоток

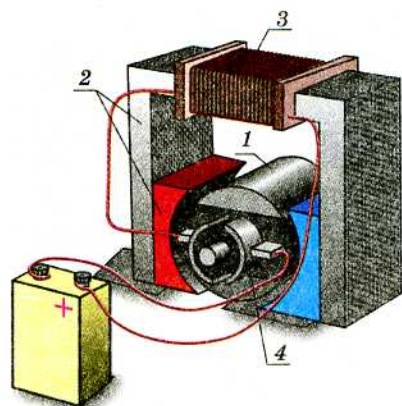


Рис. 28.7. Схема будови електродвигуна постійного струму: 1 — ротор; 2 — статор; 3 — обмотка статора; 4 — колектор

Ротор (1) обертається в магнітному полі потужного електромагніту (рис. 28.7). Такий електромагніт становить одне ціле з корпусом електродвигуна і слугує його *статором* (від латин. *stator* — той, що стоїть нерухомо), або *індуктором* (2). Обмотку (3) статора підключено до того самого джерела струму, що й обмотку ротора. Коли по обмотках ротора й статора йде струм, ротор обертається в магнітному полі статора і двигун працює.

5 Застосовуємо електродвигуни

Електродвигуни постійного струму знайшли своє застосування в електротранспорті: їх установлюють у трамваях, тролейбусах, електровозах і електромобілях, використовують як стартери для запуску двигунів внутрішнього згоряння. У промисловості й побу-

ті застосовують електродвигуни змінного струму (з їхньою будовою ви ознайомитесь у старших класах).

Електричні двигуни мають істотні переваги перед тепловими. Вони більш компактні, економічні (ККД досягає 98 %), зручні в застосуванні (їхню потужність легко регулювати). Крім того, електричні двигуни не забруднюють навколишнє середовище.

6 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Доведіть, що два паралельні провідники, по яких протікає струм одного напрямку, притягуються.

Аналіз фізичної проблеми

Навколо будь-якого провідника зі струмом існує магнітне поле, отже, кожний із даних провідників перебуває в магнітному полі іншого. Тому на перший провідник діятиме сила Ампера з боку магнітного поля, що створене струмом у другому провіднику, і навпаки. Визначивши напрямки цих сил за допомогою правила лівої руки, з'ясуємо, притягуються чи відштовхуються провідники.

Розв'язання

Для розв'язання задачі виконаємо пояснювальний рисунок, на якому зобразимо провідники А і В та позначимо напрямок струму в них (рис. 1).

Провідник А перебуває у магнітному полі провідника В.

1) За допомогою правила правої руки визначимо напрямок ліній магнітного поля, створеного провідником В (позначка «•» означає, що магнітна лінія спрямована до нас, а позначка «×» — від нас). Бачимо, що біля провідника А ці лінії напрямлені до нас (див. рис. 1).

2) Скориставшись правилом лівої руки, визначимо напрямок сили Ампера, яка діє на провідник А з боку магнітного поля провідника В (рис. 2).

3) Робимо висновок: провідник А притягується до провідника В.

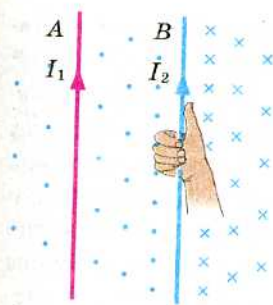


Рис. 1

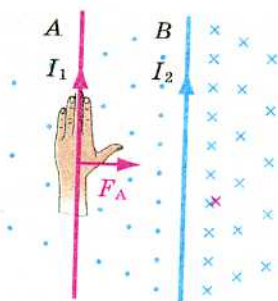


Рис. 2

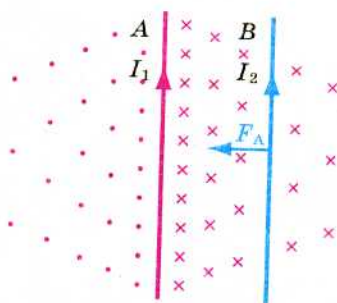


Рис. 3

Провідник B перебуває у магнітному полі провідника A .

1) Визначимо напрямок ліній магнітного поля, створеного провідником A (рис. 3)

2) Визначимо напрямок сили Ампера, яка діє на провідник B .

3) Робимо висновок: провідник B притягується до провідника A .

Відповідь: два паралельні провідники, по яких протікає струм одного напрямку, притягуються.

! Підбиваємо підсумки

Силу, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом, називають силою Ампера.

Для визначення напрямку сили Ампера використовують правило лівої руки: якщо ліву руку розташувати так, щоб лінії магнітного поля входили в долоню, а чотири витягнуті пальці вказували напрямку струму в провіднику, то відігнутий на 90° великий палець укаже напрямку сили Ампера.

У результаті дії сили Ампера рамка зі струмом може обертатися в магнітному полі. Явище обертання рамки зі струмом у магнітному полі використовують у роботі електродвигунів. Рухомою частиною електродвигуна — ротор — складається з металевго осердя і рамки, струм до якої підводиться за допомогою колектора. Ротор обертається в магнітному полі потужного електромагніту — статора.

Електричні двигуни мають певні переваги перед тепловими: вони більш компактні, економічні, зручні в застосуванні, не забруднюють навколишнє середовище.

? Контрольні запитання

1. Опишіть дослід на підтвердження того, що в магнітному полі на провідник зі струмом діє сила.
2. Дайте означення сили Ампера.
3. Від яких чинників залежить значення сили Ампера?
4. Сформулюйте правило для визначення напрямку сили Ампера.
5. Чому рамка зі струмом повертається в магнітному полі? чому зупиняється?
6. Назвіть основні частини електродвигуна. Яка з них «відповідає» за безперервне обертання рамки електродвигуна? Як вона улаштована?
7. Як улаштований ротор електродвигуна?
8. Що являє собою статор електродвигуна?
9. Назвіть переваги електричних двигунів перед тепловими.

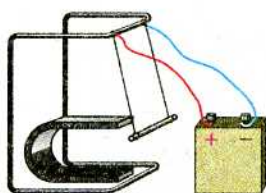


Рис. 1

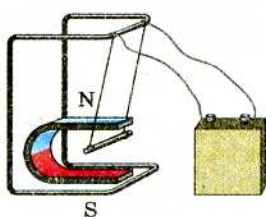


Рис. 2

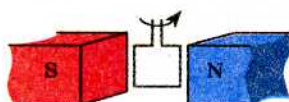


Рис. 4

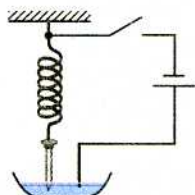


Рис. 5

Вправа № 25

1. На рис. 1 зображено провідник зі струмом, який відхиляється в магнітному полі постійного магніту. Визначте полюси магніту.
2. На рис. 2 зображено провідник зі струмом, який відхиляється в магнітному полі постійного магніту. Визначте напрямок струму в провіднику.
3. Якщо замкнути електричне коло (рис. 3), то алюмінієвий стрижень покотиться по рейках. Визначте, у який бік. Обґрунтуйте свою відповідь.

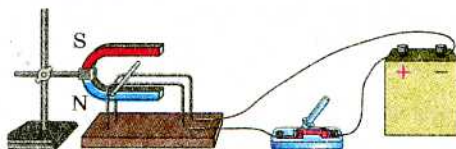


Рис. 3

4. На рис. 4 зображено рамку зі струмом, яка повертається в магнітному полі постійного магніту. Визначте напрямок струму в рамці.
5. Доведіть, що два провідники, по яких пропускають струми протилежних напрямків, відштовхуються.
6. Електричні двигуни мають низку переваг перед тепловими. Чому ж людство не відмовиться від застосування теплових двигунів?
- 7*. На кінці м'якої металевої пружини підвішено залізний цвях, нижній кінець якого ледве занурено в посудину з розчином кухонної солі (рис. 5). Що спостерігатиметься після замикання ключа?

Експериментальне завдання

Розгляньте будову електричного двигуна, вийнятого з іграшки. Приєднайте двигун до батареї гальванічних елементів і зверніть увагу на напрямок обертання ротора. Яким чином, на вашу думку, можна змінити напрямок обертання ротора на протилежний? Перевірте свої припущення.