

# Магнітне поле у речовині

Лекції з електрики та магнетизму

Пономаренко С. М.

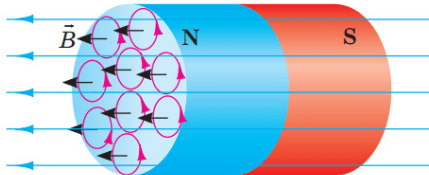
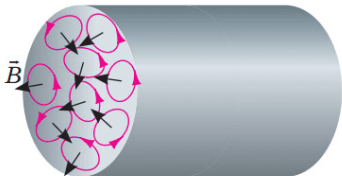
## Зміст лекції

# Гіпотеза Ампера

## Молекулярні струми

Якщо магнітне поле діє на рухомі заряджені частинки та рамки зі струмом, то **чому воно також діє і на будь-який інший шматок магніту?** Ампер припустив, що **всередині магніту теж течуть струми**.

Але якщо взяти стрілку або магніт у руки, то ніяких струмів ми не відчуваємо. Отже, ці струми циркулюють усередині речовини і ніколи не виходять назовні. Що це за струми такі всередині речовини, Ампер звісно ж не знав. Сучасній науці вже відомо, що звичайна речовина складається з атомів. Своєю чергою, всередині атомів є позитивно заряджені ядра з негативно зарядженими електронами, що обертаються навколо них. Також самі електрони є маленькими магнітними стрілочками. Так ось, рух електронів усередині атомів є не що інше, як електричні струми, про існування яких припустив Ампер. Магнітне поле діє на ці струми, а значить і на речовину в цілому.



# Означення

## Мікрополе та середнє поле

У речовині магнітне поле формується як зовнішнім полем, так і струмами, що циркулюють у цій речовині.

На мікрорівні (тобто на відстанях порядку розміру атомів і менше) поле різко змінюється в часі та просторі. Це поле називається **мікрополем**  $\vec{B}_{\text{micro}}$ . Однак якщо провести усереднення за малим об'ємом, у якому є багато частинок (тобто за фізично нескінченно малим об'ємом), то отримаємо середнє поле:

$$\langle \vec{B} \rangle = \frac{1}{\Delta V} \iiint_{\Delta V} \vec{B}_{\text{micro}} dV.$$

**Середнє поле** змінюється істотно повільніше внаслідок статистичного усереднення при випадковому русі частинок.

# Означення

## Струми провідності та молекулярні струми

Створювані рухомими зарядами, можна розділити на дві групи:  
**струми провідності** та **молекулярні струми**.

1. **Струми провідності** пов'язані з переміщенням вільних зарядів і є сторонніми щодо речовини.
2. **Молекулярні струми** зумовлені орбітальним рухом і спіном (власним моментом імпульсу) електронів в атомах (молекулах) і ядер речовини.

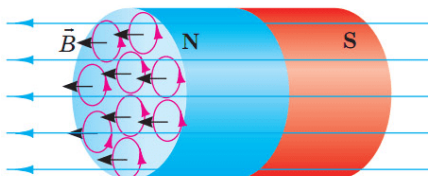
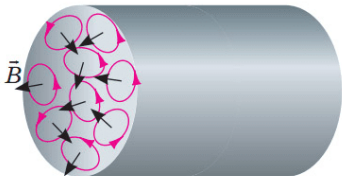
# Вектор намагнічування

**Вектор намагнічування** (або **намагніченість**) — це величина, що характеризує магнітний момент одиниці об'єму речовини. Визначається вона як:

$$\vec{J} = \frac{1}{V} \sum_i \vec{p}_i,$$

де  $\vec{p}_i$  — магнітні моменти окремих частинок.

Намагніченість називається **однорідною**, якщо вектор  $\vec{J}$  не залежить від вибору точки в речовині. Якщо ж  $\vec{J} \neq \text{const}$ , то намагніченість називається **неоднорідною**.



# Зв'язок намагніченості з молекулярними струмами

Виділимо в речовині досить малий циліндр, так що поле в ньому можна вважати практично однорідним. У його об'ємі молекулярні струми компенсують один одного. Циліндр (ліворуч) і вигляд його торця (праворуч). Кільцеві струми, що циркулюють в об'ємі, компенсують один одного всюди, окрім точок бічної поверхні. У результаті залишається тільки поверхневий струм, що тече бічною поверхнею циліндра.



Знайдемо магнітний момент такого циліндрика:

$$\vec{p}_m = \vec{J}V = \frac{1}{c}I_m S \vec{n} \Rightarrow \vec{J} S \ell \cos \theta = \frac{1}{c}I_m S \vec{n} \Rightarrow \vec{J} \cdot \vec{\ell} \ell \cos \theta = \frac{1}{c}I_m \vec{n} \cdot \vec{\ell}$$

$$\frac{I_m}{\ell} = i_m = c \vec{J} \cdot \vec{\ell}.$$