

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА

**Методические указания к лабораторной работе № 56
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА

Методические указания к лабораторной работе № 56
по дисциплине «Физика»

Уфа 2016

Составитель В. Р. Строкина

УДК 537(07)

ББК 22.33я7

Изучение эффекта Холла: методические указания к лабораторной работе № 56 по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; сост. В. Р. Строкина. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2016. – 14 с.

Цель методических указаний – закрепление и совершенствование знаний студентов по дисциплине «Физика» и формирование у них умений и навыков применять эти знания для решения научно-технических задач в теоретических и прикладных аспектах, возникающих в последующей профессиональной деятельности.

В теоретической части методических указаний подробно рассмотрена теория эффекта Холла, в экспериментальной – приведена методика определения постоянной Холла и концентрации носителей тока.

Предназначены для студентов технических вузов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Электричество и магнетизм» на всех направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доц. Тучков С. В.,
канд. техн. наук, доц. каф. ТОЭ Медведева Л.С.

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2016

Содержание

Введение	4
1. Цели работы	5
2. Задачи	5
3. Теоретическая часть. Эффект Холла.....	5
4. Экспериментальная часть. Описание лабораторной установки	9
5. Требования по технике безопасности	10
6. Задания	11
7. Методика выполнения заданий	11
Контрольные вопросы	13
Требования к содержанию и оформлению отчета	13
Критерии результативности выполнения лабораторной работы	13
Список литературы	14

ВВЕДЕНИЕ

Кинематические явления, возникающие в твердых телах при совместном действии электрического и магнитного полей, называются гальваномагнитными явлениями. Эффект, открытый Э. Холлом в 1879 году и получившим его имя, наиболее изученное из этих гальваномагнитных явлений.

Практическую ценность эффекта Холла трудно переоценить. По измерению ЭДС Холла можно определить знак носителей тока в металлах и полупроводниках, рассчитать их концентрацию и подвижность. На основе эффекта работают датчики Холла. Эти датчики позволяют определить любую физическую величину, однозначно связанную с магнитным полем, например силу и плотность тока. Они применяются в приборах, измеряющих скорости, линейные и угловые перемещения объектов, индукцию и напряженность магнитного поля, мощность электрических машин, а так же в бесконтактных преобразователях постоянного тока в переменный, в вентильных электродвигателях, в воспроизводящих головках звукозаписи, в высокоэффективных цифровых устройствах.

В результате выполнения данной лабораторной работы у студентов формируются следующие компетенции:

- способность демонстрировать базовые знания по дисциплине «Физика» и готовность использовать их в будущей профессиональной деятельности;

- способность проводить эксперименты по заданной методике, обрабатывать результаты, оценивать их погрешность и достоверность.

Перечисленные компетенции формируются через умения:

- работать с измерительными приборами;
- рассчитывать физические величины по экспериментальным данным;
- анализировать результаты экспериментов;
- оформлять отчет;
а также владения:
 - теоретическим материалом;
 - навыками измерения физических величин с помощью приборов;
 - технологией обработки экспериментальных данных.

Лабораторная работа № 56

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА

1. ЦЕЛИ РАБОТЫ

1. Изучение эффекта Холла.
2. Экспериментальное изучение зависимости холловской разности потенциалов от величины силы тока в датчике Холла.
3. Определение постоянной Холла и концентрации носителей тока.

2. ЗАДАЧИ

1. Усвоение студентами темы «Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях».
2. Приобретение навыков правильной эксплуатации электроизмерительных приборов и оборудования физической лаборатории, получение экспериментальных функциональных зависимостей между физическими величинами.
3. Освоение одного из методов обработки экспериментальных данных и определение постоянной Холла и концентрации носителей тока.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Эффект Холла

Э. Холл в 1879 году провел эксперимент, в котором пропускал постоянный ток плотностью j через пластинку, изготовленную из золота, и измерял разность потенциалов $\Delta\varphi$ между противоположными точками A и C на ее верхней и нижней гранях (рис. 3.1). Как и следовало ожидать, разность потенциалов между этими точками оказалась равной нулю, так как они находятся на одной эквипотенциальной поверхности, перпендикулярной направлению вектора напряженности электрического поля \vec{E}_0 ,

$$\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B = 0. \quad (3.1)$$

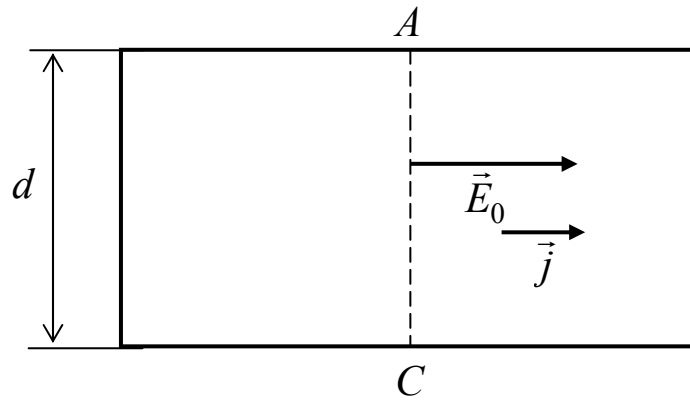


Рис. 3.1

При перемещении пластинки с током в однородное магнитное поле, перпендикулярное ее боковым граням, потенциалы точек A и C стали разными (рис. 3.2). Это явление получило название эффекта Холла. Было установлено, что разность потенциалов $\Delta\varphi$ между точками A и C пропорциональна плотности тока j , индукции магнитного поля B и ширине пластинки d , т.е.

$$u_H = \Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_C = R j B d, \quad (3.2)$$

где R – постоянная Холла.

Дальнейшие исследования показали, что эффект Холла наблюдается во всех проводниках и полупроводниках. Изменение направления тока или магнитного поля на противоположное вызывает изменение знака разности потенциалов $\Delta\varphi$. Числовое значение постоянной Холла R зависит от материала пластинки, причем этот коэффициент для одних веществ положителен, а для других – отрицателен.

Эффект Холла объясняется следующим образом. Ток в пластинке обусловлен упорядоченным движением частиц – носителей зарядов q . Если их концентрация n_0 , а средняя скорость их упорядоченного движения \vec{v} , то плотность тока равна

$$\vec{j} = q \vec{v} n_0. \quad (3.3)$$

Если заряд частиц, образующих ток, $q > 0$, то их скорость \vec{v} совпадает с направлением тока, если же заряд $q < 0$, то скорость частиц \vec{v} противоположна направлению вектора \vec{j} .

На частицу, движущуюся в магнитном поле с индукцией \vec{B} , действует магнитная составляющая силы Лоренца $\vec{F}_M = q [\vec{v} \cdot \vec{B}]$.

При указанных на рис. 3.2 направлениях тока в пластинке, вектора \vec{B} и знака заряда q сила \vec{F}_M направлена вверх.

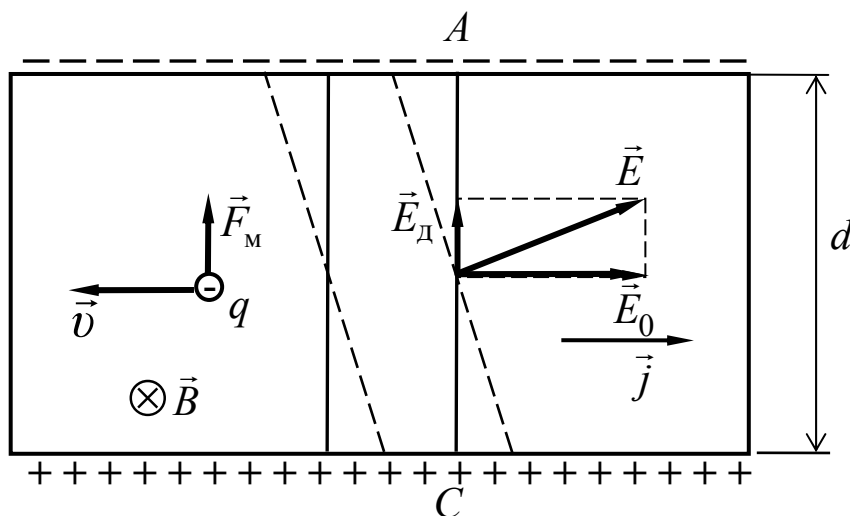


Рис. 3.2

Под действием силы F_M частицы отклоняются к верхней грани пластинки, так что на верхней грани возникает избыток отрицательных зарядов, а на нижней – избыток зарядов противоположного знака. В результате этого возникает дополнительное поперечное электрическое поле \vec{E}_d . Сила $\vec{F}_e = q \vec{E}_d$, действующая со стороны поперечного электрического поля на заряд q , направлена в сторону, противоположную силе \vec{F}_M . В случае установившегося стационарного распределения зарядов в поперечном направлении полная сила Лоренца, действующая на заряд q , равна нулю

$$q \vec{E}_d + q [\vec{v} \cdot \vec{B}] = 0. \quad (3.4)$$

В скалярном виде уравнение (3.4) имеет вид

$$q E_d - q v B = 0. \quad (3.5)$$

Отсюда

$$E_d = v B. \quad (3.6)$$

Поле \vec{E}_d складывается с полем \vec{E}_0 в результирующее поле \vec{E} . Эквипотенциальные поверхности всегда перпендикулярны вектору напряженности электрического поля. Следовательно, они поворачиваются и занимают положение, изображенное на рис. 3.2 пунктиром. Точки A и C , которые прежде лежали на одной эквипотенциальной поверхности, теперь находятся на разных

потенциальных поверхностях, и имеют разные потенциалы. Разность потенциалов между этими точками равна

$$u_H = \Delta\varphi = d E_d = d v B. \quad (3.7)$$

Из уравнения 3.3 следует, что

$$v = \frac{j}{n_0 q}. \quad (3.8)$$

Следовательно,

$$u_H = \frac{1}{n_0 q} j B d. \quad (3.9)$$

Таким образом, полученный результат совпадает с экспериментальной формулой (3.2). Из сравнения (3.2) и (3.9) следует, что постоянная Холла равна

$$R = \frac{1}{n_0 q}. \quad (3.10)$$

Знак разности потенциалов, а, следовательно, и постоянной Холла совпадает со знаком заряда q частиц, обуславливающих проводимость данного материала. На рис. 3.3 сопоставлен эффект Холла для образцов с положительными и отрицательными носителями.

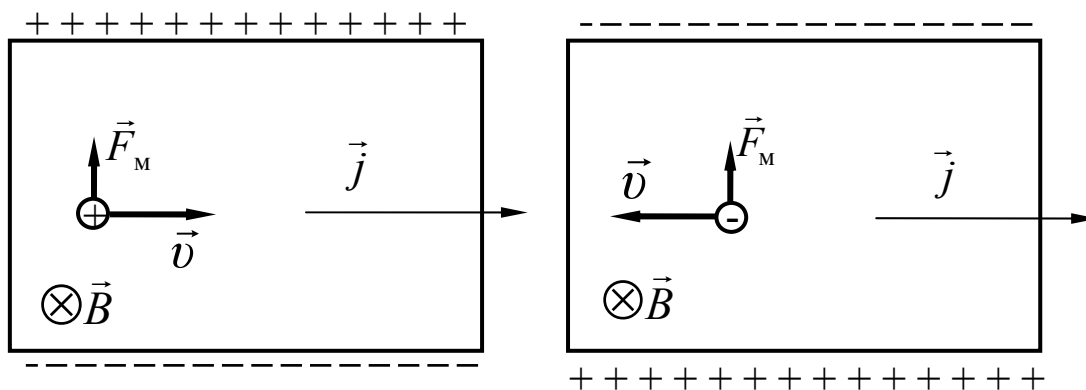


Рис. 3.3

Направление силы Лоренца изменяется на противоположное как при изменении направления движения заряда, так и при изменении его знака. Из рис. 3.3 видно, что при одинаковом направлении тока и магнитного поля сила Лоренца, действующая на положительные и отрицательные носители, имеет одинаковое направление, поэтому в случае положительных носителей потенциал верхней грани выше, чем нижней, а в случае отрицательных носителей – ниже. Таким

образом, определив знак разности потенциалов, можно установить знак носителей тока. Значение постоянной Холла позволяет определить концентрацию носителей заряда, если характер проводимости и их заряд известны.

Поскольку носителями заряда в металлах являются электроны, то знак постоянной Холла, казалось бы, должен у всех металлов быть отрицательным. Эксперимент показывает, что это утверждение справедливо для таких металлов как Na, K, Cs, Cu, Ag, Au и др. В таких металлах как Be, Cd, Zn наблюдается дырочная проводимость и постоянная Холла положительна. Объяснение этой аномалии дает квантовая теория.

При изучении эффекта Холла в полупроводниках следует учитывать, что последние обладают двумя видами проводимости – электронной и дырочной. Однако в случае, когда основную роль играют носители заряда одного знака, постоянную Холла можно вычислить по формуле

$$R = \pm \frac{3\pi}{8n_0q}. \quad (3.11)$$

Знак «+» соответствует положительным, а знак «-» отрицательным носителям заряда. При этом концентрация носителей заряда может быть рассчитана в соответствии с уравнением (3.11)

$$n_0 = \frac{3\pi}{8qR}. \quad (3.12)$$

Приведенные выше формулы не учитывают распределения носителей заряда по скоростям и получены из предположения, что все носители заряда в металлах и полупроводниках обладают одинаковыми скоростями.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Описание лабораторной установки

Изучение эффекта Холла в данной работе производится с помощью датчика Холла, представляющего собой тонкую прямоугольную пластинку из полупроводникового материала InSb. Схема лабораторной установки представлена на рис. 4.1.

Лабораторная установка включается в сеть с помощью ключа K_2 .

Часть «А» предназначена для питания соленоида С. Ключ K_1 позволяет включать ток в соленоиде. Изменение силы тока, протекающего через соленоид, производится с помощью

переключателя R_1 , меняющего сопротивление реостата, измерения этого тока осуществляется амперметром A_1 .

Часть «Б» схемы предназначена для питания датчика Холла Д. Включения, измерения и изменения величины и направления силы тока I_D производится с помощью ключа K_3 , амперметра A_2 , реостата R_2 . Разность потенциалов Холла определяется с помощью универсального цифрового вольтметра В-7-40/4.

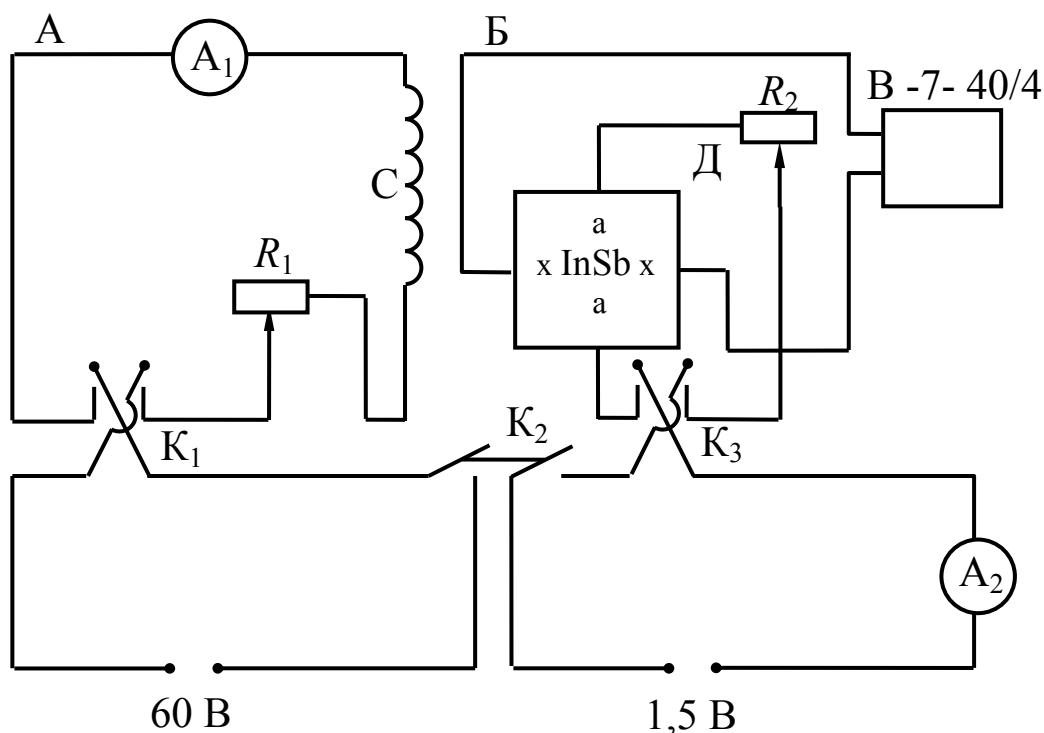


Рис. 4.1

Для включения вольтметра В -7- 40/4 необходимо:

- перевести тумблер «СЕТЬ» на передней панели вольтметра в положение «ВКЛ»;
- нажать клавишу РОД РАБОТЫ U «-», соответствующую измерению напряжения;
- нажать клавишу «АВП», соответствующую автоматическому выбору пределов измерения.

5. ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении работы необходимо:

1. Внимательно ознакомиться с заданием и лабораторной установкой.
2. Проверить заземление установки и изоляцию токоведущих проводов, о замеченных неисправностях немедленно сообщить преподавателю.

3. Не загромождать рабочее место посторонними предметами.

4. Не оставлять без присмотра работающую лабораторную установку.

5. По окончании работы выключить вольтметр, лабораторную установку, затем стенд отключить от сети и привести в порядок свое рабочее место.

6. ЗАДАНИЯ

1. Измерить холловскую разность потенциалов u_H в зависимости от величины силы тока I_d в датчике Холла.

2. Построить зависимость $u_H = f(I_d)$.

3. Проанализировать построенный график и сделать вывод о характере зависимости между этими величинами.

4. Рассчитать постоянную Холла для каждого из измеренных значений u_H и найти ее среднее значение.

5. Рассчитать среднее значение концентрации носителей тока в исследуемом полупроводнике, используя среднее значение постоянной Холла.

6. Определить абсолютную и относительную погрешности величин постоянной Холла и концентрации носителей тока.

7. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

1. Включить лабораторный стенд в сеть.

2. Установить ключи K_1 и K_2 в среднее положение, а галетный переключатель R_1 и реостат R_2 повернуть до упора против часовой стрелки.

3. С помощью ключа K_2 подключить к питанию части «А» и «В» лабораторной установки.

4. Включить ток в соленоиде, переведя ключ K_1 в верхнее положение. Ток в соленоиде включать только на время измерений. С помощью переключателя R_1 установить величину силы тока I_c , протекающего через соленоид, равную 1,3 А.

5. Включить ток в цепи датчика Холла, переведя ключ K_3 в верхнее положение.

6. Включить цифровой вольтметр В - 7 - 40/4.

7. Изменяя с помощью реостата R_2 величину тока, протекающего через датчик, сделать пять измерений величины

разности потенциалов. При этом охватить весь возможный диапазон изменений силы тока I_d .

8. Отключить установку от сети, переключатель R_1 и реостат R_2 повернуть до упора против часовой стрелки, ключи K_1 и K_3 установить в среднее положение, ключ K_2 перевести в нерабочее положение.

9. Построить график зависимости $u_H = f(I_d)$.

10. Проанализировать построенный график и сделать вывод о характере зависимости разности потенциалов от величины силы тока I_d в датчике Холла.

11. Для каждого из измеренных значений u_H , используя уравнение

$$R = \frac{u_H}{j B d} = \frac{u_H d^2}{j S B d} = \frac{u_H d}{I_d B}, \quad (7.1)$$

рассчитать значение постоянной Холла. Величину магнитной индукции определить по формуле

$$B = B_0 + k I_c, \quad (7.2)$$

где $B_0 = (1,6940 \pm 0,0005)10^{-4}$ Тл, $k = (1,3000 \pm 0,0005)10^{-2}$ Тл/А, $d = (0,180 \pm 0,005)10^{-3}$ м.

12. Найти среднее значение постоянной Холла R .

13. Используя формулу (3.12) и среднее значение постоянной Холла, определить среднюю концентрацию носителей заряда n_0 в исследуемом полупроводнике.

14. Вывести формулы для расчета абсолютной и относительной погрешностей определения постоянной Холла и концентрации носителей тока.

15. Оценить абсолютную и относительную погрешности определения постоянной Холла и концентрации носителей тока.

16. Результаты занести в табл.

Таблица

n/n	$I_c,$ А	$B,$ Тл	$I_d,$ А	$R,$ м ³ /Кл	$R_{cp},$ м ³ /Кл	$\Delta R_{cp}/R_{cp}$	$\Delta R,$ м ³ /Кл	$n_0,$ м ⁻³	$\Delta n_0/n_0$	$\Delta n_0,$ м ⁻³

Контрольные вопросы

1. В чем суть эффекта Холла?
2. Какие носители заряда обеспечивают электропроводность металлов (полупроводников)? Как с помощью эффекта Холла определить знак носителей заряда?
3. Почему при внесении пластинки с током в магнитное поле меняется положение эквипотенциальных поверхностей?
4. Какие факторы определяют величину разности потенциалов Холла?
5. Чему равна полная сила Лоренца в случае установившегося стационарного распределения зарядов в пластинке?
6. Чему равна постоянная Холла? От чего зависит знак постоянной Холла?
7. Каково практическое применение эффекта Холла?

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет должен содержать:

1. Номер, название и цель работы.
2. Краткий конспект теоретической части, включая расчетные формулы.
3. Схематическое описание лабораторной установки и метода измерений.
4. Таблицу с результатами измерений. Расчеты вычислений R и n_0 должны быть приведены в отчете.
5. График зависимости $u_H = f(I_D)$ на миллиметровой бумаге.
6. Формулы для расчета абсолютной и относительной погрешности, постоянной Холла и концентрации носителей тока.
7. Вывод по результатам работы.

Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- усвоил основные закономерности движения заряженных частиц в электрических и магнитных полях, понял суть эффекта Холла;
- правильно выполнил экспериментальную часть работы;
- правильно построил и проанализировал график зависимости величины холловской разности потенциалов от тока в датчике Холла;

- правильно выполнил вычисления и получил достоверные значения постоянной Холла и концентрации носителей заряда в исследуемом полупроводнике;

- правильно оценил абсолютную и относительную погрешности измерений;

- составил отчет, соответствующий предъявляемым к нему требованиям;

- сформулировал выводы о проделанной работе;

- подготовил ответы на все контрольные вопросы.

Список литературы

1. *Савельев И. В.* Курс общей физики. Т. 2. – КноРус, 2012.

2. *Детлаф А. Н., Яворский В. М.* Курс физики. – М.: Academia, 2012.

3. *Трофимова Т. Н.* Курс физики. – М.: Высшая школа, 2015.

Составитель СТРОКИНА Венера Рамазановна

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА

Методические указания к лабораторной работе № 56
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2016. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 1,0. Уч-изд. л. 0,9. Тираж 100 экз. Заказ №
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный
технический университет»
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12