

Работа 3.3.5

Эффект Холла в металлах

Пунов Дмитрий Викторович

Группа Б03-105

10 октября 2022

Г. Долгопрудный

Аннотация

В работе исследован эффект Холла в металлах, таких как цинк и медь. Подтверждена линейная теоретическая зависимость ЭДС Холла от индукции магнитного поля. Экспериментально определена постоянная Холла для меди и цинка. Рассчитаны концентрации носителей тока, определена удельная проводимость и подвижность носителей тока для каждого из металлов.

Список обозначений и сокращений

\mathcal{E} – электродвижущая сила

I_M – ток через электромагнит

B – магнитная индукция

\mathcal{E}_x – ЭДС Холла

R_x – постоянная Холла

σ – удельная проводимость

b – подвижность носителей тока

n – концентрация носителей тока

Введение

Эффект Холла — это возникновение в электрическом проводнике разности потенциалов на краях образца, помещённого в поперечное магнитное поле, при протекании тока, перпендикулярного полю. В промышленности часто используются датчики, основанные на эффекте Холла, например датчики для измерения скорости вращения валов. Как следствие, возникает необходимость в точном определении напряжения Холла, так как от показаний таких датчиков, может существенно зависеть работоспособность всего механизма.

Методика измерений

Суть эффекта Холла заключается в следующем: пусть через металлическую пластинку изображённую на рисунке 1. вдоль оси x течёт ток величины I . Если данную пластинку поместить в магнитное поле, направленное вдоль оси y то между гранями А и Б пластинки появится разность потенциалов, называемая ε_x .

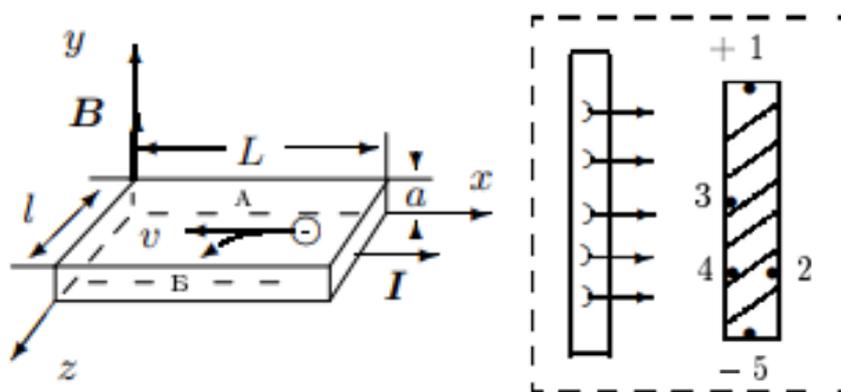


Рисунок 1. Металлическая пластинка с током в магнитном поле.

Зная, что сила тока текущая через пластинку равна:

$$I = ne|\langle v_x \rangle|la, (1)$$

Можем выразить ЭДС Холла, как:

$$\varepsilon_x = U_{AB} = -\frac{IB}{nea} = -R_x \cdot \frac{IB}{a} (2)$$

Константа R_x называется постоянной Холла. Она может быть найдена из зависимости ε_x от магнитной индукции поля B , как коэффициент наклона прямой.

Для того чтобы определить концентрацию носителей тока в исследуемом образце, можно воспользоваться соотношением:

$$n = \frac{1}{R_x e} (3)$$

В свою очередь проводимость металла из которого изготовлен образец может быть определена, как:

$$\sigma = \frac{Il_{34}}{U_{34}al} (4)$$

Проводимость и подвижность носителей тока связаны следующим соотношением:

$$b = \frac{\sigma}{en}(5)$$

Описание установки

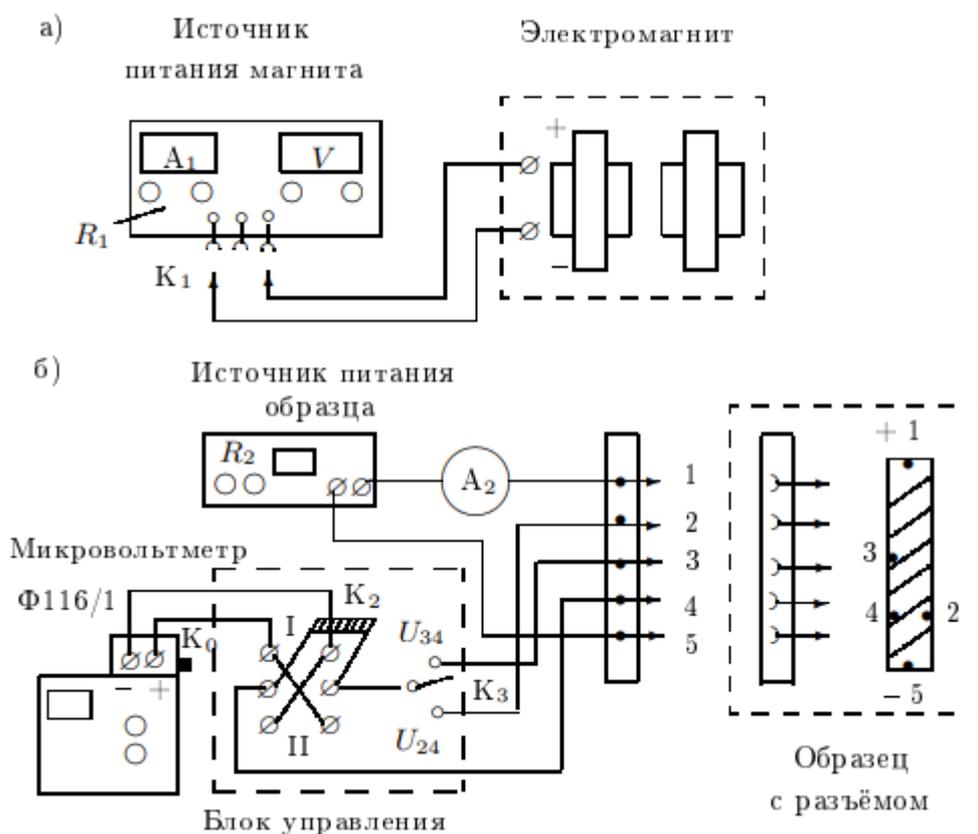


Рисунок 2. Схема лабораторной установки. (В правой рисунка схематично изображён образец с пронумерованными контактами.)

Лабораторная установка представляла собой электромагнит, в зазоре которого создавался постоянное магнитное поле, величину которого можно менять с помощью источника питания электромагнита. Ключ K_1 позволяет менять направление тока в обмотках электромагнита. Ток в обмотках измеряется амперметром A_1 . Металлические образцы в форме пластинок, подключаются к блоку питания через разъём. Ток через образец измеряется амперметром A_2 . Для измерения ЭДС Холла используется микровольтметр $\Phi 116/1$.

Для градуировки электромагнита использовался измеритель магнитной индукции Ш1-10.

Результаты измерений и обработка данных

Перед началом измерений была проведена градуировка, используемого электромагнита. Для этого измерялась зависимость магнитной индукции B от тока через электромагнит I_M . График данной зависимости представлен на рисунке ниже:

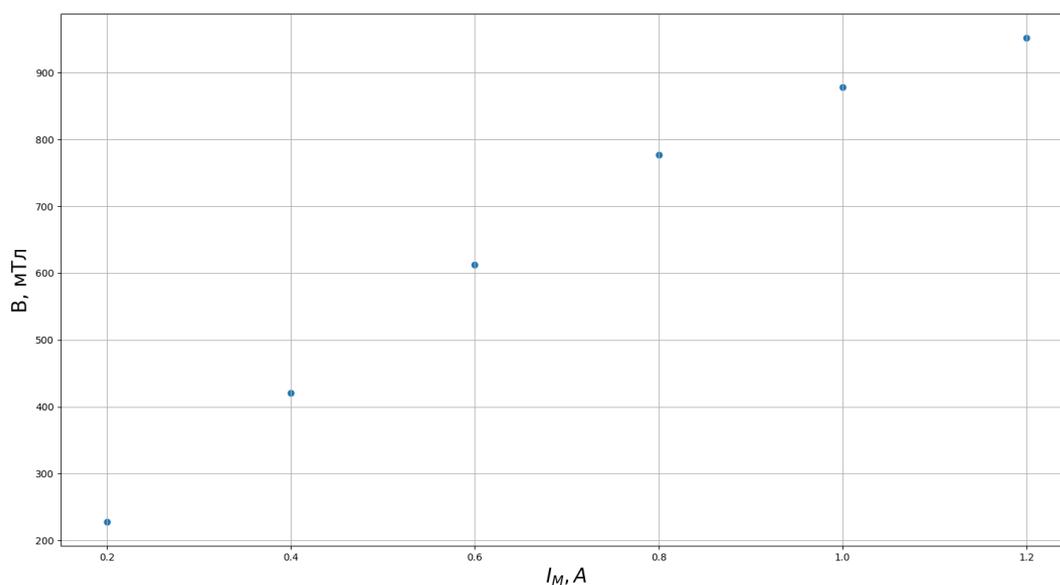


Рисунок 3. Зависимость магнитной индукции B от тока I_M через магнит, измеренная с помощью измерителя магнитной индукции ШИ-10. Ток через электромагнит изменялся в интервале 0,2–1,2 А.

Далее были проведены измерения зависимости напряжения U_{2-4} на концах 2–4 образца от тока I_M текущего через электромагнит. Ток через электромагнит менялся от 0,2 до 1,2 А с интервалом в 0,2 А. По полученным данным, был построен график зависимости ЭДС Холла ε_x от магнитной индукции B . Значения магнитной индукции при данных значениях силы тока, были подставлены с учётом ранее проведённой градуировки электромагнита.

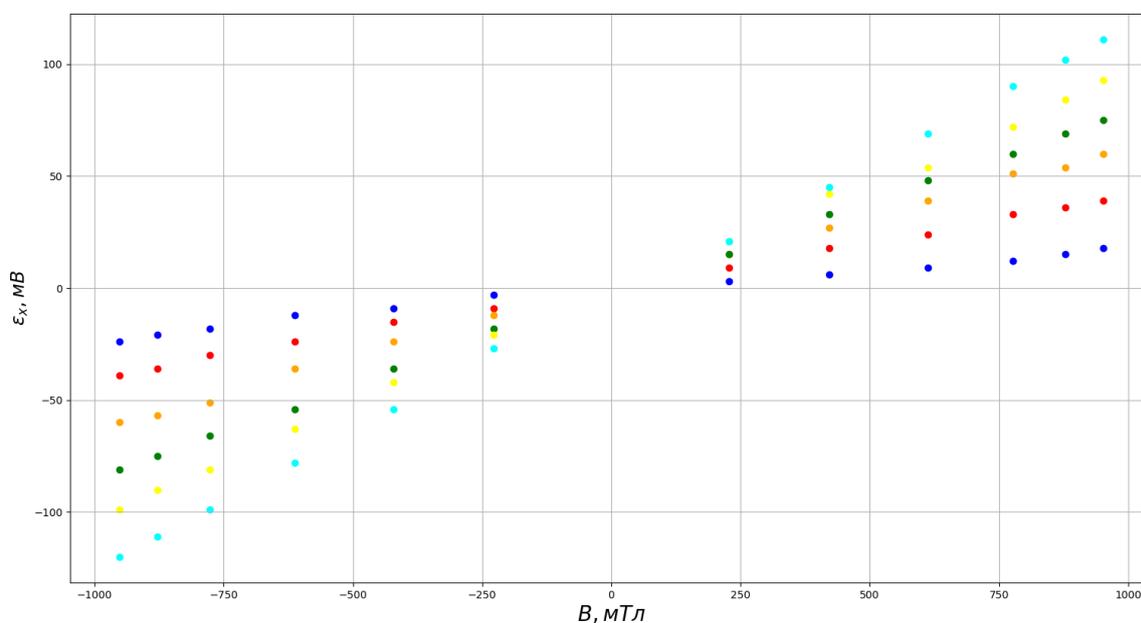


Рисунок 4. График зависимости ЭДС Холла ε_x в образце из меди от магнитной индукции B , при разных значения постоянного тока через образец. Ток через образец изменялся в интервале 0,2–1,2 А. с шагом 0,2 А.

Далее были определены угловые коэффициенты $K(I) = \Delta\varepsilon/\Delta B$ полученных прямых (Таблица 1.)

I, A	k
0,2	0,019
0,4	0,041
0,6	0,061
0,8	0,081
1,0	0,096
1,2	0,124

Таблица 1. Коэффициенты наклона прямых графика зависимости ЭДС Холла ε_x от магнитной индукции B , при разных значения постоянного тока через образец.

По данным Таблицы 1. был построен график зависимости коэффициента наклона прямой k от тока I_M текущего через электромагнит. (Рис 5.)

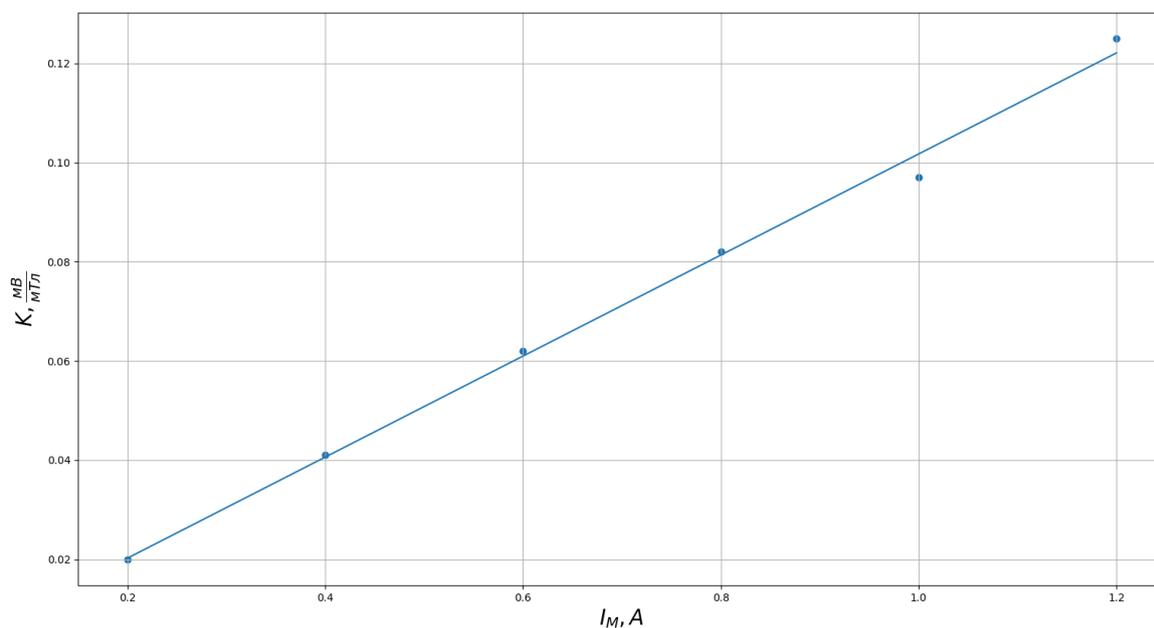


Рисунок 5. График зависимости коэффициента наклона прямой k от тока I_M текущего через электромагнит.

По угловому коэффициенту наклона прямой была определена постоянная Холла для цинка: $R_{x \text{ Медь}} = -0,50 \pm 0,03, 10^{-10} \text{ м}^3/\text{Кл}$.

Аналогичные измерения были проведены для цинка при фиксированном токе через электромагнит $I_M = 1 \text{ А}$. По полученным данным был построен графики зависимости ЭДС Холла ε_x в цинке от магнитной индукции B (Рис 6.)

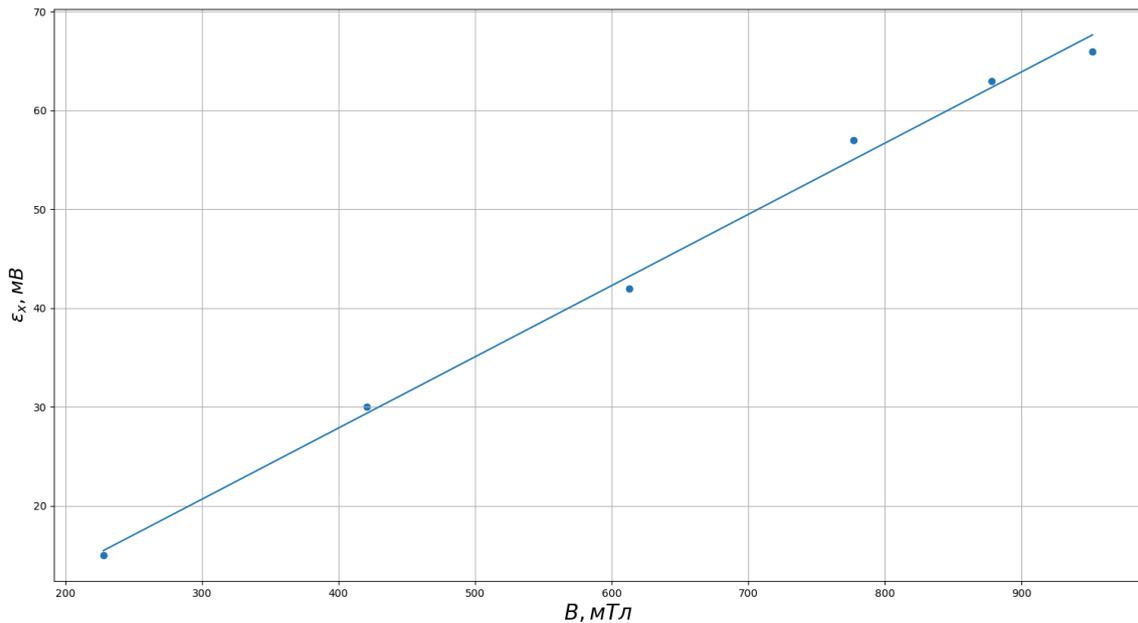


Рисунок 6. График зависимости ЭДС Холла ϵ_x в образце из цинка от магнитной индукции B , при разных значениях постоянного тока через образец, при фиксированном токе через электромагнит $I_M = 1$ А.

По угловому коэффициенту наклона прямой была определена постоянная Холла для цинка: $R_{x \text{ Цинк}} = 1,00 \pm 0,05, 10^{-10} \text{ м}^3/\text{Кл}$.

По формуле (3) были определены концентрации n носителей тока в образце из меди и цинка:

- $n_{\text{цинк}} = 1,25 \pm 0,07, 10^{29} \text{ м}^{-3}$
- $n_{\text{медь}} = 6,25 \pm 0,03, 10^{28} \text{ м}^{-3}$

По формуле (4) была определена удельная проводимость σ каждого из металлов:

- $\sigma_{\text{цинк}} = 250 \pm 14, (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$
- $\sigma_{\text{медь}} = 1000 \pm 58, (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$

По формуле (5) была определена подвижность носителей тока b каждого из металлов:

- $b_{\text{цинк}} = 20 \pm 1, \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$
- $b_{\text{медь}} = 30 \pm 2, \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$

Вывод

В ходе работы была получена линейная зависимость ЭДС Холла ϵ_x от величины индукции магнитного поля B , что согласуется с теоретической зависимостью. Были вычислены значения концентрации носителей тока, удельная проводимость и подвижность носителей тока для меди и цинка: $n_{\text{цинк}} = 1,25 \pm 0,07, n_{\text{медь}} = 6,25 \pm 0,03, 10^{28} \text{ м}^{-3}, \sigma_{\text{цинк}} = 250 \pm 14, \sigma_{\text{медь}} = 1000 \pm 58, (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}, b_{\text{цинк}} = 20 \pm 1, b_{\text{медь}} = 30 \pm 2, \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$. Знак постоянной Холла для цинка показывает, что он обладает дырчатым характером проводимости ($R_{x \text{ Цинк}} = 1,00 \pm 0,05, 10^{-10} \text{ м}^3/\text{Кл}$). В свою очередь было установлено, что медь обладает электронным характером проводимости ($R_{x \text{ Медь}} = -0,50 \pm 0,03, 10^{-10} \text{ м}^3/\text{Кл}$.)

Список литературы

- 1) Никулин. М.Г., Попов П.В., Нозик А.А. Лабораторный практикум по общей физике : учеб. пособие в трёх томах. Т. 2. Электричество и магнетизм. - 2-е изд. – М.: МФТИ, 2019. - 370 с.
- 2) Сивухин Д.В. Электричество. - 4-е изд. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 656 с.