

Лабораторная работа 3.3.5. Эффект Холла в металлах.

Вязовцев Андрей, Б01-005

08.10.21

Цель работы: измерение подвижности и концентрации носителей заряда в металлах.

В работе используются: электромагнит с источником питания, источник постоянного тока, микровольтметр Ф116/1, амперметры, измеритель магнитной индукции Ш1-10, образцы из меди, серебра и цинка.

Теоретическая справка:

В магнитном поле \vec{B} на заряды действует сила Лоренца:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{u} \times \vec{B}$$

В связи с этим направление движения зарядов может не совпадать с \vec{E} , поэтому их движение будет искривляться, или, если первое не позволяет геометрия проводника, будет возникать поперечное поле, противодействующее силе Лоренца. Возникновение этого поля называют эффектом Холла.

Закон Ома в дифференциальной форме записывается так:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} = \frac{\vec{E}}{\rho}$$

Где σ — проводимость среды, ρ — удельное сопротивление, а \vec{j} — плотность тока, которая по определению равна:

$$\vec{j} = qn\vec{u}$$

Здесь n — концентрация частиц, а \vec{u} — средний вектор скорости. Его можно выразить так:

$$\vec{u} = \mu \vec{E}$$

Тогда зависимость проводимости от подвижности выражается так:

$$\sigma = qn\mu$$

Для исследования зависимости проводимости используют две принципиально различные схемы: мостик Холла и диск Корбино. Рассмотрим первый, т. к. на его основе будет проводиться лабораторная работа.

В этой схеме ток вынуждают течь по оси x вдоль плоской пластинки (длиной l , толщиной h и шириной a). Холловское напряжение в данном случае равно:

$$U_{\perp} = E_y a$$

Где:

$$E_y = \rho_{yx} \cdot j_x = \frac{j_x B}{nq}$$

Из выражения для полного тока I :

$$j_x = \frac{I}{ah}$$

Получаем:

$$U_{\perp} = \frac{B}{nqh} \cdot I = R_H \cdot \frac{B}{h} \cdot I$$

Где R_H — постоянная Холла:

$$R_H = \frac{1}{nq}$$

Экспериментальная установка:

В зазоре электромагнита создаётся постоянное магнитное поле, величину которого можно изменить с помощью регулятора тока источника. Градуировка магнита осуществляется с помощью измерителя магнитной индукции.

Металлические образцы в форме тонких пластинок подключаются к блоку питания через разъём.

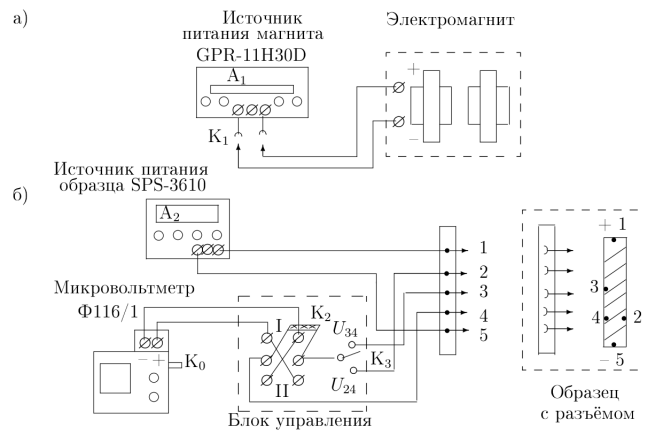


Рис. 1. Схема установки для исследования эффекта Холла в металлах

Ход работы:

1. Настроим все измерительные приборы согласно методическим пособиям.

2. Найдём максимальный ток через серебряный образец при напряжении $U_{\text{пред-с}} = 0,8$ В. Получаем: $I_{\text{пред-с}} = 1,1$ А.

3. Найдём предельное значение тока через электромагнит. Для этого сначала выведем напряжение на максимум ($U_{\text{пред-м}} = 2,6$ В), после чего — ток. Получаем: $I_{\text{пред-м}} = 5,25$ А.

4. Найдём зависимость магнитной индукции B от тока через магнит I_M , результаты занесём в таблицу:

I_M , А	0.16	0.32	0.48	0.64	0.8	0.96	1.12	1.28
B , мТл	204	347	575	752	911	1009	1078	1123

Таблица 1. Зависимость индукции электромагнита от тока через него

5. Снимем зависимость напряжения $U = U_{24}$ (включая начальное напряжение U_0) от тока через магнит I_M при фиксированном токе I через образец. Проведём несколько серий измерений, изменяя I и материал образца:

I , А	0.16	0.32	0.48	0.64	0.8	0.96	1.12	1.28
U , нВ	240	280	400	480	600	640	680	760

Таблица 2. Зависимость $U(I_M)$ для серебряного образца при $I = 0,6$ А

I, А	0.16	0.32	0.48	0.64	0.8	0.96	1.12	1.28
U, нВ	240	360	600	720	880	920	1000	1040

Таблица 3. Зависимость $U(I_M)$ для серебряного образца при $I = 0,9$ А

I, А	0.16	0.32	0.48	0.64	0.8	0.96	1.12	1.28
U, нВ	320	560	760	920	1120	1200	1280	1320

Таблица 4. Зависимость $U(I_M)$ для серебряного образца при $I = 1,2$ А

I, А	0	0.16	0.32	0.48	0.64	0.8	0.96	1.12	1.28
U, нВ	480	760	1040	1240	1520	1720	1800	1880	1920

Таблица 5. Зависимость $U(I_M)$ для цинкового образца при $I = 1,0$ А

6. Определим, каким типом проводимости обладает каждый материал. Получаем: в серебряном образце носителями являются электроны, а у цинка - дырки. Из этого следует, что постоянная Холла R_H для цинка будет положительна, а для серебра — отрицательна.

7. Выключим источник питания электромагнита и установим переключатель микровольтметра в положение 750 мкВ. Теперь при $I = 1$ А измерим падение напряжение между контактами 3 и 4 для каждого из двух образцов. Получаем: $U_{\text{цинк}} = 48$ мкВ, $U_{\text{серебра}} = 38$ мкВ.

8. Запомним характеристики пластин.

Цинк: $L_{3,4} = 3,5$ мм, $l = 9$ мм, $h = 0,12$ мм.

Серебро: $L_{3,4} = 15$ мм, $l = 11$ мм, $h = 0,09$ мм.

9. Построим график зависимости $B = f(I_M)$

10. Построим графики зависимостей $\varepsilon = f(B)$ при различных значениях тока для цинка и меди. Определим коэффициенты наклона прямых:

$$K_{1-Ag}(I) = (0,55 \pm 0,02) \cdot 10^{-6} \frac{\text{В}}{\text{Тл}}$$

$$K_{2-Ag}(I) = (0,86 \pm 0,02) \cdot 10^{-6} \frac{\text{В}}{\text{Тл}}$$

$$K_{3-Ag}(I) = (1,05 \pm 0,03) \cdot 10^{-6} \frac{\text{В}}{\text{Тл}}$$

$$K_{Zn}(I) = (1,28 \pm 0,04) \cdot 10^{-6} \frac{\text{В}}{\text{Тл}}$$

11. Найдём постоянную Холла для всех экспериментов, учтём тот знак, который был определён выше. Воспользовавшись соотношением:

$$K(I) = \frac{R_H \cdot I}{h}$$

Получаем:

$$R_{H1-Ag} = -(8,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-11} \frac{\text{М}^3}{\text{Кл}}$$

$$R_{H2-Ag} = -(8,6 \pm 0,2) \cdot 10^{-11} \frac{\text{М}^3}{\text{Кл}}$$

$$R_{H3-Ag} = -(7,9 \pm 0,2) \cdot 10^{-11} \frac{\text{М}^3}{\text{Кл}}$$

$$R_{H-Zn} = +(1,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-10} \frac{\text{М}^3}{\text{Кл}}$$

12. Теперь найдём концентрацию n носителей тока. При этом коэффициент Холла серебра возьмём как среднее арифметическое результатов 1-3. Воспользуемся формулой:

$$n = \frac{1}{R_H q}$$

Получаем:

$$n_{Ag} = (7,5 \pm 0,2) \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$$

$$n_{Zn} = (4,2 \pm 0,2) \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$$

13. Найдём удельную проводимость материалов:

$$\sigma_{Ag} = (39,9 \pm 0,8) \cdot 10^6 \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}} \sigma_{Zn} = (6,7 \pm 0,4) \cdot 10^6 \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$$

14. Найдём подвижность носителей тока:

$$\mu_{Ag} = 33,1 \pm 0,7 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} \mu_{Zn} = 10,1 \pm 0,4 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$$

Вывод:

Табличные значения таковы: $R_{H-Ag} = -9 \cdot 10^{-11}$, $R_{H-Zn} = +5,5 \cdot 10^{-11}$. Таким образом, значение для серебра практически совпало, а для цинка отличается в три раза. Скорее всего, это связано с примесями в металле.

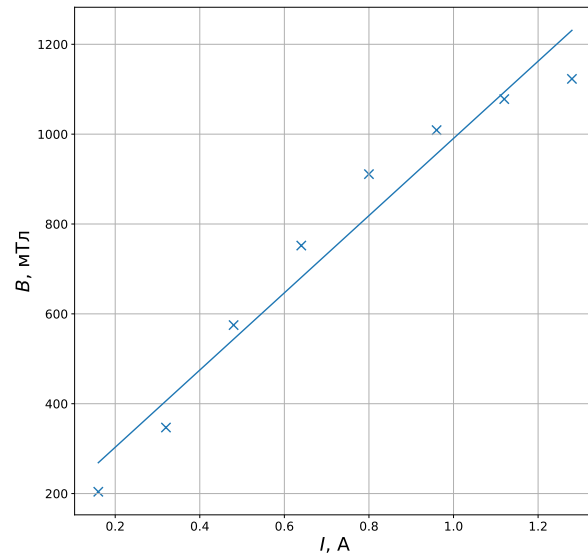


Рис. 2. График $B(I)$

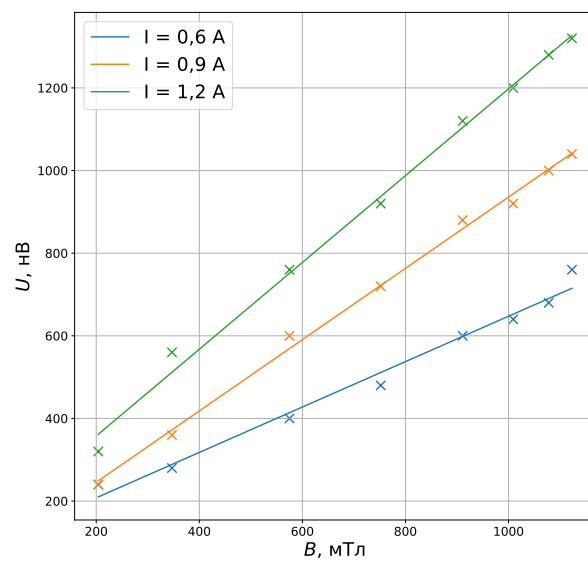


Рис. 3. График $\varepsilon(B)$

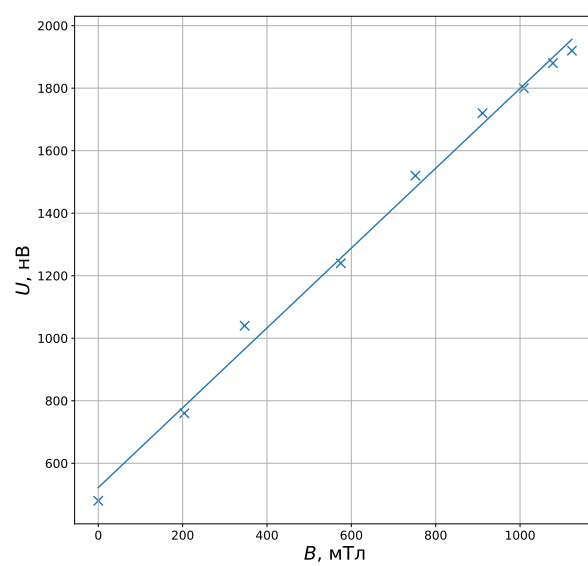


Рис. 4. График $\varepsilon(B)$