

А.О. Губанова

Кам'янець-Подільський державний університет

## ВИВЧЕННЯ ЕФЕКТУ ХОЛЛА ТА ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОНІВ У МЕТАЛІ НА ОСНОВІ ЙОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

В даній статті приведені дві методики виконання лабораторної роботи по вивченню ефекту Холла. При цьому використовуються однакові прилади, але одна група студентів використовує теорію на рівні спостереження явища, а друга група студентів – на рівні дослідження фізичних законів, що пояснюють ефект Холла.

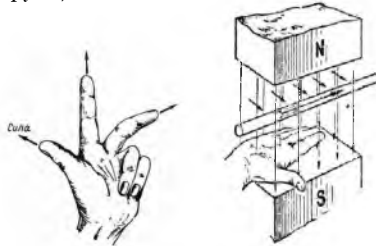
**Ключові слова:** ефект Холла, лабораторна робота, спостереження, вивчення.

Вивчення ефекту Холла є ілюстрацією руху електронів у схрещених електричному та магнітному полях. Подана лабораторна робота може бути використана при вивченні фізики студентами різних спеціальностей вищих навчальних закладів, зокрема, студентами природничого факультету університету спеціальностей «Екологія» та «Біологія і географія» та студентами фізико-математичного факультету спеціальностей «Фізика та інформатика», «Фізика і основи виробництва»

При використанні досить простого обладнання, яке однаково для обох груп студентів, можна сформулювати суттєво відмінні навчальні цілі.

Для студентів природничого факультету метою роботи є спостереження ефекту Холла. В цьому явищі поєднуються дія двох полів – електростатичного та магнітного, показано, що існування одного поля без іншого можливе тільки при штучному розгляданні в певній системі координат. Питання за своїм підходом подібне до питання існування поняття спокою. Спокій не є абсолютним поняттям, але абсолютним поняттям є рух. Так в спостереженні ефекту Холла підкреслюється взаємодія електричного та магнітного полів і розглядати ці поля доцільно лише у їх співіснуванні як одного поняття електромагнітного поля.

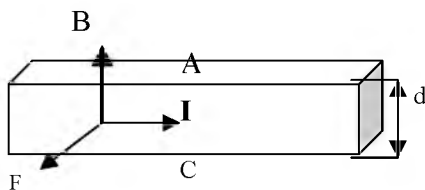
Для студентів природничого факультету у теоретичній частині доцільно привести малюнки, що ілюструють наявність сили Лоренца (правило лівої руки) і виникнення струму у провіднику, що рухається у магнітному полі (правило правої руки).



Мал. 1. Правило лівої руки (ліва частина малюнка) правило правої руки (права частина малюнка)

**Правило лівої руки:** середній палець показує напрямку руху додатного електричного заряду, вказівний палець показує напрямку вектора індукції магнітного поля, великий палець показує силу Лоренца.

**Правило правої руки:** вектори індукції магнітного поля (лінії магнітної індукції виходять з північного магнітного полюса і входять у південний) входять у долоню, великий палець вказує напрямку руху провідника, стрілка в провіднику вказує напрямку руху зарядів (напрямок електричного струму, що виникає у провіднику).



Мал. 2. Прямокутний провідник. Відстань між двома протилежними гранями А і С позначена  $d$ ,  $\vec{I}$  – напрямку струму,  $\vec{B}$  – напрямку індукції магнітного поля  $\vec{F}$  – сила, що діє на позитивний електричний заряд

У прямокутному провіднику (мал. 2) є достатня кількість вільних електронів, що можуть рухатися і накопичуватися вздовж однієї грані прямокутного провідника. Концентрація електронів біля цієї грані зростає. Величина струму залишається сталою, кількість електронів залишається сталою, тому виникає нестача електронів біля протилежної грані прямокутного провідника.

Дві грані провідника перетворюються на плоский конденсатор, всередині якого створюється електричне поле.

На електрон, що знаходиться всередині такого конденсатора діють дві сили – сила Кулона  $F_K$  та  $F_L$  – сила Лоренца. У стаціонарному стані ці сили рівні між собою і протилежно направлені.

При цьому Холлівська різниця потенціалів має визначене значення.

Порядок виконання роботи визначається таким чином:

1. Ознайомлення з прямокутним провідником – зразком Холла Це прямокутний зразок з визначеними розмірами, до якого припаяні 4 контакти – одна пара для того, щоб під'єднати до джерела струму, друга – для визначення Холлівської різниці потенціалів. Зразок виготовляється в промисловості для вимірвальних та наукових робіт.
2. Ознайомлення з схемою живлення електромагніту.
3. Спостереження за зміною значень Холлівської різниці потенціалів при зміні величини та напрямку електричного струму у колі живлення електромагніту.
4. Спостереження за зміною значень Холлівської різниці потенціалів при зміні величини та напрямку струму у провіднику

Для студентів природничого факультету такої інформації про ефект Холла достатньо.

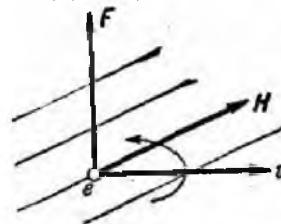
Для студентів фізико-математичного факультету, звичайно, метою роботи буде не тільки спостереження ефекту Холла, але й визначення концентрації носіїв заряду у зразку та її зв'язку із сталою Холла.

Студенти цієї групи також самі складають схеми досліду, визначають величину магнітного поля з застосуванням мілівеберметра.

Таким чином, від спостереження ефекту відбувається перехід до дослідження ефекту Холла і визначення постійної Холла.

**Прилади і матеріали:** електромагніт, датчик Холла, джерело постійного струму, міліамперметр мілівольтметр з великим вхідним опором, мілівеберметр.

У теоретичній частині для студентів, що можуть самостійно досліджувати явище, крім правил лівої та правої руки додається правило використання векторного добутку двох векторів ( $\vec{V} \cdot \vec{H}$ ) (мал. 3).



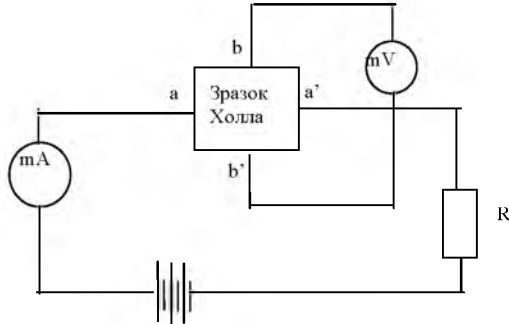
Мал. 3. Векторний добуток двох векторів

На мал. 4 наведена електрична схема ввімкнення датчика Холла. Сила Лоренца визначається за формулою  $\vec{F} = q [\vec{V} \times \vec{B}]$  –  $\vec{F}$  – вектор сили, що діє на додатний заряд,

$\mathbf{V}$  – вектор швидкості руху заряду,  $\mathbf{B}$  – вектор індукції магнітного поля.

Існування сили Лоренца, що діє на електричний заряд, який рухається в магнітному полі, дозволяє пояснити наступне явище: при наявності струму вздовж провідної пластинки, розміщеної перпендикулярно до лінії зовнішнього магнітного поля  $\mathbf{H}$  (мал. 2) між гранями А і С пластинки виникає різниця потенціалів  $V_a - V_c$ . На малюнку позначений вектор індукції магнітного поля, слід пам'ятати, що  $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$ .

Різниця потенціалів, що виникає, пропорційна добутку сили струму і величини магнітного поля ( $\mathbf{I} \times \mathbf{B}$ ) і обернено пропорційна товщині пластинки  $d$ .



Мал. 4. Електрична схема ввімкнення датчика Холла

Ефект Холла одержав широке застосування в техніці. На його основі було створено ряд важливих приладів-датчиків для вимірювання постійних і змінних магнітних полів, електронних перетворювачів, генераторів і підсилювачів.

Ефект Холла також знайшов широке застосування при вивченні властивостей твердих тіл. Вимірювання холлівської різниці потенціалів в даній речовині дозволяє знайти концентрацію носіїв струму, їхній знак, рухомість та інші характеристики. Теорія дає також наступну формулу для холлівської різниці потенціалів:

$$V_a - V_b = R \cdot I \cdot \frac{B}{d} \quad (1)$$

Тут  $I$  – струм, що проходить через пластинку, розміщену в перпендикулярному магнітному полі з індукцією  $B$ ,  $d$  – товщина пластинки в напрямку магнітного поля,  $R$  – стала Холла.

Стала Холла  $R$  для металів дорівнює  $R = \frac{l}{ne}$  (2),

де  $n$  – концентрація електронів в даному металі,  $e$  – заряд електрона. За формулами (1) і (2) вимірюючи холлівську різницю потенціалів, струм, що тече через пластинку, та індукцію магнітного поля можна розрахувати концентрацію вільних електронів у даному металі. На мал. 5 приведена блок-схема живлення електромагніту.



Мал. 5. Блок-схема створення магнітного поля у зазорі

Дослідним зразком є датчик Холла, який має два струмових контакти (а і а' мал. 2) і два холлівських контакти (b і b' мал. 4) і розміщується між полюсами наконечника електромагніту. Для вимірювання холлівської різниці потенціалів використовуємо мілівольтметр з великим входним опором.

Величину індукції магнітного поля для малої відстані між полюсами магніту, яка присутня в даній схемі можна знайти за формулою:

$$\mathbf{B} = \mu_0 I N / h \quad (3)$$

де  $N$  – число витків електромагніта,  $I$  – струм, який проходить через електромагніт,  $h$  – величина зазору.

Використання мілівеберметра спрощує знаходження величини індукції магнітного поля у зазорі осердя електромагніту, що дозволяє побудувати графік залежності  $\mathbf{B(I)}$  при відсутності зразка Холла у зазорі.

При проведенні спостереження ефекту Холла зразок з магнітного поля не виймається, а величину поля визначаємо по величині струму, що проходить через електромагніт за побудованим градуовальним графіком.

#### Експериментальна частина дослідження ефекту Холла

- Зібрати схеми згідно малюнків 4, 5.
- Ввімкнути джерело живлення електромагніту (до 5А).
- Побудувати графік залежності магнітної індукції від струму, який проходить через електромагніт.
- Ввімкнути струм живлення зразка (до 80 мА). Провести виміри та побудувати графіки залежностей холлівської різниці потенціалів від:
  - зміни кута між  $\mathbf{B}$  і  $\mathbf{S}$  при сталих  $B$  та  $I$  ( $\mathbf{B}$  і  $\mathbf{S}$  – вектори індукції магнітного поля і нормалі до поверхні зразка);
  - зміни індукції магнітного поля при сталому куті між вектором нормалі до поверхні зразка і напрямком вектора індукції магнітного поля струмі при сталому струмі, який проходить через датчик;
  - зміни величини струму через зразок (величина струму через зразок не перевищує 80 мА).

Для підвищення точності визначення сталої Холла вимірювання холлівської різниці потенціалів треба проводити для різних напрямків індукції магнітного поля  $B$  і  $-B$ , двічі розраховувати  $R$  і брати середнє значення між отриманими значеннями.

- Порахувати концентрацію вільних носіїв зарядів в металі.

#### Контрольні запитання:

- Чому дорівнює сила Лоренца і як визначити напрям її дії?
- Як визначити знак носіїв струму за допомогою ефекту Холла?
- Що називається рухомістю носіїв? Як визначити рухомість, знаючи сталу Холла?
- Виведіть формули (1), (2).
- Як обчислити концентрацію носіїв струму, знаючи атомну вагу і густину речовини?

#### Список використаних джерел:

- Калашиков. Електрика. – К.: Радянська школа, 1964. – 630 с.

There is idea about using the same equipment for make two kinds of student's research works. One ways, it is possible observed the electric and magnetic fields and interactions. Second way, student investigating a Hall effect and obtained a concentration of free electrons in Hall samples.

**Key words:** Hall effect, observe the electric and magnetic fields, concentration of free electrons.

Отримано: 12.08.2006.