

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 56

**ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТНОЇ СПРИЙНЯТЛИВОСТІ
ПАРАМАГНЕТИКА**

Роботу виконав: студент(ка)

_____ (прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (курс)

_____ (група)

» » _____ 200 р.

Роботу прийняв:

_____ (прізвище та ініціали викладача)

_____ (посада)

Оцінка:

за знання теорії

_____ (оцінка, бал)

за провед. експер.

_____ (оцінка, бал)

підсумкова

_____ (оцінка, бал)

_____ (дата і підпис викладача)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 56

Визначення магнітної сприйнятливості парамагнетика

Мета роботи: визначити магнітну сприйнятливість розчину хлорного заліза в воді

Прилади й матеріали: лабораторна установка для визначення магнітної сприйнятливості рідини

Теоретичні відомості

В зовнішньому магнітному полі будь-яка речовина намагнічується, а саме набуває намагніченості. Вектором намагніченості називається магнітний момент одиниці об'єму речовини

$$\vec{J} = \frac{\vec{P}_m}{V} \quad (1)$$

де $\vec{P}_m = \sum \vec{p}_a$ - магнітний момент зразка є векторною сумою магнітних моментів молекул \vec{p}_a . В достатньо слабких полях намагніченість прямо пропорційна напруженості магнітного поля:

$$\vec{J} = \chi \vec{H} \quad (2)$$

Коефіцієнт пропорційності χ між намагніченістю і напруженістю магнітного поля називається магнітною сприйнятливістю магнетика.

Магнітні моменти молекул зумовлені мікроскопічними коловими струмами. Якщо магнітні моменти молекул орієнтовані переважно в певному напрямку (завдяки чому і виникає середній магнітний момент зразка) то на поверхні зразка з'являються некомпенсовані молекулярні струми, які створюють в зразку додаткову магнітну індукцію $\vec{B}' = \mu_0 \vec{J}$. Повна магнітна індукція є сума магнітної індукції в вакуумі і додаткової індукції, зумовленої молекулярними струмами:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}' = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \chi \vec{H} = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H} = \mu_0 \mu \vec{H} \quad (3)$$

З (3) випливає, що магнітна сприйнятливість χ і магнітна проникність μ зв'язані співвідношенням

$$\mu = 1 + \chi \quad (4)$$

Згідно зі своїми магнітними властивостями, речовини розподіляються на діамагнетики, парамагнетики і феромагнетики. Діамагнетики і парамагнетики є слабо магнітними речовинами. Для них $|\chi| \ll 1$. В парамагнетиках $\chi > 0$ і напрямок вектора намагніченості співпадає з напрямком напруженості магнітного поля (тобто вони намагнічуються по полю). В діамагнетиках $\chi < 0$ і напрямок вектора намагніченості є протилежним напрямку напруженості магнітного поля (тобто вони намагнічуються проти поля).

Магнітна сприйнятливість парамагнетика зменшується при підвищенні температури. Це зв'язано з тим, що при підвищенні температури зростають температурні коливання магнітних моментів молекул і ступінь їх упорядкованості в зовнішньому полі зменшується. При достатньо високих

те5пературах магнітна сприйнятливість парамагнетика обернено пропорційна термодинамічній температурі $\chi \propto \frac{1}{T}$ (закон Кюрі).

В зовнішньому неоднорідному магнітному полі на магнетик діє сила пропорційна градієнту напруженості магнітного поля. Ця сила втягує парамагнетик в зону більшого поля. Навпаки, діамагнетик відштовхується у зону меншого поля.

Знайдемо силу, що діє на парамагнетик в неоднорідному магнітному полі.

Для спрощення розрахунків уявимо, що магнітний момент молекули зумовлений струмом, що тече по контуру, який має форму квадрата зі стороною a (Рис. 1). Рівнодіюча сил Ампера, які діють на сторони квадрата, дорівнює

$$f_m = F_{A2} - F_{A1} = Ia(B_2 - B_1) \approx Ia^2 \frac{dB}{dz} \approx Ia^2 \mu_0 \frac{dH}{dz} = p_a \mu_0 \frac{dH}{dz}$$

Оскільки намагніченість J є магнітний момент одиниці об'єму, сила, що діє на одиницю об'єму, дорівнює

$$f_H = j \mu_0 \frac{dH}{dz} = \chi \mu_0 H \frac{dH}{dz} \quad (5)$$

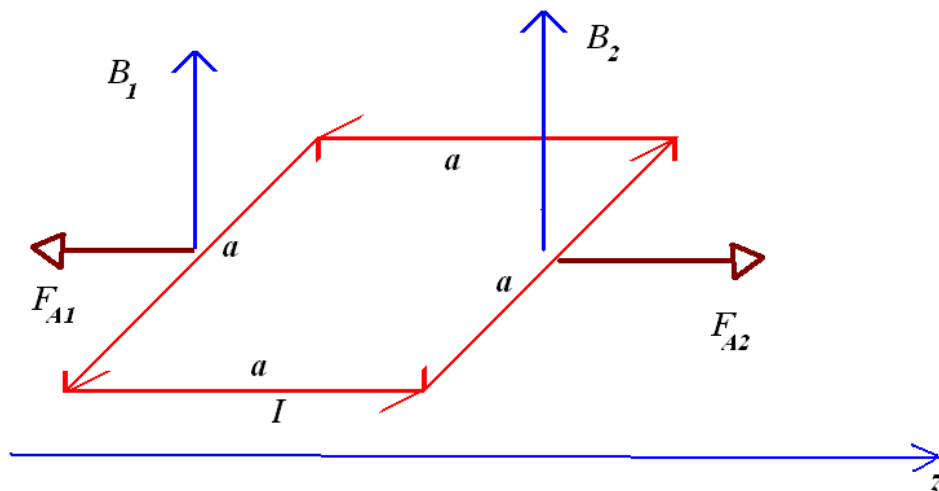


Рис 1. Сили Ампера, що діють на молекулярний струм в напрямку градієнта магнітного поля (напрямок z)

Опис установки

Установка зображена на рис 2. Вона містить електромагніт M з полюсними наконечниками у формі зрізаних конусів. Обмотки електромагніту підключені до джерела постійного струму, величину якого можна регулювати за допомогою реостата R і амперметра A . Електромагніт вмикається і вимикається ключем K . Величина магнітної індукції визначається за допомогою калібрувального графіка G . Посередині між полюсами електромагніту знаходиться U-образна скляна трубка з розчином

хлорного заліза. Положення трубки можна регулювати за допомогою гвинта Р. Зміна висоти рівня рідини в трубці вимірюється за допомогою шкали S.

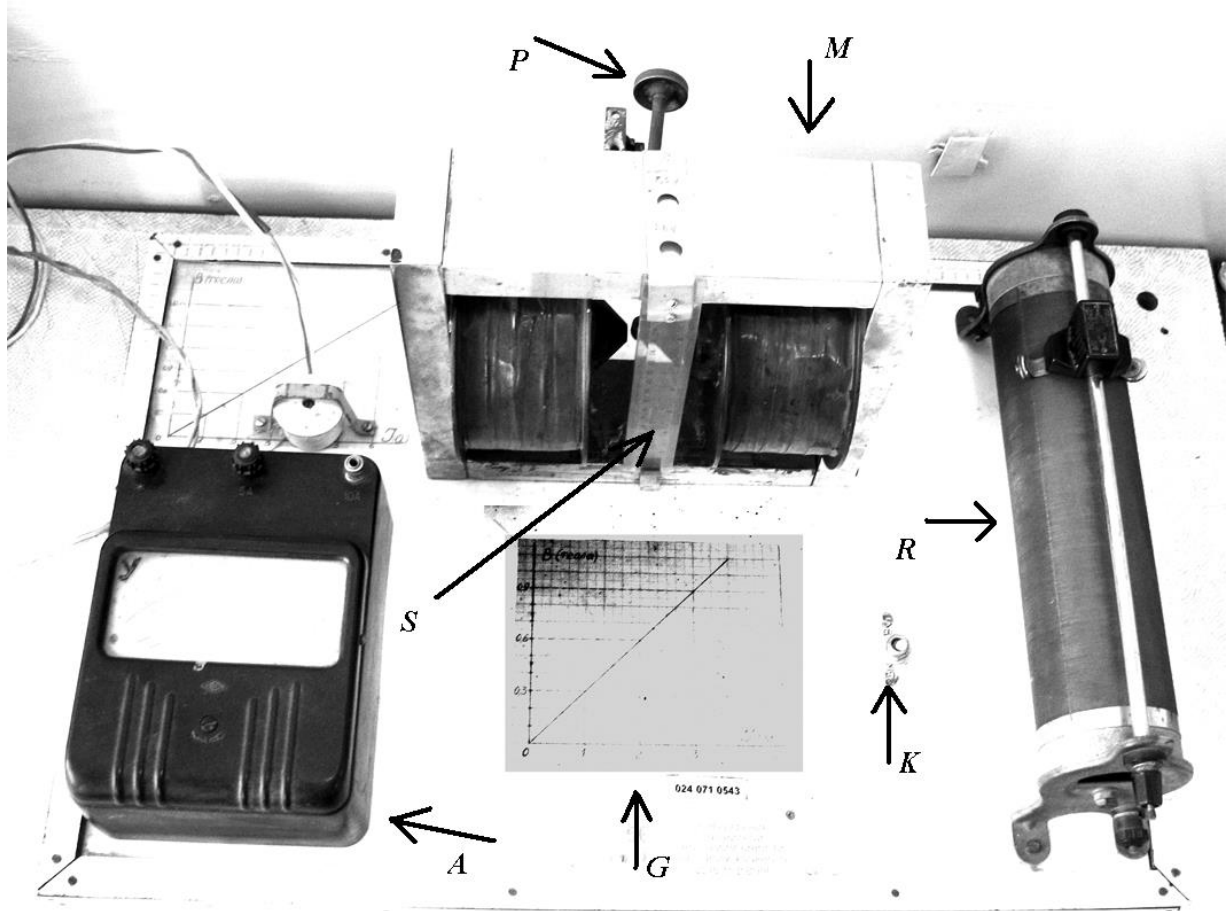


Рис. 2. Лабораторна установка.

Робоча формула

Сила, що діє на всю рідину зі сторони магнітного поля дорівнює

$$F_H = \int S f_H dz = \int S \chi \mu_0 H \frac{dH}{dz} = S \chi \mu_0 \int_0^H H dH = \frac{1}{2} S \chi \mu_0 H^2 \quad (7)$$

де S - площа поперечного перерізу стовпа рідини, H - напруженість магнітного поля між полюсами електромагніту. Ця сила визиває підймання рідини. Рідина буде підійматись доки сила (7) не буде урівноважена вагою піднятого стовпа рідини

$$F_g = \rho V g = \rho S h g \quad (8)$$

де g - прискорення вільного падіння, ρ - густина рідини, h - висота підйому рідини. З умови $F_g = F_H$ знаходимо

$$\chi = \frac{2 \rho g h}{\mu_0 H^2}$$

Або, з урахуванням $B \approx \mu_0 H$,

$$\chi = \frac{2\mu_0 \rho g h}{B^2} \quad (9)$$

Послідовність виконання роботи

1. Ключем К увімкнути струм через електромагніт.
2. За допомогою реостата R встановити максимальний струм ($\approx 2,5$ А)
3. При включеному струмі, за допомогою гвинта Р встановити U-образну трубку так, щоб рівень рідини знаходився точно на осі симетрії полісних конусів.
4. Ключем К вимкнути струм. Заміряти величину h , на яку опустився рівень рідини в трубці.
5. Занести в таблицю встановлене значення струму і знайдену величину h .
6. За допомогою калібрувального графіку визначити величину магнітної індукції B , яка відповідає встановленому струму. Величину B також занести в таблицю.
7. Повторити експеримент (пп. 1 -6) для двох інших значень струму: ≈ 2 А і $\approx 1,5$ А (при кожному вимірюванні заново встановлювали рівень рідини на вісь конусів).
8. З одержаних даних розрахувати магнітну сприйнятливості χ для кожного вимірювання. По трьом вимірюванням знайти середнє значення χ .
9. Розрахувати відносну і абсолютну похибку.

Звіт про виконану роботу

1. Робоча формула для визначення магнітної сприйнятливості

$\chi =$

2. Дані, що приведені на панелі установки.

Густина рідини $\rho =$ (кг/м³)

3. Результати вимірювань.

№	I , А	B , Гл	h , м	χ
1				
2				
3				

4. Розрахунки χ

$$\chi_1 =$$

$$\chi_2 =$$

$$\chi_3 =$$

5. Середнє значення

$$\chi_{\text{ср}} = \frac{\chi_1 + \chi_2 + \chi_3}{3} =$$

6. Розрахунок відносної і абсолютної похибки

(розрахунок похибки провести для максимального струму).

Відносна похибка величини (9) розраховується за формулою

$$\frac{\Delta\chi_1}{\chi_1} = \frac{\Delta h_1}{h_1} + 2 \frac{\Delta B_1}{B_1}$$

Як видно з калібрувального графіка, $B \propto I$. Відповідно,

$$\frac{\Delta B}{B} = \frac{\Delta I}{I}$$

Таким чином,

$$\frac{\Delta\chi_1}{\chi_1} = \frac{\Delta h_1}{h_1} + 2 \frac{\Delta I_1}{I_1} \quad (10)$$

Абсолютна похибка Δh_1 складає 10^{-3} м.

Абсолютна похибка ΔI визначається класом точності амперметра і діапазоном вимірювання.

$$n_I =$$

$$I_{\max} =$$

$$\Delta I = \frac{n_I I_{\max}}{100} =$$

Відносна (в процентах) і абсолютна похибка складають

$$\varepsilon = \frac{\Delta\chi_1}{\chi_1} \cdot 100\% =$$

$$\Delta\chi_1 = \frac{\varepsilon}{100\%} \chi_1 =$$

Контрольні запитання

1. Що таке сила Ампера? Чому вона дорівнює?
2. Чому дорівнює магнітний момент плоского контуру зі струмом? В яких одиницях від вимірюється?
3. Що називається вектором намагніченості? В яких одиницях вимірюється намагніченість?
4. Що називається магнітною сприйнятливістю?
5. Записати формулу, що дає зв'язок між магнітною проникністю і магнітною сприйнятливістю. Вивести цю формулу.
6. Чим відрізняється парамагнетик від діамагнетика?
7. Як діє неоднорідне магнітне поле на парамагнетик, діамагнетик?
8. Як магнітна сприйнятливість парамагнетика залежить від температури? Поясніть якісно цю залежність.