

## Измерение поля постоянного магнита

### Цель работы

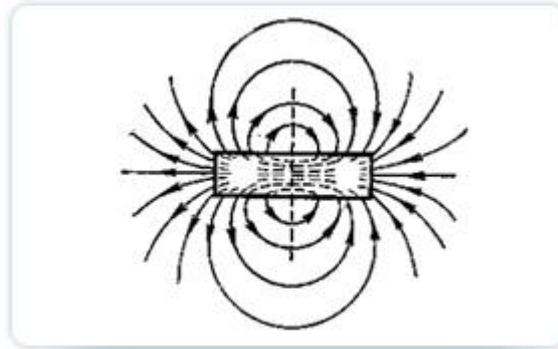
Целью работы является демонстрация зависимости индукции магнитного поля от расстояния до постоянного магнита.

### Метод экспериментального исследования явления

В работе с помощью датчика магнитного поля измеряется зависимость индукции магнитного поля от расстояния до постоянного магнита.

### Теория

*Постоянным магнитом* называют тело, которое способно в течение длительного времени сохранять намагниченность. Намагниченность тела определяется по его способности притягивать к себе железные предметы. Если окружить магнит мелкими железными опилками, то можно заметить, что разные участки поверхности магнита по-разному притягивают опилки. Те участки поверхности, которые оказывают на частицы железа наибольшее действие, принято называть полюсами магнита. У любого магнита есть два полюса: северный и южный. Одноименные магнитные полюсы отталкиваются, а разноименные притягиваются.



Количественную меру способности магнита действовать на окружающие тела называют *индукцией магнитного поля* (магнитной индукцией)  $B$ . Индукция магнитного поля является векторной физической величиной, ее направление в данной точке поля совпадает с направлением, которое показывает северный полюс магнитной стрелки в этой точке.

Картину магнитного поля постоянного магнита можно наблюдать, если накрыть магнит листом картона или плотной бумаги, а сверху насыпать железные опилки.

Модуль вектора магнитной индукции равен отношению модуля силы  $F$ , с которой магнитное поле действует на расположенный перпендикулярно магнитным линиям проводник с током, к произведению силы тока  $I$  в проводнике и его длины  $l$ :

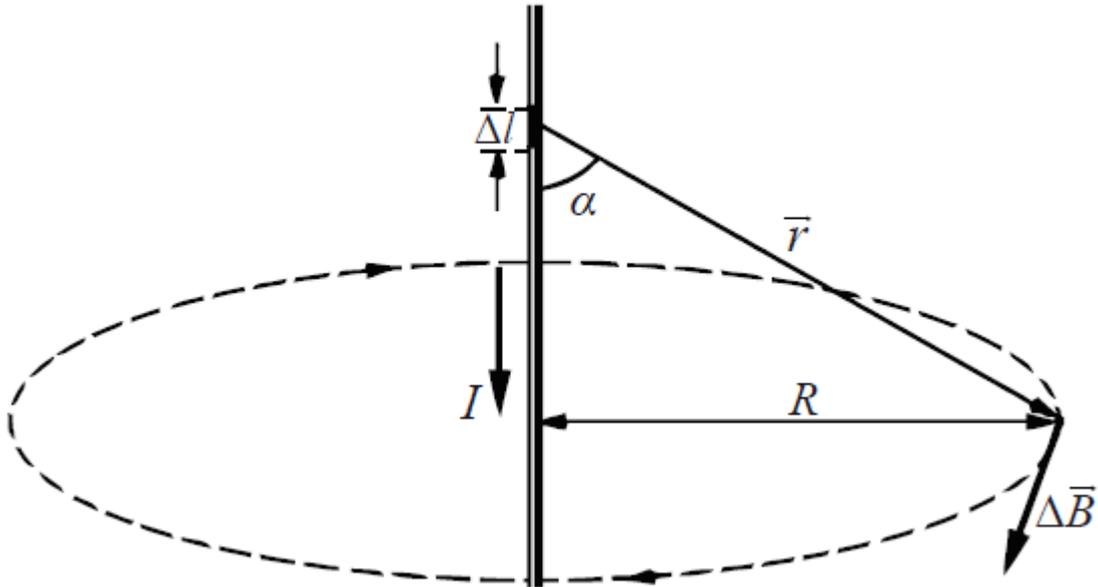
Единицей магнитной индукции в системе СИ является *тесла* (1 Тл).

С увеличением расстояния от магнита величина магнитной индукции убывает. У постоянного магнита эта зависимость является сложной, не поддающейся простому аналитическому описанию. В то же время основные закономерности можно понять, рассмотрев поведение магнитного поля вдоль нормали одного витка с током.

Согласно закону Био–Савара–Лапласа магнитная индукция  $\Delta B$  в произвольной точке магнитного поля, создаваемого малым участком проводника длиной  $\Delta l$  с током  $I$ , определяется выражением

$$\Delta B = \frac{\mu_0 I \Delta l \sin \alpha}{4\pi r^2}.$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная ( $1,26 \cdot 10^{-6}$  Гн/м).



Если свернуть проводник в кольцо радиусом  $R$  и векторно просуммировать в точке индукции полей, создаваемых всеми малыми участками проводника, то получится следующая зависимость величины индукции магнитного поля  $B$ , создаваемого круговым витком с током  $I$ , от расстояния  $x$  до центра витка вдоль его нормали:

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

На расстоянии  $x$  от кольца, существенно превышающем размер витка, магнитная индукция  $B \sim 1/x^3$ . Эта зависимость приводит к тому, что при удалении двух магнитов друг от друга взаимодействие между ними резко ослабевает.

### Контрольные вопросы

1. Какое тело называют магнитом?
2. Как взаимодействуют между собой одноименные полюсы магнитов: отталкиваются или притягиваются?
3. Обладает ли Земля магнитными свойствами?

### Оборудование экспериментальной установки

Датчик магнитного поля:  
Постоянный магнит полосовой.  
Линейка измерительная.





## Параметры экспериментальной установки

### Длительность проведения эксперимента

Весь цикл измерений может быть проведен за 5–10 мин.

На обсуждение содержания эксперимента и его результатов, ответы на вопросы во время выполнения измерений и после их окончания отводится 10–15 мин.

### Точность измерений

При строгом следовании рекомендациям разделов «Монтаж и настройка», «Подготовка приборов» и «Методика выполнения эксперимента» данный эксперимент позволяет измерить величину индукции магнитного поля постоянного магнита с точностью до 0,01 мТл.

### Техника безопасности

Во время проведения эксперимента необходимо соблюдать все правила техники безопасности, указанные для персонального компьютера как электрического оборудования.

Используемое измерительное оборудование (система сбора данных и датчик магнитного поля) экспериментальной установки рассчитано на питание от низковольтного напряжения, не представляющего опасности для человека.

### Обеспечение наглядности результатов эксперимента

Измерительную линейку, полосовой магнит и датчик магнитного поля следует располагать на демонстрационном столе в месте, позволяющем обеспечить хороший обзор проведения эксперимента для каждого ученика.

Для обеспечения удобства управления демонстрацией эксперимента компьютер необходимо располагать достаточно близко от установки (на расстоянии не более 1,5 м).

Экран компьютера рекомендуется продублировать с помощью проектора

## Монтаж и настройка

Измерительная линейка располагается на демонстрационном столе так, чтобы ее шкала была обращена к учащимся. Перед линейкой вдоль нее устанавливаются полосовой магнит и датчик магнитного поля. Для удобства измерения расстояния край одного из полюсов магнита совмещается с одним из делений шкалы линейки. Датчик перемещается вдоль линейки.

## Подготовка приборов

Перед началом проведения эксперимента необходимо выполнить следующее:

Внимательно прочитайте инструкции, подготовьте необходимое оборудование, соберите установку в соответствии с разделом «Монтаж и настройка».

Запустите программу **SensorLab ПО**.

Подключите датчик магнитного поля к аналоговому входу системы сбора данных.

Установите чувствительность датчика магнитного поля 6,4 мТл. Поместите датчик на расстоянии 0,5 см от края полюса магнита, определите значение магнитной индукции. Если ее величина не превышает 0,3 мТл, переключите датчик на более чувствительную шкалу 0,3 мТл.

## Методика выполнения эксперимента

### Проведение измерений

Поместите датчик магнитного поля на расстоянии 0,5 см от края полюса магнита

Нажмите кнопку **Пуск**. При этом на графике зависимости индукции магнитного поля от расстояния до постоянного магнита будет отображено текущее показание датчика. Значение в поле **Расстояние от магнита** автоматически увеличится на 0,5 см для проведения последующего измерения.

Повторите измерения по пунктам 1, 2 для десяти различных расстояний от датчика магнитного поля до полюса магнита. При каждом последующем измерении на график **Индукция–Расстояние** добавляются точки.

### Анализ результатов

После завершения измерений на графике будет отображена экспериментальная зависимость индукции магнитного поля от расстояния до полюса постоянного магнита, а также аппроксимация измеренных данных степенной функцией. Никаких дополнительных действий для вывода результатов анализа не требуется.



## Справка

### Принцип работы датчика магнитного поля

Принцип действия датчика магнитного поля, используемого в данной работе, основывается на эффекте Холла. Если на проводник с постоянным током воздействовать магнитным полем, перпендикулярным направлению тока, то в этом проводнике возникает в поперечном направлении разность потенциалов (ЭДС Холла). Это происходит в результате воздействия силы Лоренца на движущиеся в магнитном поле электроны. Возникающее при этом электрическое поле вектора  $E$  прямо пропорционально векторному произведению силы тока вектора  $I$  в проводнике на величину магнитной индукции вектора  $B$ :

$$\vec{E} = R_H [\vec{I} \vec{B}]$$

где  $R_H$  — коэффициент Холла.

Аналоговые датчики Холла широко используются в промышленности для определения градаций магнитного поля, а также для измерения любой физической величины, однозначно связанной с магнитным полем. Так, например, с их помощью можно бесконтактно измерять силу тока в проводнике по формирующемуся вокруг него магнитному полю.

Цифровые датчики Холла реагируют на превышение определенного уровня индукции магнитного поля и на выходе дают цифровой сигнал TRUE/FALSE. Они используются также в качестве бесконтактных датчиков положения.

Необходимо отметить, что работа датчиков Холла зависит от их ориентации относительно линий магнитного поля.