



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

## **ПРАКТИКУМ**

Лабораторная работа № Э11  
Экспериментальное исследование силы  
Ампера

**«Физика»**

Авторы  
Осипенко И.А.,  
Попова И.Г.,  
Шкиль Т.В.

Ростов-на-Дону, 2025

## Аннотация

Практикум предназначен для студентов всех форм обучений и всех направлений, изучающих физику.

## Авторы

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»  
Осипенко И.А.

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»  
Попова И.Г.

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»  
Шкиль Т.В.



## Оглавление

Краткая теория.....	4
Описание установки.....	6
Вывод рабочей формулы.....	7
Порядок выполнения работы.....	8
Контрольные вопросы.....	10
Список литературы.....	11
Правила техники безопасности.....	11

## КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Цель работы: экспериментальное исследование силы Ампера и определение индукции магнитного поля.

Оборудование: электромагнит; набор проводящих рамок; металлическая лента со штепсельными вилками; соединительные проводники; источник питания универсальный; выпрямитель; весы; универсальный штатив.

*Магнитное поле* – это форма материи, окружающей движущиеся электрические заряды, проводники с током и намагниченные тела. Силовую характеристику магнитного поля называют индукцией магнитного поля  $\vec{B}$ .

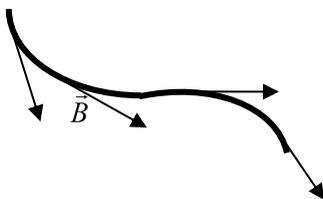


Рис. 1

Графически магнитное поле принято изображать с помощью линий магнитной индукции. *Линии магнитной индукции (силовые линии магнитного поля)* – воображаемые линии, в каждой точке которой вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  направлен по касательной (рис. 1).

Линии индукции магнитного поля всегда замкнуты, т. е. не имеют ни начала, ни конца и всегда охватывают проводники с током; условно они выходят из северного полюса магнита и входят в южный. Замкнутость линий индукции свидетельствует об отсутствии в природе магнитных зарядов. Поле, силовые линии которого всегда замкнуты, называется *вихревым*.

Магнитное поле называется *однородным*, если вектор индукции  $\vec{B}$  во всех точках поля одинаков по модулю и направлению.

Для магнитного поля справедлив *принцип суперпозиции*: вектор индукции  $\vec{B}$  магнитного поля, порождаемого несколькими движущимися зарядами (или токами), равен векторной сумме векторов индукции  $\vec{B}_i$  полей, порождаемых каждым зарядом (током) в отдельности:

$$\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i.$$

Магнитное поле действует с силой на движущиеся электрические заряды, проводники с током, намагниченные тела.

Сила, с которой магнитное поле действует на элемент проводника  $d\vec{\ell}$  с током  $I$ , находящегося в магнитном поле, определяется законом Ампера.

*Закон Ампера:* сила  $d\vec{F}_A$ , с которой магнитное поле действует на элемент проводника  $d\vec{\ell}$  с током  $I$ , находящегося в магнитном поле, прямо

пропорциональна силе тока  $I$  и векторному произведению элемента  $d\vec{\ell}$  на магнитную индукцию  $\vec{B}$ ,

$$d\vec{F}_A = I[d\vec{\ell}, \vec{B}]; \quad dF = Bldl \sin \alpha .$$

Направление силы Ампера можно определить по *правилу левой руки*: если ладонь левой руки расположить так, чтобы линии магнитной индукции входили в неё, а четыре вытянутых пальца направить по току, то отогнутый большой палец укажет направление силы.

Для прямолинейного проводника длиной  $\ell$  с постоянным током  $I$ , помещённого в однородное магнитное поле индукции  $B$ , сила Ампера выражается формулой:

$$F_A = BI\ell \sin \alpha ,$$

где  $\alpha$  – угол между направлением тока и вектором  $\vec{B}$ .

**Индукция магнитного поля** – физическая векторная величина, численно равная силе, действующей в однородном магнитном поле на проводник единичной длины с единичной силой тока, расположенный перпендикулярно линиям индукции:

$$B = \frac{F_A}{I \cdot \ell} .$$

Единицей индукции магнитного поля является тесла:  $1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$ .

1Тл - индукция однородного магнитного поля, в котором на проводник длиной 1м с током в 1А, расположенный перпендикулярно магнитным силовым линиям, действует сила 1Н.

### Описание установки

Экспериментальная установка представлена на рисунке 2.

От источника питания 1 постоянный ток  $I$  через металлическую ленту 2 и соединительные провода 3 пропускается через проводящую рамку 4; величина тока  $I$  измеряется амперметром 5; цепь тока замыкается ключом 6.

Однородное магнитное поле возникает между полюсами электромагнита 7 при пропускании через его обмотку постоянного тока  $I_{\text{э}}$ , который измеряется амперметром 8. Выпрямление переменного тока универсального источника питания осуществляется с помощью мостовой схемы 9.

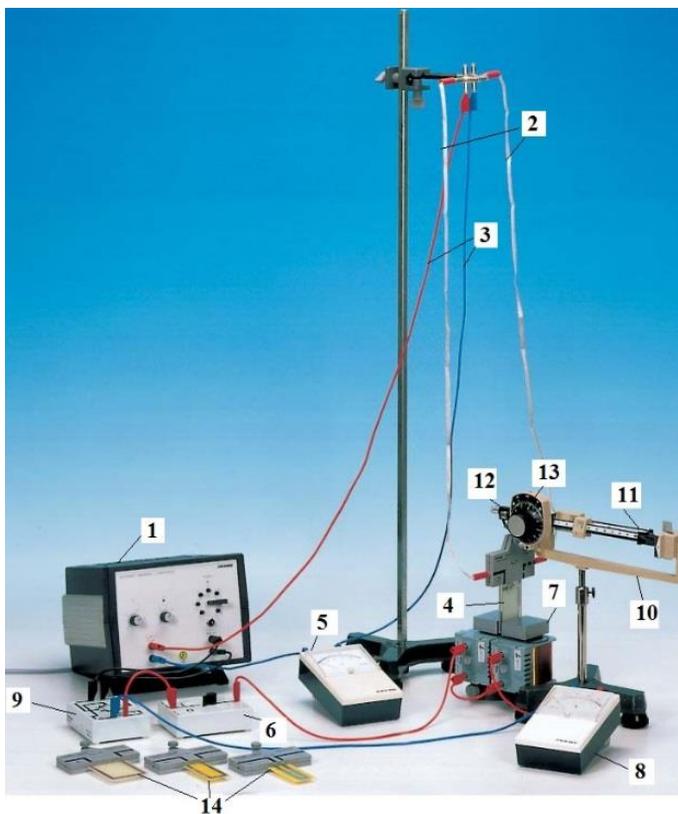


Рис. 2

### Вывод рабочей формулы

Исследуемый проводник длиной  $l$  (длина указана на рамке) с током  $I$  представляет собой нижний горизонтальный участок проводящей рамки 4, которая помещается в однородное магнитное поле перпендикулярно магнитным силовым линиям (рис. 3).

Величина индукции  $B$  однородного магнитного поля зависит от силы тока  $I_{\text{Э}}$  в обмотках электромагнита.

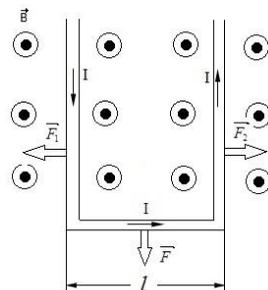


Рис.3

Как видно из рис. 3, силы  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ , действующие на вертикальные участки рамки с током в магнитном поле, одинаковы по величине и компенсируют друг друга. Следовательно, сила, действующая на рамку с током со стороны магнитного поля, согласно закону Ампера определяется формулой  $F_A = BIl \sin \alpha$ , где  $l$  - длина нижнего горизонтального участка рамки. Так как проводник  $l$  расположен перпендикулярно магнитным силовым линиям,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\sin \alpha = 1$ , т.е. для данной установки

$$F_A = BIl.$$

Эта сила может быть определена с использованием весов 10, позволяющих определять массу с точностью до 0,01 г. Измерительная часть весов состоит из горизонтальной шкалы 11, круговой шкалы 12 и нониуса 13.

Измерение массы на весах выполняется согласно показаниям на линейной и круговой шкалах и нониусе.

К установке прилагается комплект различных рамок 14.

При отсутствии тока в проводнике на рамку массой  $m_p$  действует только сила тяжести  $m_p g$ , направленная вертикально вниз. Величина  $m_p$  определяется с помощью аналитических весов.

При пропускании тока  $I$  через проводник  $l$  на него действуют и сила тяжести  $m_p g$ , и сила Ампера  $F_A = BIl$ , направленная на данной установке вертикально вниз (рис. 3).

Поскольку силы сонаправлены, их равнодействующая  $F$  равна:

$$F = m_p g + F_A. \quad (1)$$

При этом показания весов изменяются и соответствуют силе  $F$ , которая может быть выражена формулой

$$F = m g, \quad (2)$$

где  $m$  - новые показания весов.

Согласно (1) и (2),

$$mg = m_p g + F_A,$$

$$F_A = (m - m_p)g = \Delta mg. \quad (3)$$

где  $\Delta m$  - изменение показания весов.

**Примечание.** Если направление тока  $I$  в рамке поменять на противоположное,  $F_A$  будет направлена вверх; в этом случае:

$$F_A = (m_p - m)g$$

### Порядок выполнения работы

**Задание 1.** *Определение зависимости силы Ампера от силы тока в проводнике,  $F_A = f(I)$ .*

1. Измерить с помощью весов массу рамки  $m_p$  и занести результат измерения в таблицу 1; туда же записать значение  $I$  для данной рамки.

2. Включить блок питания, переключку «Power» выставить на значение, указанное преподавателем. По амперметру 8 определить силу тока  $I_3$  в цепи электромагнита. При этом значение  $I_3$  рекомендуется выбирать примерно равным 1 А. Результат занести в таблицу 1.

3. На блоке питания регулятор «А» установить на предельном значении; ключ К замкнуть.

4. Используя регулятор «У» и амперметр 5, установить первое значение силы тока в проводнике в соответствии с заданием преподавателя (рекомендуется начинать с 1 А).

5. Используя весы, произвести измерение  $m$  массы рамки в этом случае.

6. Повторить п. 4-5 для других значений силы тока в проводнике с шагом 0.5 А или 1 А по указанию преподавателя. Полученные результаты занести в таблицу 1.

7. Выключить блок питания.

8. Рассчитать величину  $\Delta m = m - m_p$ . В соответствии с формулой (3) рассчитать  $F_A = \Delta m \cdot g$ .

9. Используя данные таблицы 1, построить график зависимости  $F_A = f(I)$  и сделать вывод о характере этой

ЗАВИСИМОСТИ.

Таблица 1.

		$m_p =$	$l =$	$I_{\mathcal{C}} =$	$A$	
№	$I, A$	$m, \text{г}$	$\Delta m, \text{г}$	$F_A, \text{мН}$	$B, \text{мТл}$	$\Delta B, \text{мТл}$
1						
2						
3						
4						
5						
Среднее значение						

**Задание 2.** *Определение значения индукции магнитного поля между полюсами электромагнита.*

- Используя данные таблицы 1, рассчитать значения  $B$  по формуле

$$B = \frac{F_A}{I \cdot l}.$$

- Рассчитать и занести в табл. 1 значения

$$\langle B \rangle = \frac{\sum B_i}{n}; \Delta B_i = |\langle B \rangle - B_i|;$$

$$\langle \Delta B \rangle = \frac{\sum \Delta B_i}{n}; \delta B = \frac{\langle \Delta B \rangle}{\langle B \rangle}.$$

- Записать окончательный результат в виде  $B = \langle B \rangle \pm \langle \Delta B \rangle$ .

**Задание 3.** *Определение зависимости силы Ампера от длины проводника  $l$ ,  $F_A = f(l)$ .*

Комплект рамок состоит из трех разных рамок, отличающихся массой  $m_p$  и длиной горизонтальной части, т.е. длиной проводника  $l$ .

- Установить на весах рамку с  $l = 12,5$  мм. Записать значение  $l$  для данной рамки в таблицу 2.

2. Измерить с помощью весов массу рамки  $m_p$  и занести результаты измерения в таблицу 2.

3. Включить блок питания, переключку «Power» выставить на значение, указанное преподавателем, по амперметру 8 определить силу тока  $I_{\mathcal{C}}$  в цепи электромагнита. Результат занести в таблицу 2.

4. Используя регулятор «U» и амперметр 5, установить значение силы тока в проводнике в соответствии с заданием преподавателя (следует устанавливать значения не менее 3 А).

- Используя весы, произвести измерение  $m$  массы рамки в этом

случае.

6. Рассчитать величину  $\Delta m = (m - m_p)$ . В соответствии с формулой (3) рассчитать  $F_A = \Delta m \cdot g$ . Полученные результаты занести в таблицу 2.

7. Выключить блок питания и заменить исследуемую рамку следующей, с другим значением  $l = 25$  мм.

8. Повторить п. 2-6 задания 3 для этой рамки. (Примечание: на амперметрах 5 и 8 сила тока должна быть той же, что и при измерениях с рамкой  $l = 12,5$  мм.)

9. Выключить блок питания и заменить исследуемую рамку следующей, с другим значением  $l = 50$  мм; повторить п. 2-6 задания.

10. По данным таблицы построить график зависимости  $F_A = f(l)$  и сделать вывод о характере этой зависимости.

Таблица 8

		$I_{\text{э}} =$	A,	$I =$	A
№	$l$ , м	$m_p$ , г	$m$ , г	$\Delta m$ , г	$F_A$ , мН
1					
2					
3					

### Контрольные вопросы

1. Что представляет собой магнитное поле?
2. Что называется, индукцией магнитного поля? В каких единицах она измеряется?
3. На какие объекты действует магнитное поле?
4. Что называется, линией магнитной индукции? Как определяется направление магнитных силовых линий?
5. Как формулируется принцип суперпозиции магнитных полей?
6. Какое магнитное поле называется однородным? Изобразить его графически.
7. Что такое 1 Тл?
8. Сформулируйте закон Ампера.
9. Сформулируйте правило левой руки для определения силы Ампера.

### **Список литературы**

В.А. Никеров, «Физика. Современный курс», – М: Издательско-торговая корпорация "Дашков и К", 2019 г.

### **Правила техники безопасности**

При выполнении работы необходимо убедиться, что все токоведущие части электрической схемы изолированы. Категорически запрещается касаться руками или другими предметами зажимов цепи, находящихся под напряжением. По окончании работы обязательно отключить электрическую схему от источника напряжения.