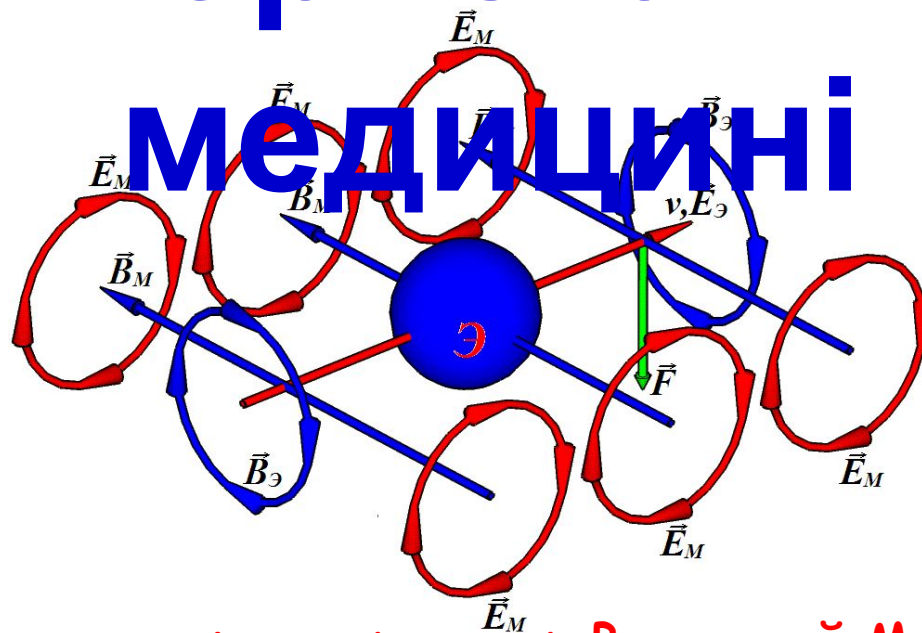
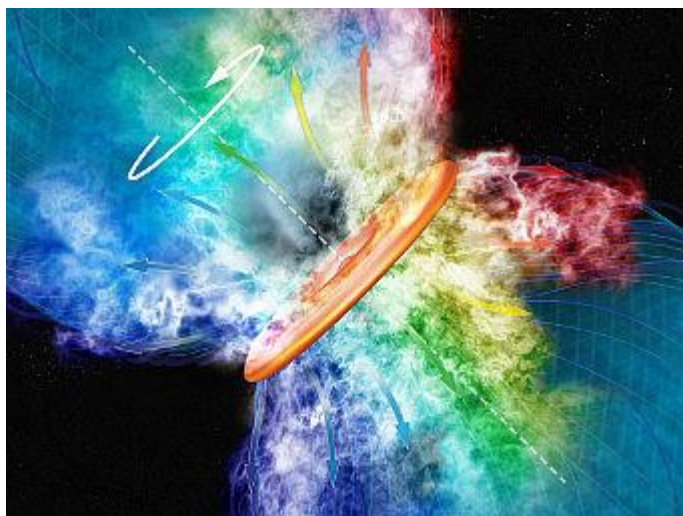


Біомагнетизм. Використання в медичині



- 1) **Магнітне поле** невід'ємна частина нашої планети. Без нього вона загине, згорить від сонячної радіації;
- 2) **Магнітне поле Землі** створюється ядром планети;
- 3) Земля – це величезний магніт;
- 4) Для орієнтування на місцевості користуємося компасом;
- 5) На поверхні землі є магнітні аномалії;
- 6) Сонячна активність призводить до магнітних бур на Землі;
- 7) Найбільш сильні бурі – біля магнітних полюсів: не працює радіозв'язок, телебачення і компас;
- 8) Магнітні бурі впливають на формування погоди, на самопочуття людей;
- 9) У магнітному полі Землі живі організми пристосувалися, навчилися рухатися вздовж ліній магнітного поля Землі



Магнітне поле Землі – силове поле, виникнення якого зумовлене джерелами, що знаходяться в земній кулі та навколоземному просторі (магнітосфері та іоносфері).

Розрізняють:

- **головне** (зумовлене механіко-електромагнітними процесами у зовнішньому шарі ядра Землі);
- **аномальне** (пов'язане головним чином з намагніченістю гірських порід земної кори);
- **зовнішнє магнітне поле Землі** (зумовлене електричними струмами, що існують у навколоземному космічному просторі, та індукованими у мантиї Землі).

У навколоземному космічному просторі магнітне поле Землі утворює **магнітосферу**.



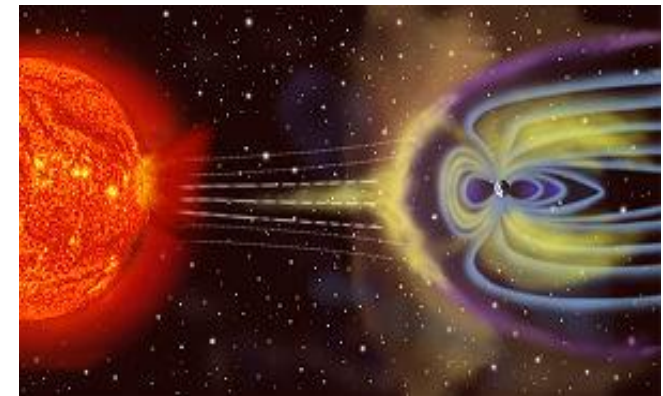
Магнітне поле Землі змінюється в межах від **30 мкТ в районі екватора до 60 мкТ в районі полюсів**.

На невеликому віддаленні від поверхні Землі, близько трьох її радіусів, магнітні силові лінії мають диполеподібне розташування. Ця область називається **плазмосферою** Землі. У міру віддалення від поверхні Землі посилюється вплив сонячного вітру: з боку Сонця геомагнітне поле стискується, а з протилежного, нічного боку, воно витягується в довгий «хвіст».

Параметри поля:

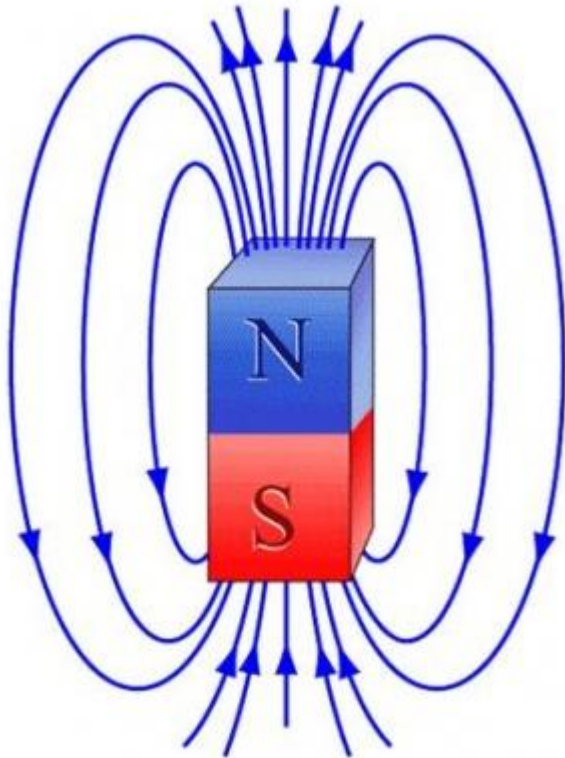
середня напруженість поля на поверхні Землі складає близько **0,5 Е (40 А / м)** і сильно залежить від географічного положення. Напруженість магнітного поля на магнітному екваторі близько **0,34 Е (Ерстед)**, у магнітних полюсів близько **0,66 Е**. У деяких районах (у так званих районах магнітних аномалій) напруженість різко зростає.

Дипольний магнітний момент Землі на 1995 рік становив **7,812 · 10²⁵ Гс · см³ (або 7,812 · 10²² А · м²)**, зменшуючись в середньому за останні десятиліття на **0,004 · 10²⁵ Гс · см³** або на **1/4000** на рік.

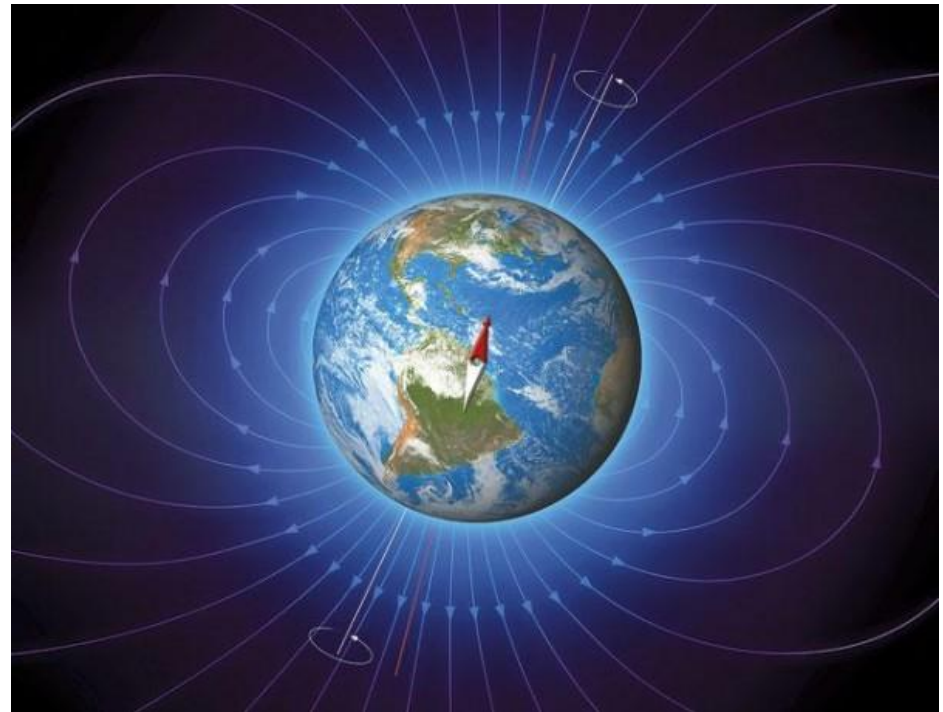


Обтікання магнітосфери Землі сонячним вітром

Магнетизм - форма взаємодії «рухомих» електричних зарядів, яка здійснюється на відстані за допомогою магнітного поля. Поряд з електрикою, магнетизм - один із проявів електромагнітної взаємодії.

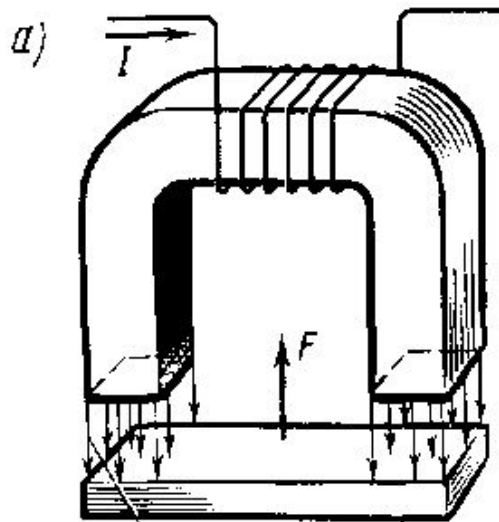


Силкові лінії магнітного поля
навколо магніта

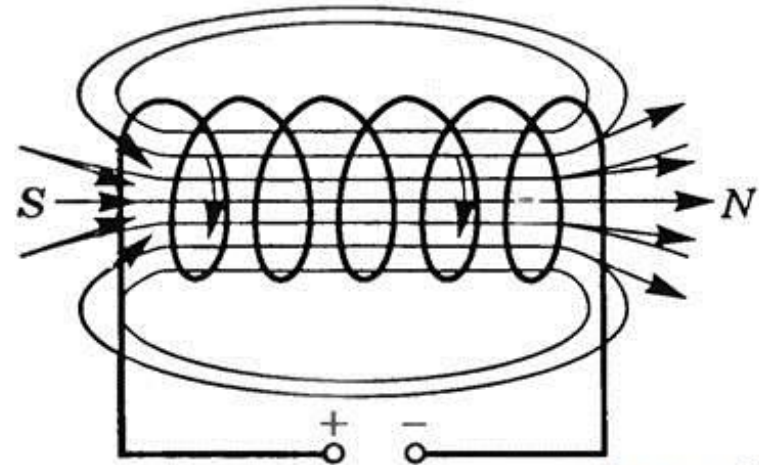


Силкові лінії магнітного поля
навколо Землі

Магнетизм - комплекс явищ і властивостей, пов'язаних з впливом **магнітного поля**, що може бути зумовлений протіканням макроскопічних **електричних струмів** (**соленоїд, електромагніт**), або **атомних** (**магнітний момент**). Магнетизм проявляється, зокрема, у взаємному притягуванні і відштовхуванні між магнітами, електричними струмами, між струмами і магнітами, мікрочастинками (електронами, протонами і т.д.).



Електромагніт



Соленоїд

Магнетизмом називають також підрозділ фізики, який вивчає взаємодію електрично заряджених частинок (тіл) або частинок (тіл) з магнітним моментом, яке здійснюється через магнітне поле.

Магнітне поле - складова **електромагнітного поля**, за допомогою якої здійснюється взаємодія між рухомими електрично зарядженими частинками.

Магнітне поле - складова електромагнітного поля, яка створюється змінним у часі електричним полем, рухомими електричними зарядами або спінами заряджених частинок. Магнітне поле спричиняє силову дію на рухомі електричні заряди. Нерухомі електричні заряди з магнітним полем не взаємодіють, але елементарні частинки з ненульовим спіном, які мають власний магнітний момент, є джерелом магнітного поля і магнітне поле спричиняє на них силову дію, навіть якщо вони перебувають у стані спокою.

Магнітне поле утворюється, наприклад, у просторі довкола провідника, по якому тече струм або довкола постійного магніту.

Магнітне поле є векторним полем, тобто з кожною точкою простору пов'язаний **вектор магнітної індукції B** , який характеризує величину і напрям магнітного поля у цій точці і може мінятися з плином часу.

Поряд з вектором магнітної індукції **B** , магнітне поле також описується **вектором напруженості поля H** .

У вакуумі ці вектори пропорційні між собою:

$$B = kH$$

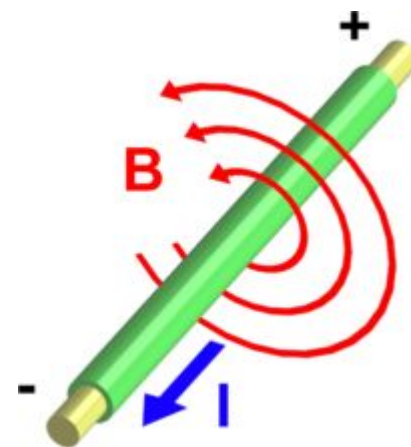
де **k** - константа, що залежить від вибору системи одиниць.

В системі СІ, $k = \mu_0$ - так званій **магнітній проникності вакууму**.

Однак у середовищі ці вектори є різними: вектор напруженості **H** описує лише магнітне поле створене рухомими зарядами (струмами) ігноруючи поле створене середовищем, тоді як вектор індукції **B** враховує ще й вплив середовища:

$$B = H + 4\pi M,$$

де **M** - **вектор намагніченості** середовища.

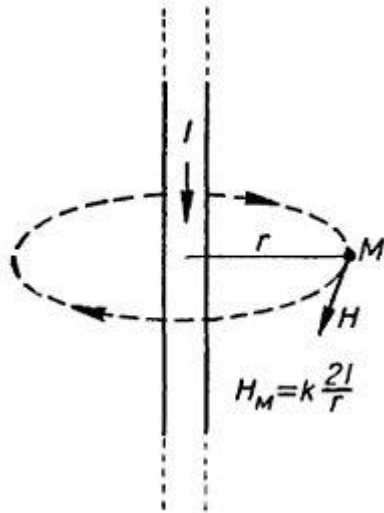


Найменшою одиницею, яка може створювати магнітне поле, є **магнітний диполь**. Магнітний диполь відрізняється тим, що в нього завжди є два полюси, в яких починаються і кінчаються силові лінії поля. Мікроскопічні магнітні диполі зв'язані зі спінами елементарних частинок. Магнітний диполь мають як заряджені елементарні частинки, наприклад, електрони, так і нейтральні, наприклад, нейтрони. Елементарні частинки з відмінним від нуля спіном можна уявити собі як маленькі магнітики. Зазвичай, частинки з протилежними значеннями спінів спарюються, що призводить до компенсації створених ними магнітних полів, але в окремих випадках можливе вирівнювання спінів багатьох частинок в одному напрямку, що призводить до утворення постійних магнітів.

Постійний магніт - найпростіший приклад магнітного диполя.



закон Біо-Савара-Лапласа



$$B = k \frac{2I}{r}; \quad k = \frac{\mu_0}{4\pi}$$

Магнітне поле - також створюється рухомими електричними зарядами, тобто електричним струмом.

Створення електричним зарядом поле залежить від системи відліку. Відносно спостерігача, що рухається з однаковою із зарядом швидкістю, заряд нерухомий, і такий спостерігач фіксуватиме тільки створене ним електричне поле. Інший спостерігач, що рухається з іншою швидкістю, фіксуватиме як електричне, так і магнітне поле. Таким чином, **електричне і магнітне поля взаємозв'язані, і є складовими частинами загального електромагнітного поля.**

При протіканні електричного струму через провідник він залишається електрично нейтральним, однак носії заряду в ньому рухаються, тому навколо провідника виникає тільки магнітне поле. Величина цього поля визначається **законом Біо-Савара-Лапласа**, а напрям можна визначити за допомогою **правила Ампера** або **правила правої руки**. Таке поле є вихровим, тобто його силові лінії замкнуті.



Правило правої руки

Магнітне поле створюється також змінним електричним полем. За **законом електромагнітної індукції** змінне магнітне поле породжує змінне електричне поле, що також є вихровим. Взаємне створення електричного і магнітного поля змінними магнітним і електричним полем призводить до можливості розповсюдження в просторі електромагнітних хвиль.

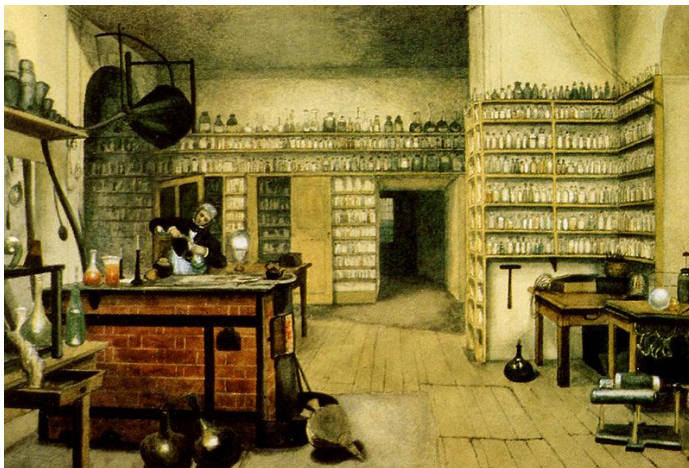
Фарадей встановив кількісний закон електромагнітної індукції, описавши його рівнянням:

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

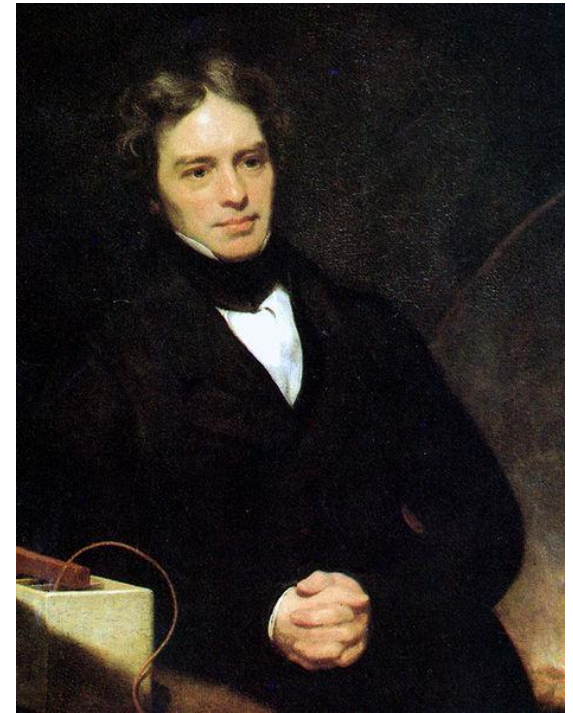
де \mathcal{E} - електрорушійна сила (ЕРС), яка виникає в котушці, що перебуває у змінному магнітному полі, у вольтах (В);

N - кількість витків у котушці;

Φ - магнітний потік у веберах (Вб).



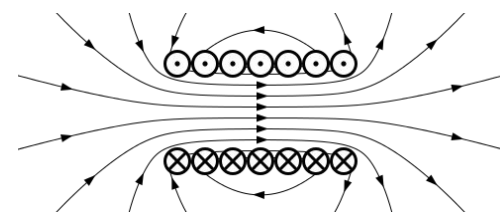
Лабораторія
Майкла
Фарадея
(1850)



Майкл
Фарадей
(1791 – 1867)

Дія магнітного поля на рухомі заряди визначається **силою Лоренца** - сила, що діє на електричний заряд, який перебуває у електромагнітному полі.

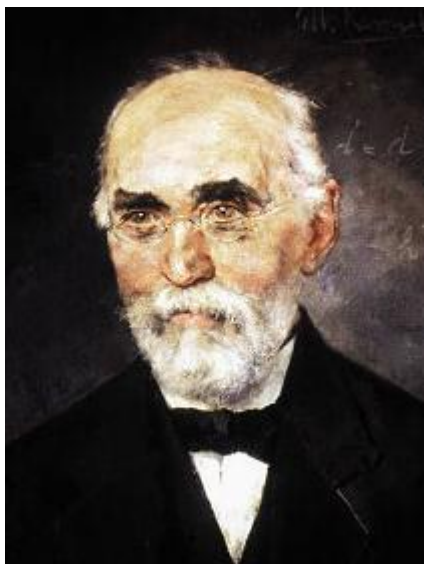
$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + [\mathbf{v} \times \mathbf{B}])$$



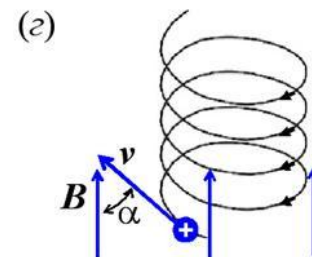
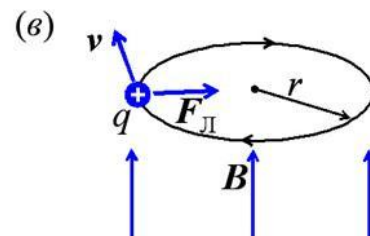
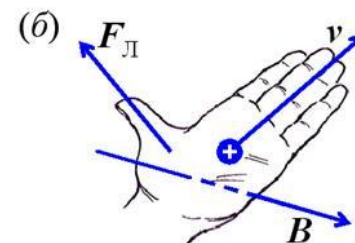
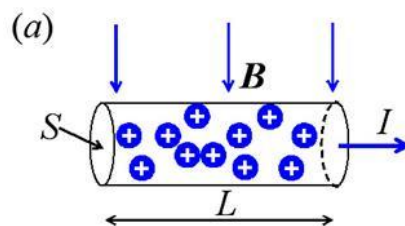
Тут \mathbf{F} — сила, q — величина заряду, \mathbf{E} — напруженість електричного поля, \mathbf{v} — швидкість руху заряду, \mathbf{B} — вектор магнітної індукції.

Електричне поле діє на заряд із силою, направленою вздовж **силових ліній поля**. **Магнітне поле** діє лише на рухомі заряди. **Сила дії магнітного поля перпендикулярна до силових ліній поля й до швидкості руху заряду.**

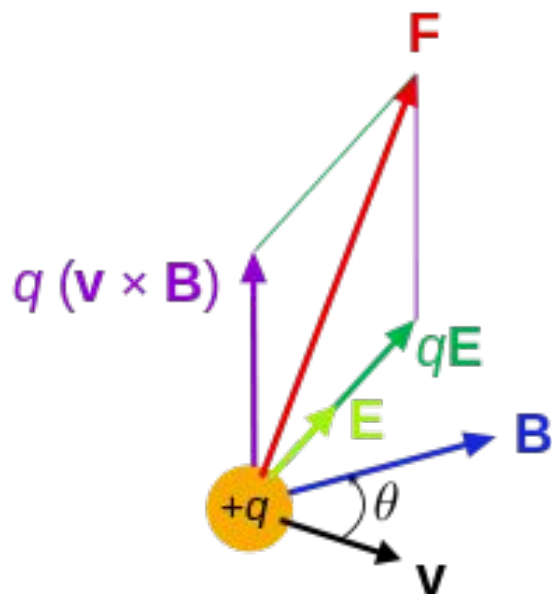
Названа на честь Гендріка Лоренца, який розробив це поняття 1895 року.



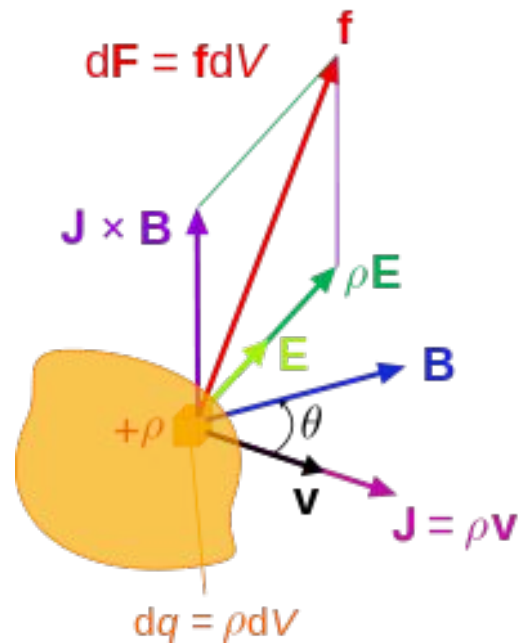
Хендрік Лоренц
(1853 - 1928)



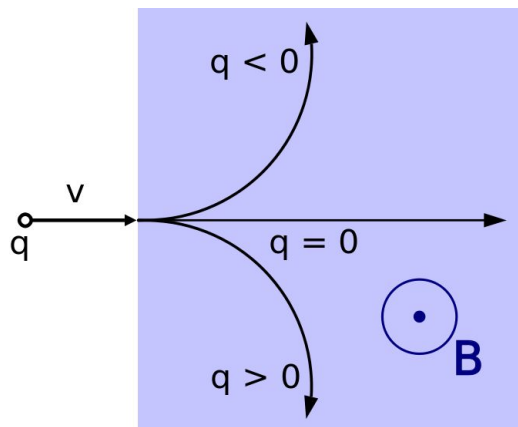
(а) – до розрахунку сили Лоренца; (б) – визначення напрямку сили Лоренца за допомогою правила лівої руки; рух по колу (в) та гвинтовій лінії (г) зарядженої частинки в магнітному полі.



Сила Лоренца \mathbf{f} , що діє на заряджену частинку (заряду q) при русі (зі швидкістю \mathbf{v}). \mathbf{E} и \mathbf{B} змінюються в просторі та часі



Сила Лоренца \mathbf{f} , що діє на неперервний розподіл заряду (зарядова густина ρ) при русі. Густина потоку \mathbf{J} відповідає руху зарядженого елемента dq в об'ємі dV .



Напрямок руху частинки в залежності від її заряду при векторі магнітної індукції, перпендикулярному вектору швидкості

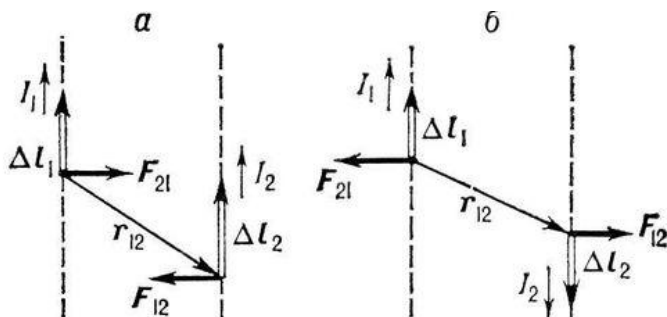
Макроскопічним проявленням сили Лоренца является **сила Ампера**.

Сила, що діє на провідник зі струмом у магнітному полі називається **силою Ампера**. Сили взаємодії провідників зі струмом визначаються **законом Ампера**.

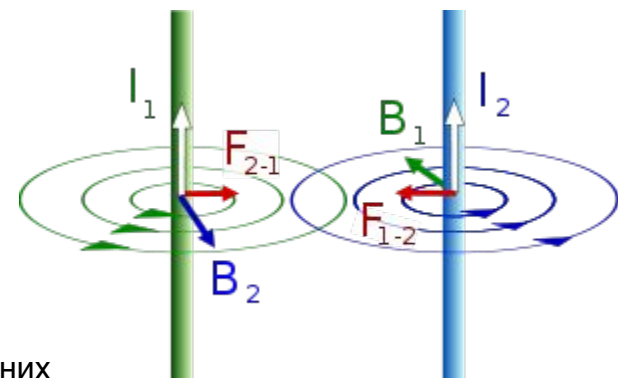
Закон Ампера - закон взаємодії постійних струмів. Установлений **Андре-Марі Ампером** в 1820 році. Із закону Ампера виходить, що паралельні провідники з постійними струмами, що течуть в одному напрямі, притягуються, а в протилежному - відштовхуються. Законом Ампера називається також закон, що визначає силу, з якою магнітне поле діє на малий відрізок провідника із струмом.

$$dF = B I dl \sin \alpha$$

Сила Ампера залежить від сили струму I , елемента (частини) довжини провідника dl , кута між напрямом струму і напрямом ліній магнітного поля α та магнітної індукції B .



Взаємодія двох елементарних струмів: **а** - паралельних, **б** - антипаралельних (всі відрізки (вектори) лежать в одній площині)



2 безкінечні паралельні провідника в вакуумі

Нейтральні речовини без електричного струму можуть втягуватися в магнітне поле (**парамагнетиками**) або виштовхуватися з нього (**діамагнетиками**). Виштовхування діамагнетиків з магнітного поля можна використати для левітації.

Феромагнетиками намагнічуються в магнітному полі й зберігають магнітний момент при знятті прикладеного поля.

Магнітна індукція у просторі навколо провідника зі струмом визначається **законом Біо-Савара-Лапласа**.

Закон Біо-Савара-Лапласа - закон, який визначає магнітну індукцію навколо провідника, в якому протікає електричний струм.

$$B = k \frac{2I}{r}$$

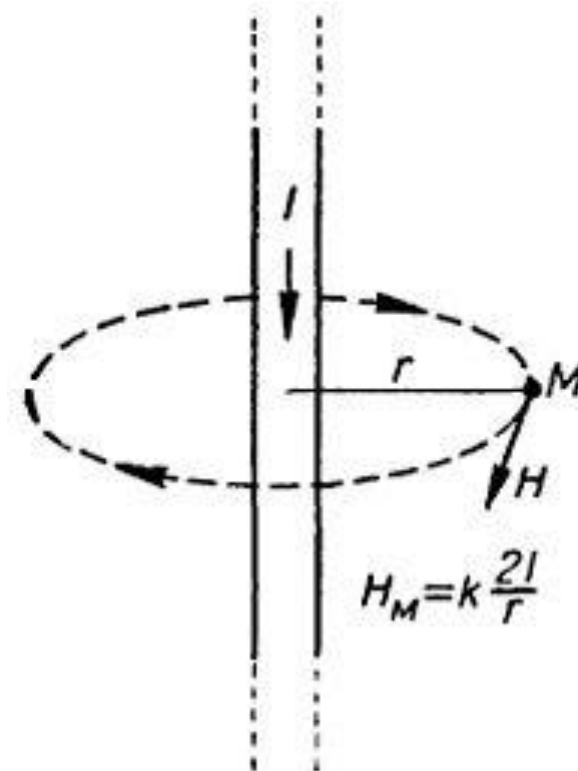
k - коефіцієнт пропорційності, величина і розмірність якого залежать від вибору системи одиниць, r - радіус-вектор.

$$k = \frac{\mu_0}{4\pi}$$

де μ_0 - магнітна стала

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad [\text{Н/А}^2]$$

Магнітна проникність вакууму або магнітна стала - запроваджений у системі СІ коефіцієнт пропорційності між **вектором магнітної індукції і напруженістю магнітного поля**.



Енергія магнітного поля в просторі задається формулою

$$W = \frac{1}{8\pi} \int \mathbf{B} \cdot \mathbf{H} dV$$

Відповідно, густина енергії магнітного поля дорівнює

$$w = \frac{1}{8\pi} \mathbf{B} \cdot \mathbf{H}$$

Енергія магнітного поля провідника зі струмом дорівнює:

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

де I - сила струму, а L - індуктивність, що залежить від форми провідника.

Магнітні властивості речовини визначаються неспареними **спінами електронів**; у випадку відсутності їх прояву говоримо про **діамагнетики**, у протилежному разі - про **парамагнетики**, коли взаємодія між спінами слабка, та **ферромагнетики** - коли взаємодія сильна і спричиняє паралельне орієнтування спінів у певній області (магнітних доменах), **антиферромагнетиках**, коли вплив сприяє паралельному розташуванню спінів на відміну від **ферромагнетиків, антиферромагнетики** у зовнішньому магнітному полі не виявляють сильного намагнічування і їхні властивості подібні до **парамагнетиків, і феримагнетиків**, коли спіни електронів сусідніх атомів орієнтуються різним чином, проте створені ними магнітні моменти не компенсуються повністю.

Діамагнетики: кварц, кальцит, польові шпати, самородне срібло і золото, флюорит



До **парамагнетиків** належать:

- речовини, атоми або молекули яких мають непарне число електронів (Na, N);
- вільні атоми (йони) з недобудованою внутрішньою електронною оболонкою (елементи перехідної групи, їх солі і водні розчини, комплексні сполуки перехідних елементів, рідкісні землі, актиніди, вільні радикали);
- багато лужних і лужноземельних металів, Al, Sc, V; кисень O₂, NO.



Метали (залізо, нікель, кобальт, гадоліній, манган, хром та їхні сплави) з великою магнітною проникністю, що проявляють явище гістерезису є **ферромагнетиками**.

Ферромагнетики використовуються для виробництва постійних магнітів, осердь електромагнітів та трансформаторів

Магнетон Бора - одиниця елементарного магнітного моменту.

Вперше виявлена і розрахована в 1911 році румунським фізиком Штефан Прокопій, величина названа на честь Нільса Бора, який самостійно розрахував її в 1913 році.

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$$

де \hbar - стала Планка, e - елементарний електричний заряд, m_e - маса електрона

Фізичний зміст величини μ_B легко зрозуміти з напівкласичного розгляду руху електрона по круговій орбіті радіуса r із швидкістю v . Така система аналогічна витку із струмом, сила I якого дорівнює заряду, поділеному на період обертання: $I = ev / 2\pi r$. Відповідно до класичної електродинаміки, магнітний момент витка зі струмом, що охоплює площу S , дорівнює

$$\mu = \frac{IS}{c} = \frac{evr}{2c} = \frac{eM_l}{2mc},$$

де $M_l = mvr$ - орбітальний момент кількості руху електрона. Якщо врахувати, що за квантовими законами орбітальний момент M_l електрона може приймати лише дискретні значення, кратні постійної Планка, $M_l = \hbar l$, де l - орбітальне квантове число, що набуває значення $0, 1, 2, \dots, n-1$, то вийде наступне вираз

$$\mu_l = \frac{e\hbar l}{2mc} = \mu_B \cdot l.$$

Таким чином, магнітний момент електрона кратний магнетону Бора. Отже, в даному випадку μ_B грає роль елементарного магнітного моменту - «кванта» магнітного моменту електрона.



Нільс Бор
(1885 – 1962)

Величина магнетона Бора в системі СІ становить $927,400915(26) \cdot 10^{-26}$ Дж/Тл.

Магнітне поле вимірюється **магнітометрами**. Механічні магнітометри визначають величину поля за відхиленням котушки зі струмом. Слабкі магнітні поля вимірюються магнітометрами на основі **ефекту Джозефсона**. Магнітне поле можна також вимірювати на основі ефекту **ядерного магнітного резонансу**, **ефекту Хола** та іншими методами.



Браян Девід Джозефсон
(1940 р.н)

Магнітне поле широко використовується в техніці й для наукових цілей. Для його створення використовуються **постійні магніти** та **електромагніти**. Однорідне магнітне поле можна отримати за допомогою **котушок Гельмгольца**. Для створення потужних магнітних полів, необхідних для роботи прискорювачів або для утримання плазми в установках з ядерного синтезу, використовуються електромагніти на надпровідниках.



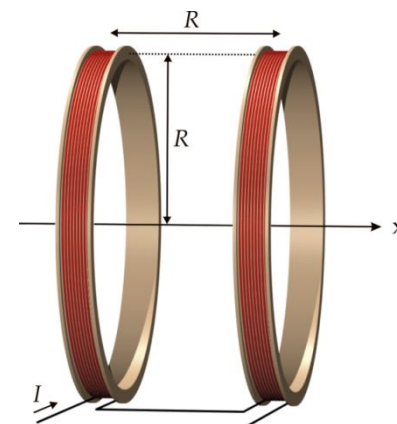
Подвійний трьохкомпонентний магнітометр для системи орієнтації мікросупутника



Обсерваторний магнітометр

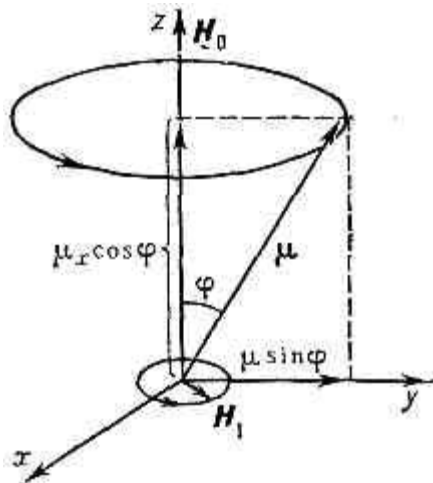
Ефект Джозефсона - це фізичне явище, що полягає у протіканні надпровідного струму через тунельний контакт, що складається з двох надпровідників, розділених тонким шаром діелектрика або металу. Ефект було передбачено британським фізиком **Браяном Джозефсоном** в 1962 році. В 1973 році Джозефсон за своє відкриття отримав Нобелівську премію з фізики.

Поперечна магнітопровідність - явище виникнення в магнітному полі електричного струму перпендикулярного до напрямку електричного поля. Це явище відкрив **Едвін Холл**.



Котушка Гельмгольца

Ядерний магнітний резонанс (ЯМР) — це явище резонансного поглинання радіочастотних хвиль деякими ядрами атомів, що розміщені у зовнішньому магнітному полі. Найчастіше ЯМР досліди проводять на ядрах атомів водню, тобто на протонах, або на ядрах ізотопу вуглецю ^{13}C . На базі ЯМР була розвинута ЯМР-спектроскопія, що дозволяє з великою точністю розрізняти ядра елемента за їхніми властивостями в різному оточенні в молекулі.



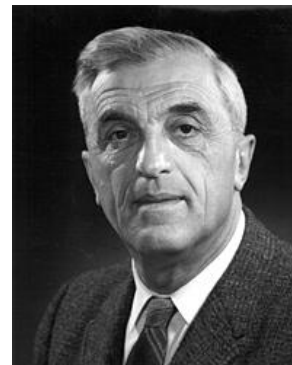
Ядерний магнітний резонанс виникає за рахунок магнітних властивостей ядер. Ядра, які мають відмінний від нуля спин I , мають також пропорційний до нього **магнітний момент**.

$$\mu = \gamma I$$

де γ - це гіромагнітне співвідношення ядра. При накладанні зовнішнього статичного магнітного поля B_0 енергія взаємодії ядерних магнітних моментів з полем

$$E = -\mu B_0$$

ЯМР також знайшов широке застосування в фізиці, біології, медицині, неруйнівному контролі та індустрії. За допомогою ЯМР можна вивчати взаємодію між ядерними магнітними моментами, а також магнітну взаємодію ядер з електронними спінами і орбітальними магнітними моментами. Аналіз ЯМР-спектрів використовується для визначення структури і складу хімічних сполук. Відкриття ЯМР спричинило революцію в методах ідентифікації органічних сполук. **Поряд з методом дифракції рентгенівських променів ЯМР використовують для встановлення структури біологічних макромолекул.**



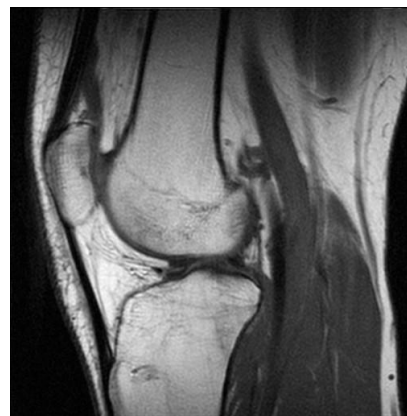
У конденсованій речовині ЯМР вперше спостерігали в 1946 році **Фелікс Блох** і **Едвард Перселл**, які були удостоєні за це Нобелівської премії в 1952 році.

Побудована на базі ЯМР **магнітно-резонансна томографія (МРТ)** широко використовується в медицині для дослідження внутрішніх органів і біологічних тканин.

МРТ - це метод медичної візуалізації з використанням фізичного явища ЯМР, який використовується у радіології для детального зображення внутрішніх структур організму. Цей метод дозволяє одержати висококонтрастне зображення тканин тіла, і тому знаходить широке застосування у візуалізації тканин мозку, серця, м'язів, а також новоутворень, порівняно з іншими методами медичної візуалізації (такими, наприклад, як комп'ютерна томографія чи рентгенографія).



Магнітно-резонансний томограф



Магнітно-резонансне зображення коліна



3D МРТ-відтворення будови голови людини

На відміну від комп'ютерної томографії та рентгену, при МРТ організм не зазнає впливу іонізуючого випромінювання. Замість нього застосовується дія потужного магнітного поля.

Магнітотерапія - одна з форм нетрадиційної медицини, яка в останні роки набула великої популярності. Підтверджено, що хворі, які страждають хворобою "Паркінсона", з допомогою магнітотерапії покращили своє становище. В Японії подвійне тестування показало 90 відсотків ефективності при лікуванні навантаження м'язів, шиї та плечей при люмбаго та ревматизмі. До речі, багато продуктів магнітотерапії визнано як медичні засоби в Японії.

Встановлено, що **під дією магнітного поля згустки крові розщеплюються і розпадаються.**

Необхідно пам'ятати, що всі харчові речовини, кисень і вітаміни розносяться по організму за допомогою крові. Краща циркуляція - більше корисних речовин отримує організм. Такий ефект досягається при дії на організм магніту. В людській крові достатньо високий рівень заліза, що дає можливість магнітам ефективно впливати на стан вашого організму.



Магнітотерапія застосовується для зменшення болей та сприяння покращенню кровообігу при гіпертонії та ішемічній хворобі серця, артритях, зменшує ризик серцево-судинних захворювань, збільшує рухомість суглобів після травм, забезпечує процес оздоровлення організму.

Увага! Не можна використовувати магніти людям з кардіостимуляторами або іншими електронними приладами в організмі, а також під час вагітності, на відкритих ранах.

Магнітне поле Землі служить для орієнтації в просторі багатьом видам тварин.



Лососеві та рукокрилі реагують на горизонтальну компоненту поля



«Компас» птахів в нормальному режимі функціонує в інтервалі полів від **43 до 56 мкТ**, але після адаптації здатний сприймати поля від 16 до 150 мкТ. При цьому птахи не розрізняють північний і магнітний полюси і потребують додаткової світлової інформації для орієнтування.

Чутливими до магнітного поля також є **морські молюски, саламандри, тритони, шершні, медоносні бджоли і алігатори.**



Ефективність впливу електромагнітних полів на живі організми пов'язана з наявністю **«вікон чутливості»** по амплітуді, градієнту та частоті, іноді специфічний вплив може надати послідовність сигналів певної форми. Внутрішній компас тварин може бути пов'язаний з наявністю в організмі частинок **магнетиту**, наприклад, у формі **феритину**. Магнетит також зустрічається в **мозку людини**, і в ще більшій концентрації в **мозку птахів**.