

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.3.5

Эффект Холла в металлах

Маршрут III

6 октября 2018 г.
13 октября 2018 г.

Работу выполнил
Валиев Ринат, 711 гр.

Под руководством
Г.И. Лапушкина, к.ф.-м.н.

Подготовка к работе

Цель работы

Измерение подвижности и концентрации носителей заряда в металлах.

Изучение эффекта Холла.

Теоретическая часть

В данной работе будет рассматриваться эффект Холла. Его суть состоит в следующем. Пусть через однородную пластину металла вдоль оси x течет ток I (Рис. 1).

Если эту пластину поместить в магнитное поле, направленное по оси y , то между гранями А и Б появляется разность потенциалов. В самом деле, на электрон, движущийся со скоростью $\langle v \rangle$ в электромагнитном поле, действует сила Лоренца:

$$\mathbf{F}_л = -e\mathbf{E} - e\langle \mathbf{v} \rangle \times \mathbf{B}$$

где, как и выше, e – абсолютная величина заряда электрона, \mathbf{E} – напряженность электрического тока, \mathbf{B} – индукция магнитного поля. В нашем случае сила, обусловленная вторым слагаемым, направлена вдоль оси z :

$$F_B = e|\langle v_x \rangle|B$$

Здесь $|\langle v_x \rangle|$ – абсолютная величина дрейфовой скорости электронов вдоль оси x , возникающая под действием внешнего электрического поля.

Под действием этой силы электроны отклоняются к грани Б, заряжая ее отрицательно. На грани А накапливаются нескомпенсированные положительные заряды. Это приводит к возникновению электрического поля E_z , направленный от А к Б, которое действует на электроны с силой $F_e = eE_z$, направленный против F_B . В установившемся режиме сила F_e уравнивает F_B , и накопление зарядов прекращается.

$$E_z = |\langle v_x \rangle|B$$

$$U_{AB} = -E_z l = -|\langle v_x \rangle|Bl$$

В этом и состоит эффект Холла. Второе слагаемое в силе Лоренца, с которым связан эффект, часто называют "холловским".

Найдем ЭДС Холла:

$$I = ne|\langle v_x \rangle|l \cdot a$$

$$\mathcal{E}_x = U_{AB} = -\frac{IB}{nea} = -R_x \cdot \frac{IB}{a}, \quad \text{где} \quad R_x = \frac{1}{ne}$$

Измеряя величину R_x , можно по формуле найти концентрацию носителей тока n , а по знаку возникающей между гранями А и Б разности потенциалов установить характер проводимости – электронный или дырочный.

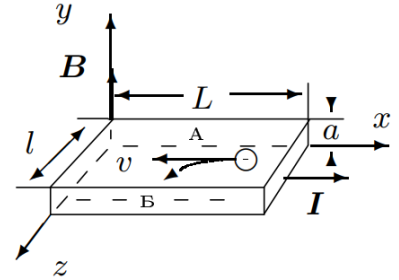


Рис. 1: Образец с током в магнитном поле

Установка и измерения

Оборудование: электромагнит с источником питания, источник постоянного тока, микровольтметр, амперметры, миллиамперметр, образцы из серебра и цинка.

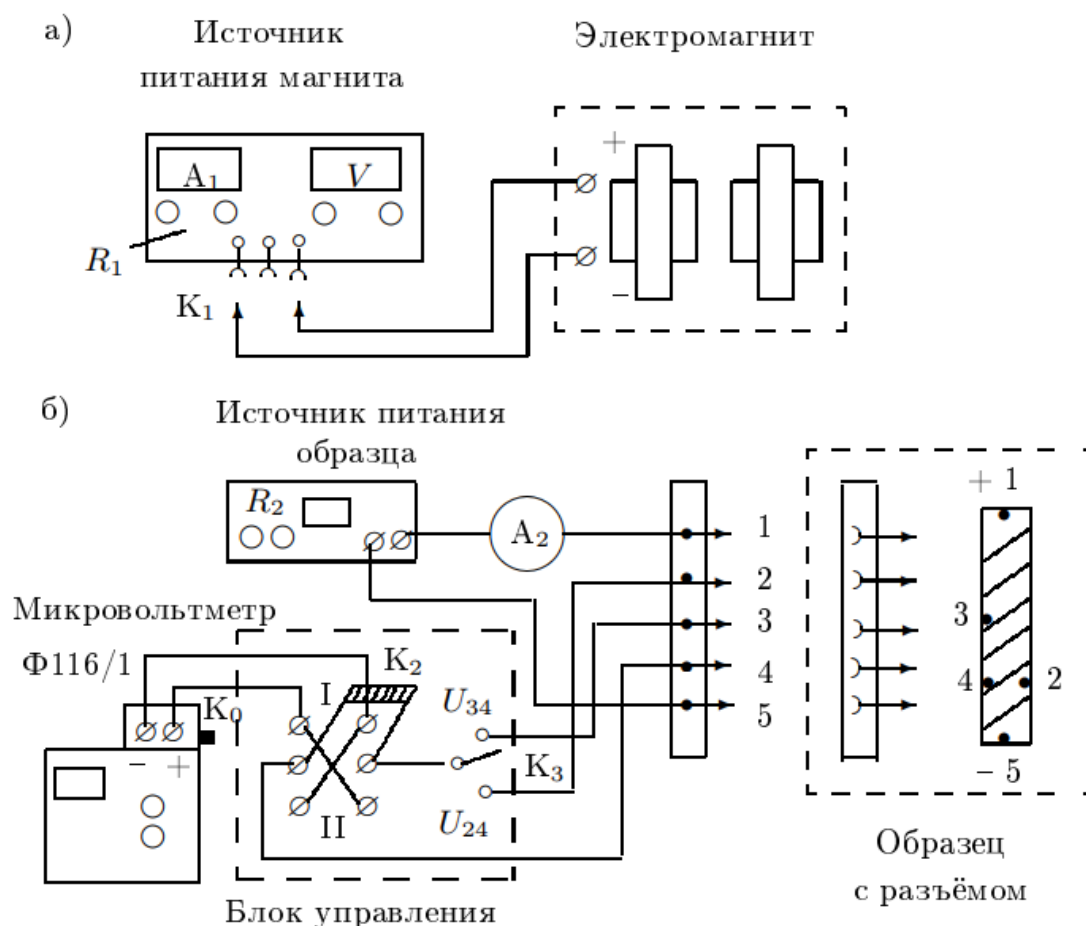


Рис. 2: Схема установки для исследования эффекта Холла в металлах

По знаку \mathcal{E}_x можно определить характер проводимости – электронный или дырочный. Для этого необходимо знать направление тока в образце и направление магнитного поля.

Измерив ток I в образце и напряжение U_{34} между контактами 3 и 4 в отсутствие магнитного поля, можно, зная параметры образца, рассчитать проводимость материала образца по очевидной формуле:

$$\sigma = \frac{IL_{34}}{U_{34}al}$$

где L_{34} – расстояние между контактами 3 и 4, a – толщина образца, l – его ширина.

Ход работы

- Прокалибруем электромагнит:

$I, \text{А}$	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.74	0.86	0.99	1.29
$B, \text{мТл}$	147	260	391	523	637	744	889	965	1028	1125

Таблица 1: Калибровка электромагнита

- Параметры образцов:

	$L_{34}, \text{мм}$	$a, \text{мм}$	$l, \text{мм}$
Цинк	4	0.08	10
Серебро	14.5	0.09	10

Таблица 2: Характеристики образцов

- Построим график зависимости $B(I)$ при калибровке электромагнита:

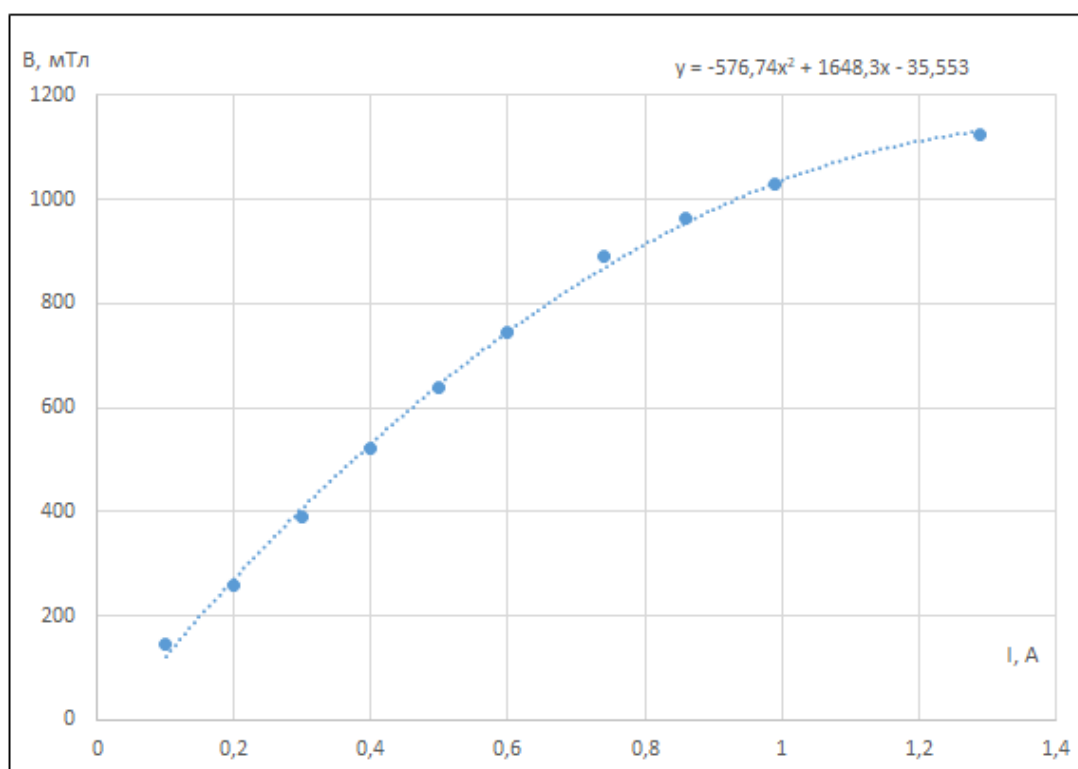


Рис. 3: Зависимость $B(I)$ для таблицы 2

- Проведем измерения ЭДС Холла. Каждый раз будем измерять начальный U_0 , который вызван несовершенством контактов 2, 4 и при фиксированном токе через образец остается неизменным. Значение U_0 с учетом знака следует принимать за нулевое.

Измерения проводим для серебра и цинка в обратном направлении.

Серебро	$U_0 = 0$ мкВ, $I = 0.2$ А							
I , А	0,20	0,36	0,43	0,55	0,64	0,78	0,96	1,25
U , мкВ	0,8	1,2	1,4	1,6	2	2,2	2,4	2,6
\mathcal{E}_x , мкВ	8	12	14	16	20	22	24	26
B , мТл	271	483	567	697	783	899	1015	1124

Серебро	$U_0 = -8$ мкВ, $I = 0.4$ А								
I , А	0,20	0,36	0,45	0,57	0,70	0,80	0,93	1,05	1,20
U , мкВ	4	10	14	20	26	30	34	36	38
\mathcal{E}_x , мкВ	12	18	22	28	34	38	42	44	46
B , мТл	271	483	589	717	836	914	999	1059	1112

Серебро	$U_0 = -12$ мкВ,				$I = 0.6$ А		
I , А	0,21	0,39	0,60	0,80	1,00	1,20	1,24
U , мкВ	-6	8	24	36	44	48	52
\mathcal{E}_x , мкВ	6	20	36	48	56	60	64
B , мТл	285	520	746	914	1036	1112	1122

Серебро	$U_0 = -28 \text{ мкВ}, \quad I = 0.8 \text{ А}$						
$I, \text{ А}$	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,24
$U, \text{ мкВ}$	-8	12	32	52	60	68	70
$\mathcal{E}_x, \text{ мкВ}$	20	40	60	80	88	96	98
$B, \text{ мТл}$	271	531	746	914	1036	1112	1122

Серебро	$U_0 = -28 \text{ мкВ}, \quad I = 1 \text{ А}$						
$I, \text{ А}$	0,20	0,40	0,61	0,81	1,00	1,20	1,25
$U, \text{ мкВ}$	-4	24	48	68	80	88	92
$\mathcal{E}_x, \text{ мкВ}$	24	52	76	96	108	116	120
$B, \text{ мТл}$	271	531	755	921	1036	1112	1124

Серебро	$U_0 = -32$ мкВ, $I = -1$ А						
I , А	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,19	1,25
U , мкВ	-40	-76	-124	-144	-156	-164	-168
\mathcal{E}_x , мкВ	-8	-44	-92	-112	-124	-132	-136
B , мТл	271	531	746	914	1036	1109	1124

Цинк	$U_0 = 72$ мкВ, $I = 1$ А					
I , А	0,20	0,40	0,61	0,80	1,00	1,25
U , мкВ	52	28	8	-12	-20	-30
\mathcal{E}_x , мкВ	-20	-44	-64	-84	-92	-102
B , мТл	271	531	755	914	1036	1124

Таблица 3: Полученные данные для нахождения ЭДС Холла в образцах из серебра и цинка

- Определим тип носителей заряда по правилу левой руки.
Для таблиц 3 приведем график $\mathcal{E}_x(B)$:

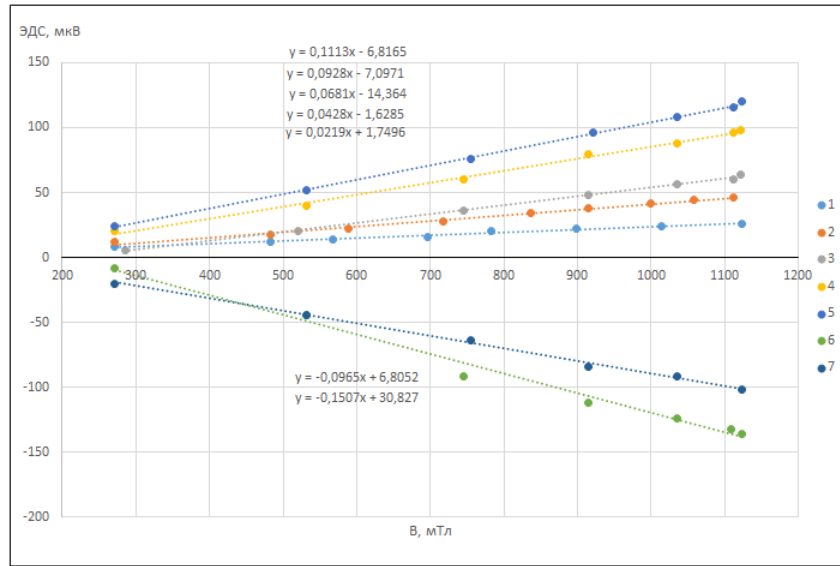


Рис. 4: Зависимость \mathcal{E}_x от B . Данные взяты из совокупности таблиц 3

Для каждой прямой на Рис. 4 найдены также их угловые коэффициенты. Внесем их в таблицу для большей наглядности и построим по этим данным график $k(I)$:

I, A	0.2	0.4	0.6	0.8	1	-1
$k, \text{мкВ/Тл}$	0.219	0.428	0.681	0.928	1.113	-1.507
$\Delta_k, \text{мкВ/Тл}$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3

Таблица 4: Таблица значений коэффициентов наклона для графика зависимости $k(I)$

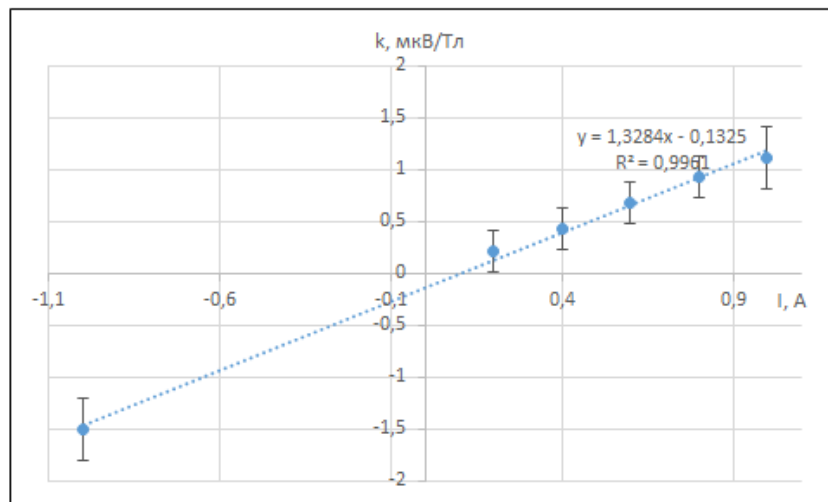


Рис. 5: График зависимости $k(I)$ из Таблицы 4

- По графику из Рис. 5 найдем постоянную Холла для серебра. А для цинка определим из соответствующего графика из Рис. 4.

$$R_{\text{серебро}} = -ka = -1.3284 \cdot 10^{-6} \cdot 0.09 \cdot 10^{-3} = -1.2 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/\text{Кл}$$

$$R_{\text{цинк}} = -\frac{\mathcal{E}_{\text{цинк}}}{B} \frac{a}{I} = 0.965 \cdot 10^{-6} \cdot 0.08 \cdot 10^{-3} = 0.8 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/\text{Кл}$$

Также найдем для каждого образца концентрацию носителей заряда:

$$n_{\text{серебро}} = \frac{1}{R_{\text{серебро}} e} = 5.2 \cdot 10^{28} \text{ (м}^3\text{)}^{-1}$$

$$n_{\text{цинк}} = \frac{1}{R_{\text{цинк}} e} = 8.1 \cdot 10^{28} \text{ (м}^3\text{)}^{-1}$$

Затем заполним финальную таблицу, используя все данные и формулы:

$$\sigma = \frac{IL_{34}}{U_{34}al} \quad \sigma = enb$$

$$\text{Серебро :} \quad I = 1 \text{ А}, \quad U_{34} = 166 \text{ мкВ}$$

$$\text{Цинк :} \quad I = 1 \text{ А}, \quad U_{34} = 132 \text{ мкВ}$$

Металл	$R_x \pm \Delta R_x$	Носитель	$n \pm \Delta n, \text{ (м}^3\text{)}^{-1}$	$\sigma \pm \Delta \sigma, \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$	$b, \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$
Серебро	-1.2 ± 0.1	-	$(5.2 \pm 1.5) \cdot 10^{28}$	$(9.7 \pm 0.8) \cdot 10^7$	117 ± 13
Цинк	$+0.8 \pm 0.2$	+	$(8.1 \pm 2) \cdot 10^{28}$	$(3.4 \pm 0.3) \cdot 10^7$	25 ± 6

Таблица 5: Финальная таблица с результатами для обоих образцов

Металл	$R_{\text{табл}}, \frac{10^{-10} \text{ м}^3}{\text{Кл}}$	$\sigma, \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$	$b, \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$
Серебро	-0.90	$6.25 \cdot 10^7$	56
Цинк	+1.04	$1.7 \cdot 10^7$	17.5

Таблица 6: Табличные данные для сравнения с результатами

Итоги

В работе исследован эффект Холла в металлах, найдены некоторые характеристики для образцов из разных материалов. Некоторые табличные данные не совпадают с результатами нашей работы, однако они достаточно точно описывают характеристики образцов.

Также установили знак носителей зарядов в данных образцах металлов.