

ВИМІРЮВАННЯ МАГНІТНИХ ВЕЛИЧИН

к.ф.-м.н., ст. викл.

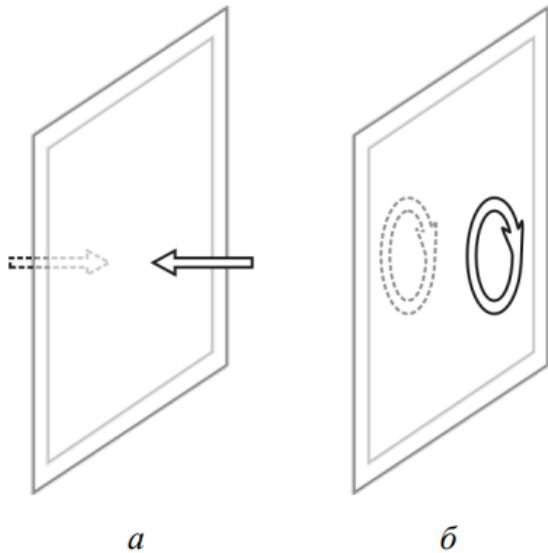
Пилипенко О.В.

Магнетизм

- – це особлива форма фізичної взаємодії між рухомими електричними зарядами на відстані, які таким чином створюють магнітний момент, а також взаємодія між частинками й тілами з природно існуючим магнітним моментом. Магнітна взаємодія передається магнітним полем.
- Для кількісного опису магнітних явищ у твердих тілах вводять аксіальні вектори: вектор напруженості магнітного поля H , вектор магнітної індукції B та вектор намагніченості M

- Напруженість магнітного поля H на певній відстані a від провідника, по якому проходить струм I , дорівнює $\frac{I}{2\pi a}$. Це співвідношення визначає розмірність напруженості: $[H] = \text{А/м}$. Отже, напруженість магнітного поля не залежить від магнітних властивостей середовища.
- Магнітна індукція B – основна характеристика магнітного поля в речовині – становить середнє значення сумарної напруженості мікроскопічних магнітних полів, створюваних окремими електронами й іншими елементарними частинками. У вакуумі магнітна індукція B визначається лише напруженістю, індукованою зовнішнім магнітним полем: $B = \mu_0 H$
- Магнітний момент m плоского контура зі струмом – векторна величина, що кількісно дорівнює добутку сили струму I на площу S , обмежену контуром струму, і напрямлена по додатній нормалі до контура: $m = ISn$, де n – одиничний вектор, який збігається за напрямом з нормаллю
- Намагніченість M – це густина магнітного моменту m , тобто магнітний момент одиниці об'єму V речовини: $M = \frac{m}{V}$

- Електричний диполь – система двох розділених у просторі електричних зарядів, однакових за значенням і протилежних за знаком, тобто полярний (звичайний) вектор (умовно електричний диполь позначають стрілкою). Натомість магнітний диполь, утворений рухом електричних зарядів, умовно зображують коловим електричним струмом; він є аксіальним вектором (тобто вектором в орієнтованому просторі, який зі зміною орієнтації простору на протилежну перетворюється на протилежний вектор)



У макроскопічному процесі магнітним диполем є замкнений контур електричного струму в провідниках або напівпровідниках.

Рис. 1.1. Дзеркальне відбиття:
a – електричного диполя;
б – магнітного диполя

- У ХІХ столітті Фарадей установив два основні ефекти впливу зовнішнього магнітного поля на речовини.
- По-перше, відповідно до закону електромагнітної індукції зовнішнє магнітне поле завжди створює в речовині такий індукційний мікроскопічний електричний струм, магнітне поле якого напрямлено проти початкового поля. Таким чином, у речовині завжди виникає створюваний зовнішнім полем магнітний момент, напрямлений протилежно зовнішньому полю. Фарадей назвав цей ефект діамагнетизмом, де префікс «діа-» означає розбіжність силових ліній магнітного поля, яке прагне обгинати діамагнетик (рис. 1.2, а), тому він відштовхується від будь-яких полюсів постійного магніту й виштовхується з неоднорідного магнітного поля (однак з невеликою силою, оскільки ефект зазвичай слабкий).

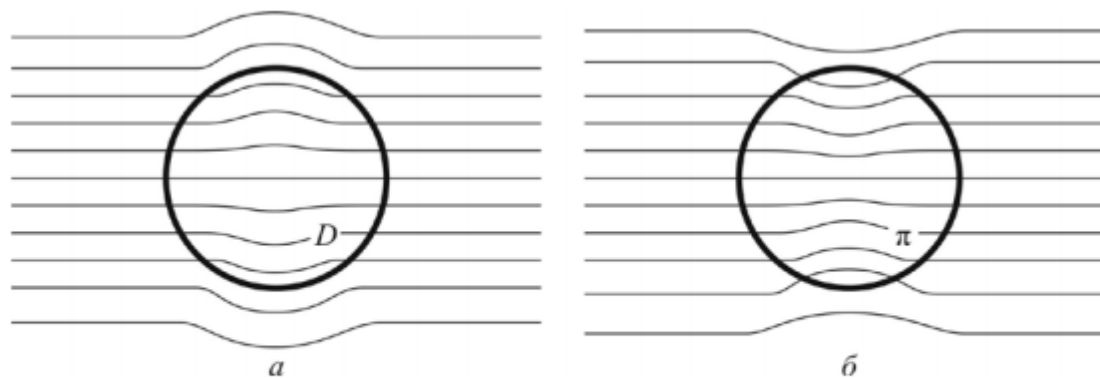


Рис. 1.2. Вплив на силові лінії магнітного поля:

а – діамагнетика (D); б – парамагнетика (π)

- По-друге, якщо атом стабільно має відмінний від нуля магнітний момент (або спіновий, або орбітальний, або той і той), то зовнішнє магнітне поле прагнучиме орієнтувати його вздовж свого напрямку. В результаті цього виникає паралельний зовнішньому полю магнітний момент, названий Фарадеєм парамагнітним, де префікс «пара-» означає узгодженість наведеного магнетизму із силовими лініями магнітного поля, що мають у парамагнетику більшу густину, ніж у вакуумі. Магнітне поле немовби «втягується» у парамагнетик (рис. 1.2, б). Парамагнетики притягуються до будь-яких полюсів постійного магніту. Оскільки явище діамагнетизму існує завжди, то таке притягання свідчить про перевагу парамагнетизму над діамагнетизмом у більшості тих речовин, у яких спостерігаються обидва ефекти.

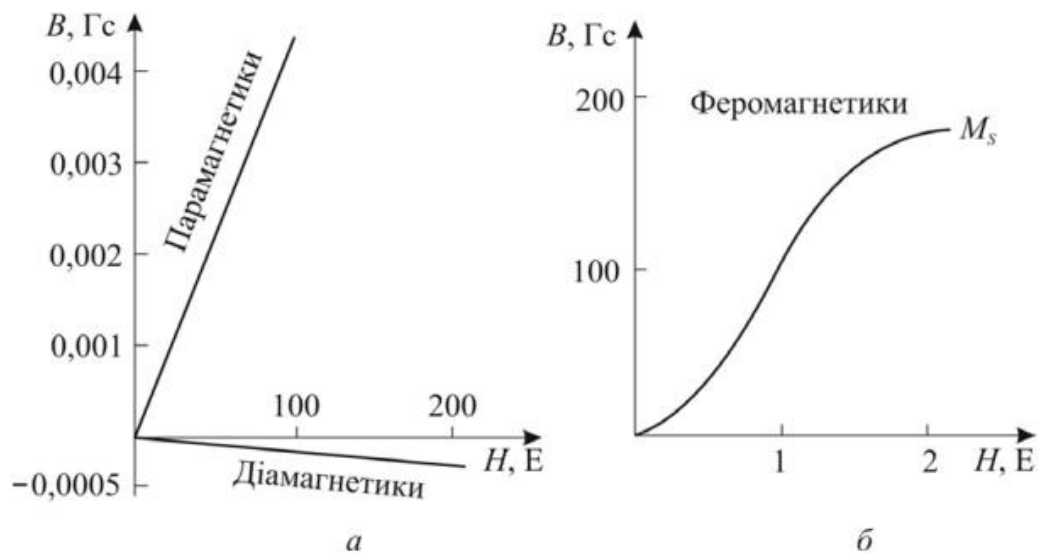


Рис. 1.3. Залежність індукованого магнітного моменту від прикладеного ззовні магнітного поля: *a* – діа- й парамагнетики; *б* – феромагнетики

- У діамагнетиках власних магнітних моментів немає – намагнічування індукується зовнішнім полем. Парамагнетизм зумовлюється саме наявністю власних магнітних моментів, але вони без дії магнітного поля не є впорядкованими, як показано на рис. 1.4, а. Намагнічування в парамагнетиках індукується зовнішнім магнітним полем через орієнтацію вже існуючих власних магнітних моментів.
- Магнітна структура твердого тіла характеризується також різними видами мимовільної (спонтанної) впорядкованості. Кристали й полікристали, власні атомні магнітні моменти яких орієнтовані паралельно один одному, називають феромагнетиками (рис. 1.4, б).
- Відповідно антиферомагнетиками називають речовини, у яких сусідні атомні магнітні моменти розміщені антипаралельно (рис. 1.4, в). Антиферомагнетизм і феромагнетизм можуть співіснувати в одному кристалі – це означає, що антиферомагнітна компенсація атомних магнітних моментів виявляється неповною (рис. 1.4, г). Такий дуже важливий для технічних застосувань випадок магнетизму називають феримагнетизмом, а відповідні речовини – феритами

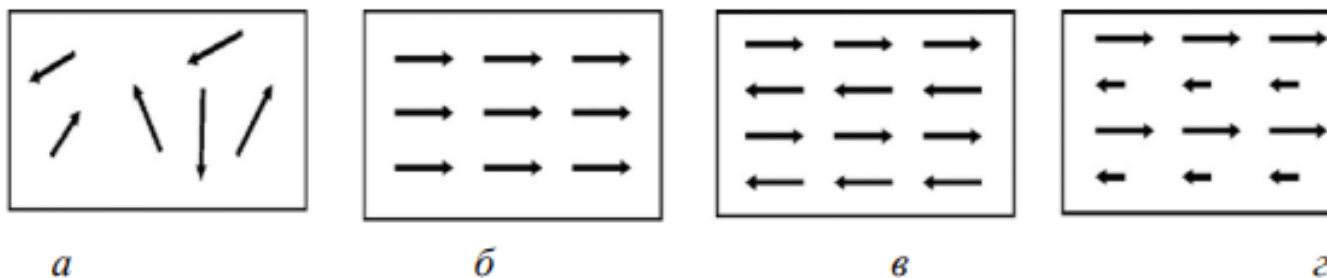
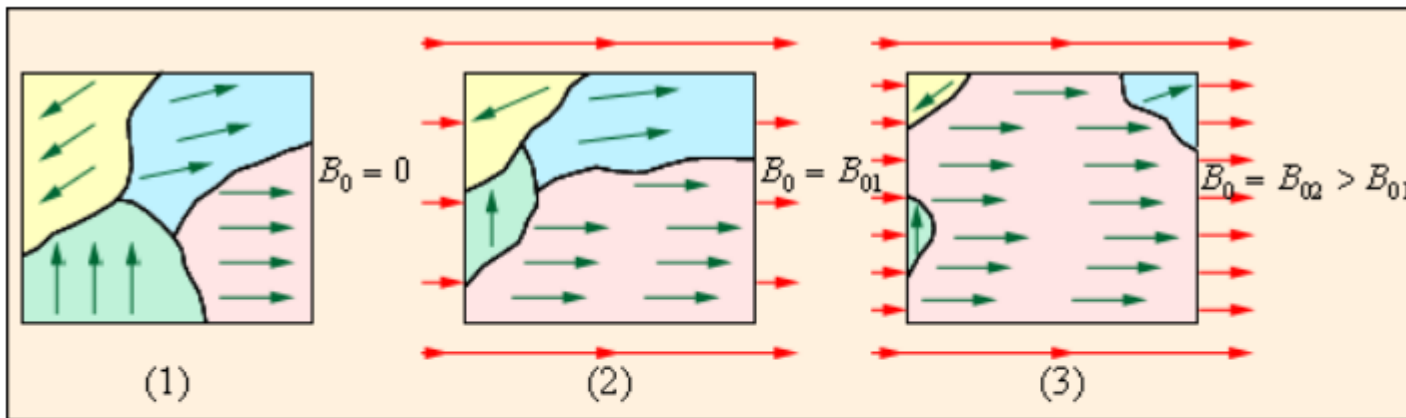


Рис. 1.4. Схеми впорядкування магнітних моментів окремих атомів:

а – парамагнетик; *б* – феромагнетик; *в* – антиферомагнетик; *г* – феримагнетики

- При відсутності зовнішнього магнітного поля вектори індукції магнітних полів в різних доменах орієнтовані у великому кристалі хаотично. Такий кристал в середньому виявиться ненамагніченим. При накладенні зовнішнього магнітного поля відбувається зсув меж доменів так, що об'єм доменів, орієнтованих по зовнішньому полю, збільшується. Із збільшенням індукції зовнішнього поля зростає магнітна індукція намагніченої речовини. У дуже сильному зовнішньому полі домени, в яких власне магнітне поле збігається по напрямку із зовнішнім полем, поглинають решту всіх доменів, і настає магнітне насичення.



Малюнок 4.

Намагнічення ферромагнітного зразка.

(1) $B_0 = 0$; (2) $B_0 = B_{01}$; (3) $B_0 = B_{02} > B_{01}$.

Магнітоелектроніка

- галузь електроніки, яка присвячена теорії і практиці
- створення пристроїв, що ґрунтуються на явищах електромагнетизму та
- магнітної індукції, таких, як намагнічування, перемагнічування,
- розмагнічування осердь імпульсним або безперервним струмом, виникнення
- ЕРС в провіднику, який рухається, під дією магнітного поля.
- Магнітоелектроніка пов'язана з появою нових магнітних матеріалів, які мають
- малу намагніченість насичення, та з розробленням технологічних методів
- одержання тонких магнітних плівок. На перемагнічування тонкоплівкового
- елемента, товщина якого не перевищує товщини одного домену, потрібна
- енергія, яка в 10-20 разів менша, та час, в 10-30 разів менший, ніж на
- перемагнічування феритового осердя. На

Методи вимірювання параметрів складових електромагнітного поля

Електричного поля.

Існують три методи вимірювання електричних полів:

1. Метод оцінки напруженості поля за різницею потенціалів між електро – дами, що перебувають у полі.
2. Метод вимірювання величини заряду, що індукується полем на поверхні провідника, що знаходиться в останньому.
3. Метод аналізу впливу поля на рух електронів або йонів.

Магнітного поля.

Методи вимірювання магнітних полів можна класифікувати за принципом вимірювання та використаних засобів вимірювальної техніки.

Індукційний метод – ґрунтується на вимірюванні електрорушійної сили у витках котушки під час зміни діючого на нього магнітного потоку. *Протонно-прецесійний метод* – ґрунтується за принципом орієнтування ядер атомів зовнішнім магнітним полем так, щоб власні магнітні моменти ядер (протонів) повернулися вздовж поля

Надпровідний метод – ґрунтується на ефекті Джозефсона – протіканні напівпровідного струму через тонкий шар діелектрика, що розділяє два напівпровідники.

- Для вимірювання магнітних характеристик застосовують такі методи: балістичний, магнітометричний, електродинамічний, індукційний, пондеромоторні, мостовий, потенціометрический, ваттметровий, калориметричний, нейтронографічеській і резонансний.
- Балістичний метод заснований на вимірюванні балістичним гальванометром кількості електричного струму, індукованого в вимірювальній котушці при швидкій зміні з'єданого з нею магнітного потоку. Крім балістичних гальванометрів, для вимірювання магнітного потоку застосовують веберметри (флюксметри) - магнітоелектричні і фотоелектричні. веберметри можна вимірювати повільно мінливі потоки. балістичну методом визначають основну криву індукції $B(H)$, криву намагнічування $J(H)$, петлю гістерезису, різні види проникності і розмагнічує фактор феромагнітних зразків.
- Магнітометричний метод заснований на дії досліджуваного намагніченого зразка на розташовану поблизу нього магнітну стрілку. За куту відхилення магнітної стрілки від початкового положення визначають магнітний момент зразка. Далі можна обчислити J , B и H . Таким чином, метод дає можливість знайти залежності $B(H)$ і $J(H)$, петлю гістерезису і магнітну сприйнятливість. Завдяки високій чутливості магнітометричного методу його широко застосовують для вимірів геомагнітного поля і для вирішення ряду метрологічних завдань.

- Індукційний метод вимірювань параметрів магнітного поля
- Індукційний метод, заснований на явищі електромагнітної індукції, широко використовується для вимірювань параметрів магнітного поля, а також лежить в основі більшості засобів вимірювань параметрів магнітних матеріалів. Вхідною величиною засобів вимірювань, заснованих на індукційному методі, є швидкість зміни магнітного потоку, що пронизує вимірювальний перетворювач, яким є багатобиткова вимірювальна котушка. Ця зміна потокощеплення індукує в котушці ЕРС. Отже, вихідною величиною вимірювальної котушки може бути імпульс ЕРС або імпульс струму.
- Приведемо схему вимірювань магнітного потоку індукційно-імпульсним методом за допомогою балістичного гальванометра.
- Для вимірювань сталого магнітного потоку індукційно-імпульсним методом існують спеціальні вимірювачі магнітного потоку – веберметри – магнітовимірювальні прилади для вимірювання магнітного потоку, градуйований в одиницях магнітного потоку.
- Використовуються в вимірювальній техніці веберметри таких видів:
 - – магнітоелектричні;
 - – фотогальванометричні;
 - – електронні;
 - – цифрові.

