



**ФИЗИКА. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА**

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э-02  
ЭФФЕКТ ХОЛЛА**

КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ  
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ  
УСТАНОВКИ

МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА  
СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э-02  
ЭФФЕКТ ХОЛЛА**



## ФИЗИКА. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э-02 ЭФФЕКТ ХОЛЛА

#### КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

#### СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

#### МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

## КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Цель работы:** сформулировать гипотезу исследования, определить концентрацию и подвижности носителей заряда в полупроводниках на основании измерений эффекта Холла.

**Приборы и принадлежности:** образец арсенида галлия, электромагнит ЭМ-1, источник постоянного тока, вольтметр.

Одним из наиболее удобных методов изучения полупроводников является эффект Холла. Эффект состоит в возникновении на боковых гранях элемента с током, помещенного в поперечное магнитное поле, разности потенциалов  $\Delta\varphi_H$ , пропорциональной величине тока  $I$  и индукции магнитного поля  $B$ :

$$\Delta\varphi_H = \frac{R_H BI}{d}, \quad (1)$$

где  $d$  – толщина образца (рис. 1).

Величина  $R_H$  называется постоянной, или коэффициентом Холла.

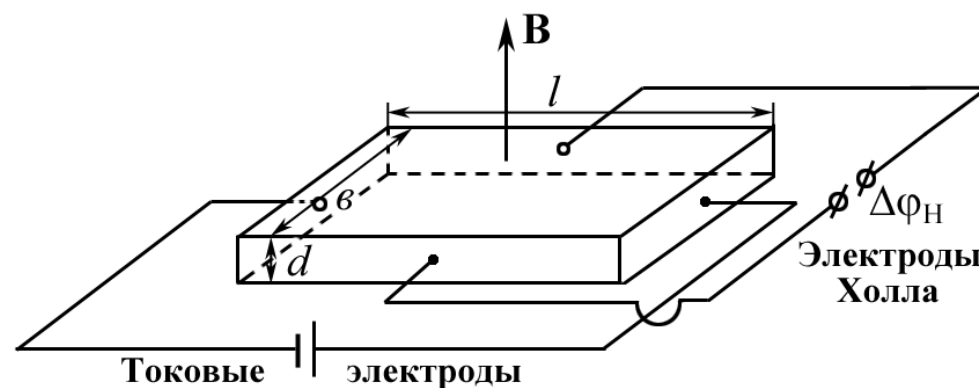


Рис. 1

Эффект Холла обусловлен взаимодействием носителей заряда (электронов проводимости и дырок) с магнитным полем. В магнитном поле на электрон действует



## ФИЗИКА. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э-02 ЭФФЕКТ ХОЛЛА

#### КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

#### СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

#### МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

магнитная сила  $\mathbf{F} = e[\mathbf{B}, \mathbf{v}]$ , на положительные заряды  $\mathbf{F} = q[\mathbf{B}, \mathbf{v}]$  ( $\mathbf{v} = \mathbf{j} / ne$  – средняя скорость направленного движения носителей в электрическом поле;  $n$  – концентрация носителей;  $e, q$  – заряды), под действием которой частицы отклоняются в направлении, перпендикулярном  $\mathbf{j}$  и  $\mathbf{B}$  (рис. 2).

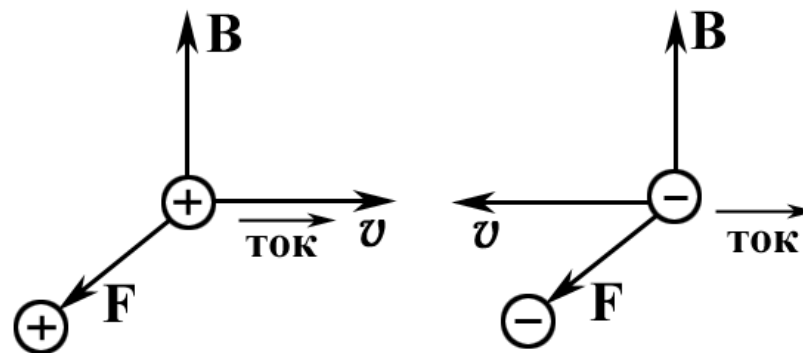


Рис. 2

В результате на боковой грани пластины происходит накопление зарядов и возникает поле Холла  $E_H = \frac{\Delta\varphi_H}{l}$ . При одном и том же направлении тока (рис. 2) на передней грани (ближе к нам) накапливаются разные по знаку заряды в зависимости от типа носителей.

Постоянная Холла равна  $R_H = 1/ne$  [м<sup>3</sup>/Кл].  $R$  можно выразить через подвижность носителей заряда  $\mu = v / E$  или  $\mu = \sigma R_H$ , где  $\sigma$  – проводимость образца (проводимость арсенида галлия).



## ФИЗИКА. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э-02

#### ЭФФЕКТ ХОЛЛА

#### КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

#### СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

#### МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

## СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема опыта по наблюдению эффекта Холла приведена на рис. 1.

Образец (тонкая пластинка  $d = 5 \cdot 10^{-4}$  м) помещается в магнитном поле. Магнитное поле создает специально созданный электромагнит. В зависимости от тока (напряжения), пропускаемого через обмотку электромагнита, напряженность магнитного поля изменяется в пределах  $(1,5 \div 4,5) \cdot 10^4$  А/м. Проводимость образца арсенида галлия равна  $\sigma = 23,5 \cdot 10^3 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ ; интенсивность тока, пропускаемого через образец, изменяют от 0,5 до 1 А. Разность потенциалов  $\Delta\varphi_H$  измеряют цифровым вольтметром с большим входным сопротивлением.

Постоянная Холла равна

$$R_H = \frac{\Delta\varphi_H \cdot d}{I_H \cdot \mu_H}. \quad (2)$$

Концентрация носителей  $n$

$$n = \frac{1}{R_H \cdot e}, \quad (3)$$

где  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.



## ФИЗИКА. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э-02 ЭФФЕКТ ХОЛЛА

#### КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

#### СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

#### МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

#### СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

## МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Ознакомиться с приборами лабораторной установки, изучить их передние панели (рис. 3).
2. Включить источник питания электромагнита, установить ток 600 мА и напряжение 20 В.
3. Включить источник для подачи тока на образец Холла и установить напряжение на нем 2 В.
4. Провести измерения  $\Delta\varphi_H$  при напряжениях питания электромагнита 20, 50, 90 В и при токах через образец  $I_H = 0,5; 0,7; 0,9$  А. Результаты измерений занести в табл. 1.

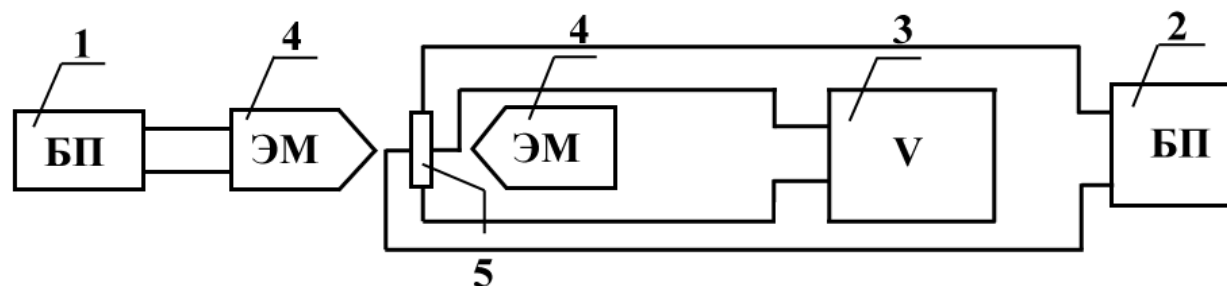


Рис. 3

***В процессе выполнения работы значение тока через электромагнит и напряжение на образце Холла не менять!***

На рис. 3: 1 – блок питания электромагнита; 2 – блок питания для пропускания тока через образец; 3 – вольтметр; 4 – полюса электромагнита; 5 – образец из арсенида галлия.



## ФИЗИКА. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э-02

#### ЭФФЕКТ ХОЛЛА

#### КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

#### СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

#### МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

#### СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1

$U_{\text{э.м.}}, \text{В}$	$I_{\text{H}}, \text{А}$		
	0,5	0,7	0,9
	$\Delta\varphi_{\text{H}}, \text{В}$		
20			
50			
90			

5. По графику  $H = f(U_{\text{э.м.}})$  (рис. 4) определить значения напряженности магнитного поля  $H$  для напряжений источника питания электромагнита 20, 50, 90 В. Данные занести в табл. 2.

Таблица 2

$U_{\text{э.м.}}, \text{В}$	$H, \text{кА/м}$
20	
50	
90	



## ФИЗИКА. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э-02

#### ЭФФЕКТ ХОЛЛА

#### КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

#### СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ

#### УСТАНОВКИ

#### МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

#### СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

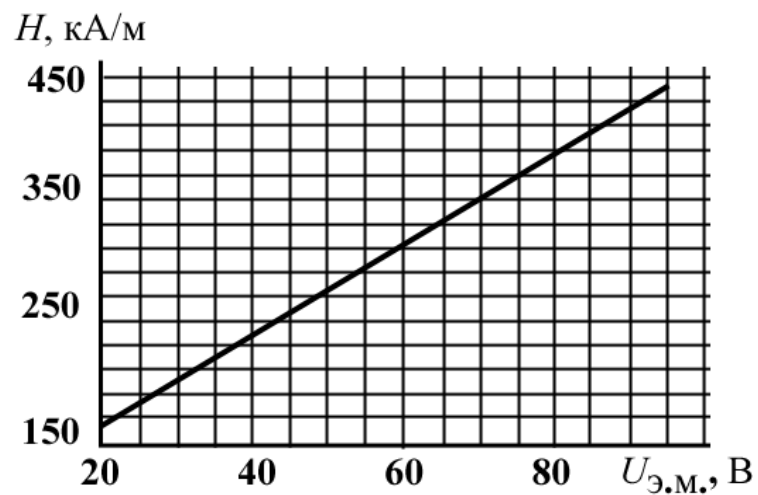


Рис. 4

6. По формуле (2) рассчитать значения  $R_H$  для всех режимов измерения и определить его среднее значение. Данные занести в табл. 3.

Таблица 3

$U_{\text{Э.м.}}, \text{В}$	$I_H, \text{А}$		
	0,5	0,7	0,9
	$R_H, \text{м}^3/\text{Кл}$		
20			
50			
90			
$(R_H)_{\text{ср}}, \text{м}^3/\text{Кл}$			



**ФИЗИКА. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА**

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э-02  
ЭФФЕКТ ХОЛЛА**

**КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ  
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ  
УСТАНОВКИ**

**МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА**

**СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ**

7. Рассчитать концентрацию носителей заряда  $n$  в образце арсенида галлия.

8. По формуле  $\mu = \sigma \cdot R_H$  определить подвижность носителей заряда в арсениде галлия, если известно, что  $\sigma = 2,35 \cdot 10^4 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ . Сравнить полученное значение  $\mu$  с табличным для подвижностей носителей заряда в различных материалах и средах. Сделать выводы.

9. Рассчитать погрешность определения  $R_H$ . Сделать общие выводы.





## ФИЗИКА. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э-02  
ЭФФЕКТ ХОЛЛА

КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ  
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ  
УСТАНОВКИ

МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

### СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1

### Основные физические константы

Гравитационная постоянная	$G = (6,6720 \pm 0,1141) \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$
Молярная газовая постоянная	$R = (8,31441 \pm 0,00070) \cdot 10^{-3} \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$
Постоянная Авогадро	$N_A = (6,022045 \pm 0,000031) \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$K = R/N_A = (1,380662 \pm 0,000044) \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Масса покоя электрона	$m_e = (9,109534 \pm 0,000047) \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса покоя протона	$m_p = (1,6726485 \pm 0,0000086) \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя нейтрона	$m_n = (1,6749543 \pm 0,0000086) \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Заряд электрона	$e = (1,6021892 \pm 0,0000046) \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Отношение заряда электрона к его массе	$e/m_e = (1,7588047 \pm 0,0000049) \cdot 10^{11} \text{ Кл} \cdot \text{кг}^{-1}$
Постоянная Фарадея	$F = (9,648456 \pm 0,000027) \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1}$
Скорость света в вакууме	$C = (2,997924580 \pm 0,000000012) \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}$



# ФИЗИКА. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э-02

ЭФФЕКТ ХОЛЛА

КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ

УСТАНОВКИ

МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

**СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ**

Таблица 2

## Удельное сопротивление проводников и изоляторов

Проводники	Удельное сопротивление (при 20 °С) $\rho$ , МОм·м	Температурный коэффициент сопротивления $\alpha$ , $^{\circ}\text{K}^{-1}$	Изоляторы	Удельное сопротивление $\rho$ , Ом·м
Алюминий	25	4,5	Бумага	$10^{10}$
Вольфрам	50	4,8	Парафин	$10^{15}$
Железо	90	6,5	Слюда	$10^{13}$
Золото	20	4,0	Фарфор	$10^{13}$
Медь	16	4,3	Шеллак	$10^{14}$
Свинец	190	4,2	Эбонит	$10^{14}$
Серебро	15	4,1	Янтарь	$10^{17}$

Таблица 3

## Работа выхода электрона из металлов

Металл	A, эВ	Металл	A, эВ	Металл	A, эВ
Алюминий	3,74	Калий	2,15	Никель	4,84
Барий	2,29	Кобальт	4,25	Платина	5,29
Висмут	4,62	Литий	2,39	Серебро	4,28
Вольфрам	4,50	Медь	4,47	Титан	3,92
Железо	4,36	Молибден	4,27	Цезий	1,89
Золото	4,58	Натрий	2,27	Цинк	3,74



## ФИЗИКА. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э-02 ЭФФЕКТ ХОЛЛА

#### КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

#### СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

#### МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

#### СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 4

#### Диэлектрические проницаемости

Диэлектрик	$\epsilon$	Диэлектрик	$\epsilon$
Вода	81	Полиэтилен	2,3
Воздух	1,00058	Слюда	7,5
Воск	7,8	Спирт	26
Керосин	2,0	Стекло	6,0
Парафин	2,0	Фарфор	6,0
Плексиглас	3,5	Эбонит	2,7

Таблица 5

#### Подвижность ионов в электролитах ( $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ )

$\text{NO}_3^-$	$6,4 \cdot 10^{-8}$
$\text{Ag}^+$	$5,6 \cdot 10^{-8}$
$\text{Cl}^-$	$6,8 \cdot 10^{-8}$
$\text{H}^+$	$3,3 \cdot 10^{-8}$
$\text{K}^+$	$6,7 \cdot 10^{-8}$



Возврат  
из справки

# УПРАВЛЕНИЕ ПРОСМОТРОМ ДОКУМЕНТА

## КЛАВИАТУРА

Home

Нажатие клавиши «**Home**» на клавиатуре вызывает переход к **титульной странице** документа.  
**С титульной страницы можно осуществить переход к оглавлению** (в локальной версии курса).

PgUp



Нажатие клавиши «**PgUp**» («**PageUp**») или показанных клавиш со стрелками на клавиатуре вызывает переход к просмотру **предыдущей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

PgDn



Нажатие клавиши «**PgDn**» («**PageDown**») или показанных клавиш со стрелками на клавиатуре вызывает переход к просмотру **следующей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

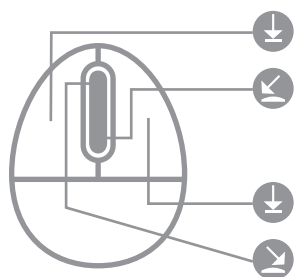
Alt

+

F4

Нажатие комбинации клавиш «**Alt**»+«**F4**» на клавиатуре вызывает **завершение работы программы просмотра** документа (в локальной версии курса).

## МАНИПУЛЯТОР «МЫШЬ»



Нажатие **левой клавиши** «мыши» или вращение **колёсика** в направлении «**от себя**» вызывает переход к просмотру **следующей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

Нажатие **правой клавиши** «мыши» или вращение **колёсика** в направлении «**к себе**» вызывает переход к просмотру **предыдущей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

## ПАНЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

### ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

#### 1. ПРОМЫШЛЕННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ПО

- 1.1. Основные понятия
- 1.2. Особенности промышленного ПО и кризис его разработки
- 1.3. Сложность разработки ПО
- 1.4. Характеристики программного продукта
- 1.5. Жизненный цикл программного продукта
- 1.6. Процессы разработки
- 1.7. Модели разработки
- 1.8. Методологии разработки
  - 1.8.1. Единая система программной документации
  - 1.8.2. Microsoft Solutions Framework
  - 1.8.3. Экстремальное программирование
  - 1.8.4. Rational Unified Process
- 1.9. Выбор и адаптация методологии разработки
- Глоссарий

**Панель управления** – содержит перечень разделов, а также кнопки навигации, управления программой просмотра и вызова функции поиска по тексту.

Просматриваемый в данный момент **раздел**.

**Доступные разделы.**

В зависимости от текущего активного раздела в перечне могут присутствовать подразделы этого раздела.



Кнопка переключения между полноэкранным и оконным **режимом просмотра**.

Кнопки **последовательного перехода** к предыдущей и следующей страницам.

Кнопка **возврата к предыдущему виду**. Используйте её для обратного перехода из глоссария.

Кнопка вызова функции **поиска по тексту**.

Кнопка перехода к **справочной (этой) странице**.

Кнопка **завершения работы**.