

### 3.3.5 Эффект Холла в металлах

Радькин Кирилл Б01-005

8.10.21

**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.

**Экспериментальная установка:** Электрическая схема установки для измерения ЭДС Холла представлена на рис. 1.

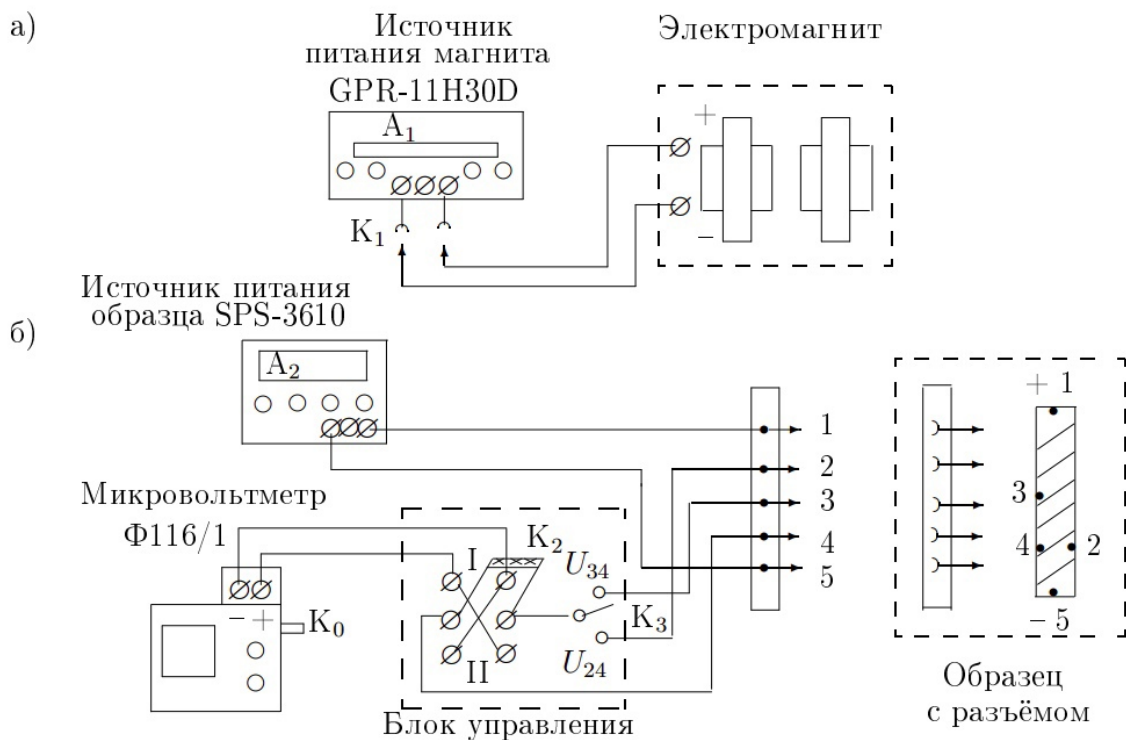


Рис. 1. Схема установки для исследования эффекта Холла в металлах

В зазоре электромагнита (рис. 1а) создается постоянное магнитное поле, величину которого можно менять с помощью регуляторов тока источника питания. Ток питания электромагнита измеряется амперметром источника  $A_1$ . Разъем  $K_1$  позволяет менять направление тока в обмотках электромагнита.

Градуировка магнита проводится с помощью измерителя магнитной индукции (описание прибора расположено на установке).

Металлические образцы в форме тонких пластинок, смонтированные в специальных держателях, подключаются к блоку питания через разъем (рис. 1б). Ток через образец регулируется ручками источника и измеряется амперметром источника  $A_2$ .

В образце с током, помещенном в зазор электромагнита, между контактами 2 и 4 возникает холловская разность потенциалов, которая измеряется с помощью микровольтметра Ф116/1, если переключатель  $K_3$  подключен к точке 2 образца. При подключении  $K_3$  к точке 3 микровольтметр измеряет омическое падение напряжения  $U_{34}$ , вызванное основным током через образец. При нейтральном положении ключа входная цепь микровольтметра разомкнута.

Ключ  $K_2$  позволяет менять полярность напряжения, поступающего на вход микровольтметра.

Иногда контакты 2 и 4 вследствие неточности подпайки не лежат на одной эквипотенциали, и тогда напряжение между ними связано не только с эффектом Холла, но и с омическим падением напряжения, вызванным протеканием основного тока через образец. Измеряемая разность потенциалов при одном направлении магнитного поля равна сумме ЭДС Холла и омического падения напряжения, а при другом — их разности. В этом случае ЭДС Холла  $\varepsilon_x$  может быть определена как половина алгебраической разности показаний вольтметра, полученных для двух противоположных направлений магнитного поля в зазоре.

Можно исключить влияние омического падения напряжения иначе, если при каждом токе через образец измерять напряжение между точками 2 и 4 в отсутствие магнитного поля. При фиксированном токе через образец это дополнительное к ЭДС Холла напряжение  $U_0$  остается неизменным. От него следует (с учетом знака) отсчитывать величину ЭДС Холла:  $\varepsilon_x = U_{24} \pm U_0$ . При таком способе измерения нет необходимости проводить повторные измерения с противоположным направлением магнитного поля.

По знаку  $\varepsilon_x$  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.

$$\sigma = I \cdot L_{34} / (U_{34} \cdot a \cdot l) \quad (1)$$

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

## Задание

В работе предлагается исследовать зависимость ЭДС Холла от величины магнитного поля при различных токах через образец для определения константы Холла; определить знак носителей заряда и проводимость различных Металлических образцов. Образец из серебра исследуется подробно; образец из цинка — по нескольким параметрам.

### Градуировка электромагнита

1. С помощью прибора Ш1-10 исследуем зависимость индукции  $B$  магнитного поля в зазоре электромагнита от тока через магнит.

Проведем измерения магнитной индукции  $B$  для 6-8 значений тока через электромагнит  $I_M$  (вплоть до максимального  $I_M$ ).

$B$ , мТл	204	397	575	752	911	1009	1078	1123
$I_M$ , А	0.16	0.32	0.48	0.64	0.80	0.96	1.12	1.22

### Измерение ЭДС Холла

2. Вставим держатель с образцом в зазор электромагнита
3. Снимем зависимость напряжения  $U_{24}$  (включая  $U_0$ ) от тока  $I_M$  через обмотки магнита при фиксированном (минимальном токе) через образец. Повторим измерения при различных токах через образец. (Для напряжения — 75 делений это 3 мкВ)

Серебряный образец:

$$U_0 = 3 \text{ дел.}$$

$$I_0 = 0.6 \text{ A}$$

$U_{24}$ , дел.	6	7	10	12	15	16	17	19
$I_M$ , А	0.16	0.32	0.48	0.64	0.80	0.96	1.12	1.22

$$I_0 = 0.9 \text{ A}$$

$U_{24}$ , дел.	6	9	15	18	22	23	25	26
$I_M$ , А	0.16	0.32	0.48	0.64	0.80	0.96	1.12	1.22

$$I_0 = 1.2 \text{ A}$$

$U_{24}$ , дел.	8	14	19	23	28	30	32	33
$I_M$ , А	0.16	0.32	0.48	0.64	0.80	0.96	1.12	1.22

Цинк:

$$U_0 = 12 \text{ дел.}$$

$$I_0 = 1 \text{ A}$$

$U_{24}$ , дел.	19	26	31	38	43	45	47	48
$I_M$ , А	0.16	0.32	0.48	0.64	0.80	0.96	1.12	1.22

#### Определение удельной проводимости

4. Выключим электромагнит
5. При токе через образец  $\simeq 1 \text{ A}$  измерим падение напряжения между контактами 3 и 4 для каждого из двух образцов. Запишем параметры образцов, указанные на держателях

$$\text{Цинк: } U_{34} = 480 \text{ мкВ, } L_{34} = 3.5 \text{ мм, } a = 0.12 \text{ мм, } l = 9 \text{ мм}$$

$$\text{Серебро: } U_{34} = 380 \text{ мкВ, } L_{34} = 15 \text{ мм, } a = 0.09 \text{ мм, } l = 11 \text{ мм}$$

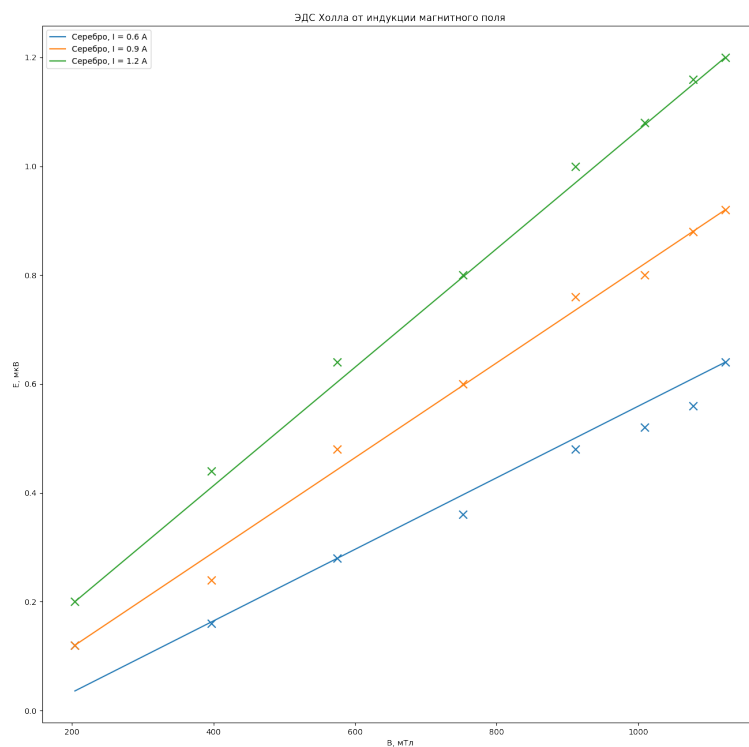
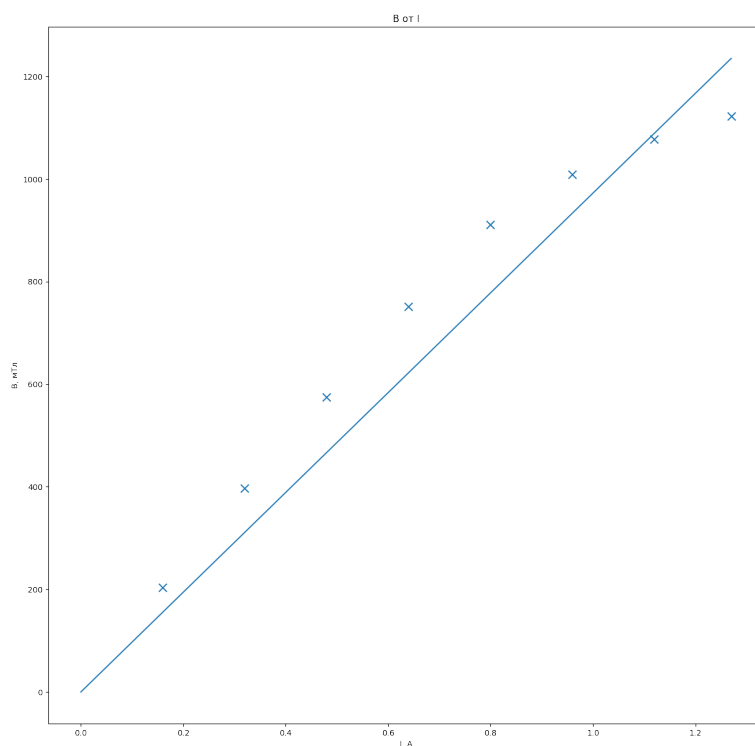
6. Построим график зависимости индукции магнитного поля от тока через магнит:  $B = f(I_M)$
7. Рассчитаем ЭДС Холла и построим на одном листе семейство характеристик  $\varepsilon_x = f(B)$  при разных значениях тока  $I$  через образец (для серебра).

Определим угловые коэффициенты  $K(I) = \Delta\varepsilon/\Delta B$  полученных прямых.

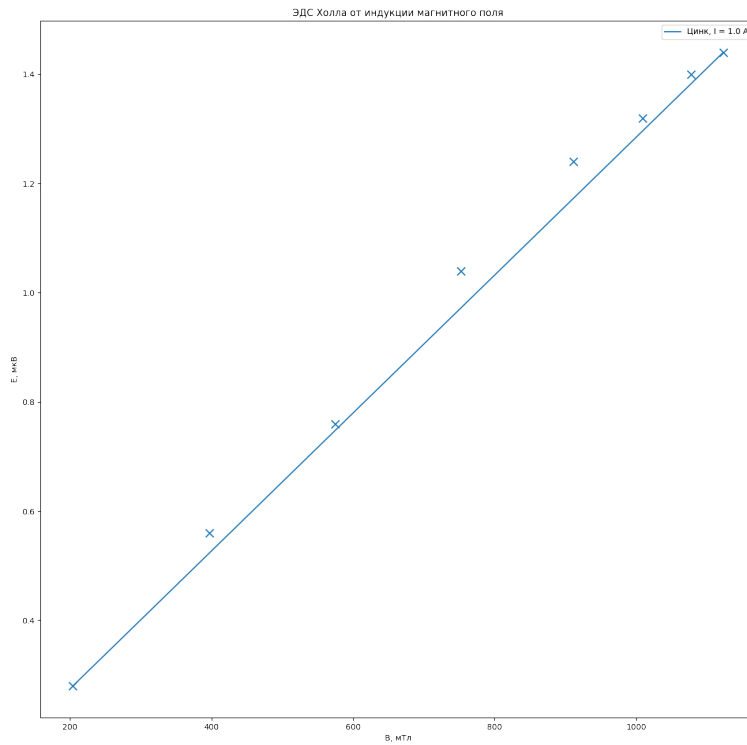
$$K1 = (6.5 \pm 0.3) \cdot 10^{-4} \frac{\text{мкВ}}{\text{мТл}}$$

$$K2 = (5.8 \pm 0.3) \cdot 10^{-4} \frac{\text{мкВ}}{\text{мТл}}$$

$$K2 = (5.4 \pm 0.2) \cdot 10^{-4} \frac{\text{мкВ}}{\text{мТл}}$$



8. Для цинка изображим на графике зависимость  $\varepsilon_x = f(B)$



9. Рассчитаем постоянные Холла для всех случаев:

$$R_{xs}(0.6 \text{ A}) = (9.9 \pm 0.5) \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$$

$$R_{xs}(0.9 \text{ A}) = (8.7 \pm 0.4) \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$$

$$R_{xs}(1.2 \text{ A}) = (8.2 \pm 0.4) \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$$

$$R_{xc}(1.0 \text{ A}) = (-15.1 \pm 1.0) \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$$

10. Рассчитаем концентрацию  $n$  носителей тока:

$$n_s = (15.8 \pm 1.2) \cdot 10^{30}$$

$$n_c = (24.2 \pm 3.1) \cdot 10^{30}$$

11. Рассчитаем удельную проводимость  $\sigma$  материала образцов:

$$\sigma_s = (39.9 \pm 4.7) \cdot 10^6 \frac{1}{\Omega \cdot \text{м}}$$

$$\sigma_c = (6.7 \pm 0.1) \cdot 10^6 \frac{1}{\Omega \cdot \text{м}}$$