

МАГНЕТИЗМ

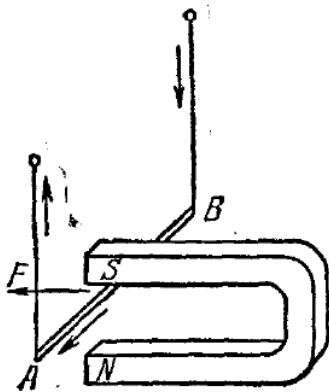
Магнітна взаємодія

Досвід показує, що в природі існує взаємодія подібна електричному, але відмінне від нього. Так, якщо взяти два постійних магніти, то між ними можливо як взаємне відштовхування, так і взаємне притягання. Але при цьому ці два тіла виявляються електрично нейтральними.

Подібна ситуація виникає при взаємодії електричних струмів. Два прямих паралельних провідника, по яких течуть електричні струми, притягуються, якщо струми течуть в одному напрямку і відштовхуються, якщо в протилежних. Провідники зі струмом електрично нейтральні. Отже, в цьому випадку з'являються сили взаємодії, які не можуть бути пояснені кулонівською взаємодією. Ці сили називаються *магнітними силами*.

Для того щоб показати, що в цих двох прикладах має місце одне і теж фізичне явище потрібно якимось чином об'єднати ці дві ситуації в одну. Дійсно, такий досвід легко придумати (див. мал.)

Переміщаючи провідник зі струмом між полюсами підковоподібного магніту можна отримати, що провідник зі струмом буде або втягуватися в магніт, або виштовхувати з нього.



Подібно до того, як спочиваючий електричний заряд діє на інший заряд за допомогою електричного поля, електричний струм діє на інший струм за допомогою магнітного поля.

Нерухомі заряди не створюють магнітного поля. Джерелами магнітного поля є рухомі в вакуумі або в якому-небудь середовищі заряди (струми) і постійні магніти. Магнітне поле постійних магнітів також викликається рухом зарядів (електронів) в атомах речовини самого магніту. По суті магнітне поле створюється тільки рухомими зарядами.

Магнітне поле не діє на спочиваючі заряди. Воно діє на заряди, що рухаються у вакуумі або в середовищі, тобто на струми. Дія магнітного поля на магніти зводиться, в кінцевому рахунку, до дії його на заряди, які рухаються в атомах речовини.

Вчення про електромагнетизм засноване на двох положеннях:

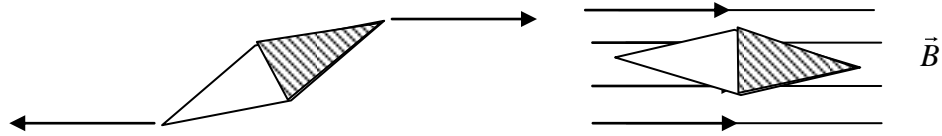
1. Магнітне поле діє на струми і (або) рухомі заряди.
2. Магнітне поле виникає навколо струмів і рухомих зарядів.

Щоб розібратися у всьому різноманітті явищ магнетизму, які спостерігаються в природі, почнемо з розгляду простих законів, що лежать в основі цих явищ.

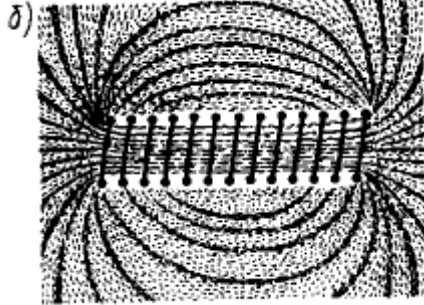
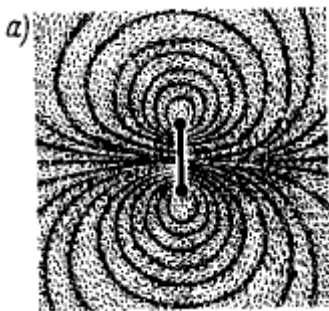
Вектор магнітної індукції. сила Ампера.

Подібно вектору напруженості електростатичного поля \vec{E} , силовою характеристикою магнітного поля є вектор магнітної індукції \vec{B} .

Для візуалізації магнітного поля внесемо в нього маленьку магнітну стрілку. Вона повернеться і встановиться по полю

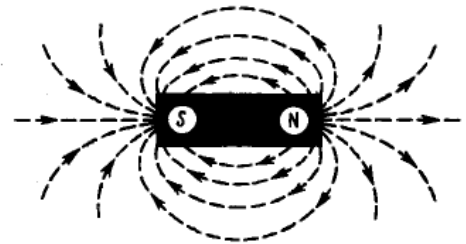


За допомогою безлічі таких стрілок можна уявити конфігурацію магнітного поля (див. мал.) а) – магнітне поле кругового струму, б) – магнітне поле системи кругових струмів (соленоїда).



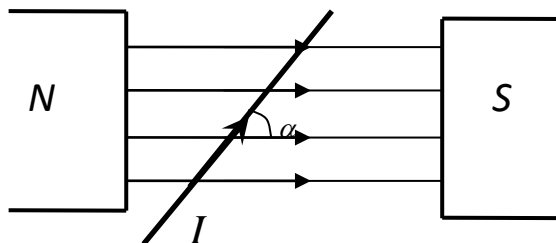
Будемо зображати силові лінії магнітного

поля такими лініями, дотичні до яких, паралельні маленьким магнітним стрілкам. Домовилися вважати, що силові лінії спрямовані від північного полюса N до південного S . Силові лінії смугового магніту представлені на наступному малюнку.



Лінії напруженості електростатичного поля \vec{E} починаються на позитивних зарядах і закінчуються на негативних, а сила, що діє в цьому полі на заряд, спрямована по дотичній до лінії напруженості. На відміну від силових ліній електростатичного поля, лінії магнітного поля замкнені. Це пов'язано з відсутністю в природі "магнітних зарядів".

Для кількісного опису явища впливу магнітного поля на провідник зі струмом розглянемо наступний експеримент (див. мал.)



Досвід показує, що сила, яка діє на струм в магнітному полі, залежить від величини даного поля, довжини провідника, сили струму і розташування цього струму (кута α). Дана сила носить назву сили Ампера, а відповідний вираз закон Ампера:

$$\vec{F}_A = I[\vec{l}, \vec{B}],$$

де в квадратних дужках написано векторний добуток векторів, вектор \vec{l} має довжину рівну довжині провідника поміщеного в магнітне поле, і його

напрямок збігається з напрямком сили струму. Вектор \vec{B} називається вектором **магнітної індукції**, яка вимірюється в теслах (Тл). Закон Ампера (силу Ампера) можна переписати в скалярному вигляді

$$F_A = IlB\sin\alpha,$$

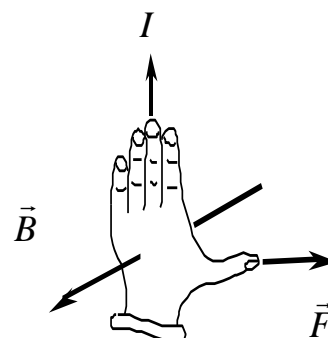
де α - кут між лініями магнітної індукції і напрямком сили струму.

У разі неоднорідного магнітного поля на нескінченно малий елемент струму $I d\vec{l}$ діє нескінченно мала сила Ампера $d\vec{F}_A$

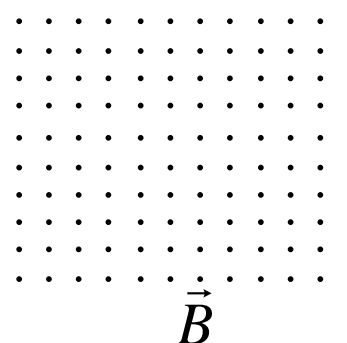
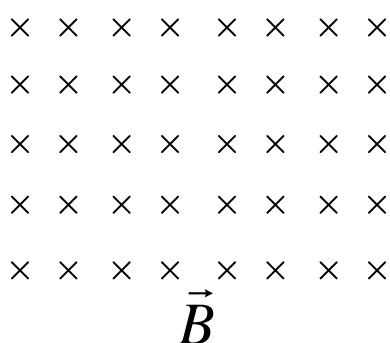
$$d\vec{F}_A = I[d\vec{l}, \vec{B}]$$

Напрямок сили Ампера можна знайти за допомогою правила лівої руки:

- а) ставимо ліву руку так, щоб силові лінії магнітного поля входили в долоню;
- б) чотири витягнуті пальці показують напрямок струму в провіднику;
- в) тоді великий відігнутий палець покаже напрямок сили \vec{F} .



Очевидно, що лінії магнітного поля спрямовані таким чином, що в кожній точці простору дотичний до них вектор збігається за напрямком з вектором магнітної індукції \vec{B} . Якщо вектор \vec{B} лежить в площині листа, то його зображення не представляє труднощі. якщо вектор \vec{B} перпендикулярний до площини листа, то його домовилися зображати хрестиком, якщо вектор направлений від "нас". І точкою, якщо - до "нас". Теж саме стосується для зображення напрямку сили струму або швидкості рухомого заряду.



Магнітне поле направлено від "нас".

Магнітне поле направлено до "нас".

Сила Лоренца.

Лоренц припустив, що сила Ампера пояснюється тим, що магнітне поле діє на рухомі заряди в провіднику. Як ми знаємо з розділу «Електростатика і постійний струм» для сили струму I існує вираз

$$I = qn\nu S,$$

де q - заряд, який рухається в провіднику (як правило, це електрони з зарядом $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл),

$n = N/V$ - концентрація носіїв заряду (число зарядів, поділене на обсяг який вони займають),

ν - швидкість спрямованого руху цих зарядів,

S - площа поперечного перерізу провідника.

Підставимо цей вираз в формулу сили Ампера

$$F_A = IlB\sin\alpha = qn\nu SlB\sin\alpha = q \frac{N}{V} \nu VB\sin\alpha = qN\nu B\sin\alpha,$$

де ми підставили вираз для концентрації $n = N/V$ і помітили, що добуток довжини провідника на його площа поперечного перерізу $Sl = V$ дорівнює об'єму провідника.

Звідси маємо

$$\frac{F_A}{N} = q\nu B\sin\alpha,$$

де зліва стоїть сила, що діє на одиничний заряд, яка називається силою Лоренца. Таким чином, формула сили Лоренца в скалярному вигляді записується як

$$F_L = q\nu B\sin\alpha.$$

Цьому вираженню можна надати і векторний вигляд

$$\vec{F}_L = q[\vec{\nu}, \vec{B}].$$

Напрямок сили Лоренца також зручно визначати за правилом лівої руки (див. Попередній пункт). Тільки в цьому випадку необхідно слова - напрямок сили струму замінити - на напрям швидкості руху заряду і додати четвертий пункт.

Правило лівої руки для сили Лоренца:

- а) ставимо ліву руку так, щоб силові лінії магнітного поля входили в долоню;
- б) чотири витягнутих пальці показують напрямок швидкості руху заряду (тобто $\vec{\nu}$);
- в) тоді великий відігнутий палець покаже напрям сили \vec{F} ;
- г) якщо заряд негативний, то напрямок сили потрібно поміняти на протилежне.

Рух заряджених частинок в магнітному полі.

Розглянемо рух частинки масою m і зарядом q в постійному однорідному магнітному полі \vec{B} . Лінії магнітної індукції перпендикулярні площині креслення і спрямовані за креслення (від нас). Розглянемо найпростіший випадок, коли швидкість частинки \vec{v} перпендикулярна вектору \vec{B} . Частинка рухається по колу радіусом R , оскільки сила, що діє на неї - сила Лоренца, в кожній точці траєкторії перпендикулярна швидкості і спрямована до центру кола, то вона є доцентровою силою:

$$\vec{F}_n = q[\vec{v}, \vec{B}].$$

Так як $\vec{v} \perp \vec{B}$, то $\alpha = 90^\circ$, отже $\sin \alpha = 1$ и $F_n = qvB$.

З іншого боку на заряд діє відцентрова сила $\vec{F}_ц$ спрямована від центра кола

$$F_ц = \frac{mv^2}{R}.$$

Ці дві сили компенсують один одного, отже, модулі цих сил рівні, то

$$\frac{mv^2}{R} = qvB.$$

Звідки знаходимо

$$R = \frac{mv}{qB}.$$

Радіус кола зменшується з збільшенням магнітної індукції поля \vec{B} і зростає пропорційно швидкості частинки.

Обчислимо період обертання частинки по кола, тобто час, за яке вона здійснює один оберт. розділимо довжину окружності на швидкість частинки:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m v}{v q B} = \frac{2\pi m}{B q}.$$

Період не залежить від швидкості частинки і визначається тільки відношенням її заряду до маси і індукцією магнітного поля \vec{B} .

Відношення заряду до маси $\frac{q}{m}$ називається питомим зарядом частинки.

Залежність періоду від швидкості використовується в циклотроні - циклічному прискорювачі заряджених частинок.

