

Три практических работы по теме «Магнитное поле»

Изучение магнитного поля традиционно трудно для учеников. На наш взгляд, изучение вопросов, связанных с темой "Магнитное поле", будет более успешным, если предложить ученикам большее число лабораторных и практических работ. Ниже приводятся описания трех работ: «Определение модуля вектора магнитной индукции постоянного магнита» (является обобщением известной демонстрации), «Изучение взаимодействия керамических магнитов» (может быть предложена восьмиклассникам, позволяет закрепить навыки учеников по обработке результатов измерений), «Изучение магнитного поля витка с током» (может быть рекомендована как обычная лабораторная работа, либо как экспериментальная задача творческого характера).

1. Лабораторная работа «Изучение сила Ампера и определение магнитной индукции постоянного магнита»

Оборудование: источник тока, реостат, амперметр, постоянный дугообразный магнит, ключ, соединительные провода, штатив с лапкой, П-образная рамка из медной проволоки, весы.

Указания к работе

Задание 1. Изучение силы Ампера.

Закрепите в лапке штатива наконечники двух соединительных проводов и подвесьте к ним П-образную рамку из медной проволоки так, чтобы она свободно могла совершать колебательное движение в вертикальной плоскости (рис. 1). Включите рамку в электрическую цепь, расположите рядом с горизонтальным проводником рамки постоянный дугообразный магнит.

Проверьте, позволяет ли правило левой руки определить направление силы Ампера.

Выясните, как сила Ампера зависит:

- от силы тока в проводнике,
- от длины проводника, находящегося в магнитном поле (поставьте рядом два постоянных магнита),
- от величины магнитной индукции (если удалить магнит на некоторое расстояние от горизонтального проводника, то проводник будет находиться в поле с меньшей индукцией),
- от угла между направлением вектора магнитной индукции и направлением тока в проводнике.

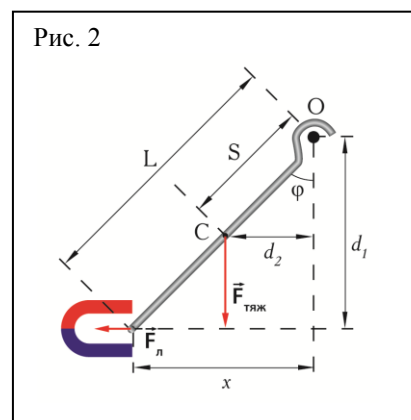
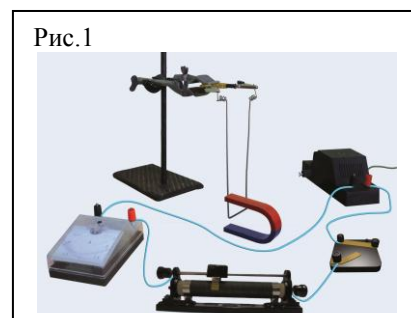
Сделайте вывод, подтверждается ли качественно формула для расчёта силы Ампера.

Задание 2. Определение магнитной индукции постоянного магнита.

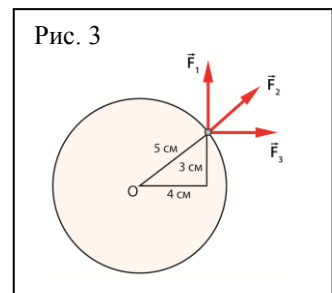
Пусть при прохождении по рамке тока силой I рамка под действием силы Ампера отклонилась от вертикали на угол φ (рис. 2).

Укажем силы, действующие на рамку, - это сила тяжести \vec{F}_m , приложенная к центру тяжести (точка C), сила Ампера, действующая на горизонтальный проводник \vec{F}_A , и сила реакции \vec{N} , действующая на рамку со стороны оси вращения в точке O .

Рамка может поворачиваться вокруг точки O - оси вращения (рис. 2).



? 1. Что называют плечом силы? Чему равны плечи сил $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$, приложенных к диску, вращающемуся относительно точки O (рис. 3)?
 ? 2. Как формулируется условие равновесия рычага?



Плечо силы реакции \vec{N} относительно оси вращения – точки O , очевидно, равно нулю, плечо силы Ампера равно d_1 , а плечо силы тяжести – d_2 (обозначения указаны на рисунке 2).

В соответствии с условием равновесия рычага

$$F_A d_1 = F_m d_2.$$

Плечи d_1 и d_2 несложно определить:

$$d_1 = L \cos \varphi,$$

где L – длина (высота) рамки,

$$d_2 = S \sin \varphi,$$

где S – расстояние OC – от оси вращения до центра тяжести рамки.

Тогда

$$F_A L \cos \varphi = F_m S \sin \varphi.$$

$$F_A L = F_m S \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}.$$

$$F_A L = F_m S \operatorname{tg} \varphi. \quad (1)$$

? 3. По какой формуле рассчитывается сила Ампера?

$$F_A = B I \ell, \quad (2)$$

где длину проводника, находящегося в магнитном поле, можно принять равной толщине магнита ℓ (смотрите рис. 189).

В формуле (2) также учтено, что угол между направлением вектора магнитной индукции и направлением тока в проводнике составляет 90° .

? 4. По какой формуле рассчитывается сила тяжести?

$$F_m = mg, \quad (3)$$

где m – масса рамки.

Из соотношений (1) – (3) несложно получить следующее выражение для определения магнитной индукции:

$$B = \frac{mg S \operatorname{tg} \varphi}{I \ell L}. \quad (4)$$

Тангенс угла отклонения φ можно вычислить следующим образом:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{d_1},$$

где d_1 , очевидно, равно

$$d_1 = \sqrt{L^2 - x^2}.$$

Тогда выражение (4) окончательно примет вид

$$B = \frac{mg S}{I \ell L} \cdot \frac{x}{d_1}. \quad (5)$$

Проведите необходимые измерения величин. Данные занесите в таблицу.

I, A	$x, \text{мм}$	$\ell, \text{мм}$	$L, \text{мм}$	$d_1, \text{мм}$	$S, \text{мм}$	$m, \text{г}$	$B, \text{Тл}$

Для измерения расстояния S от оси вращения до центра тяжести – точки C – положите рамку на ребро линейки и, добившись равновесия, определите положение центра тяжести рамки.

Вычислите среднее значение магнитной индукции \bar{B} , воспользовавшись формулой (5).

Вычислите относительную погрешность измерения магнитной индукции ε_B по формуле

$$\varepsilon_B = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta \ell}{\ell} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta d}{d}.$$

Абсолютные погрешности величин принять равными:

Δm – половина значения массы наименьшего разновеса, использованного при измерении массы рамки,

$$\Delta g = 0,05 \text{ м/с}^2,$$

$$\Delta S = 2 \text{ мм},$$

$\Delta x = 2 \text{ м,}$
 $\Delta I = 0,05 \text{ А,}$
 $\Delta \ell = 1 \text{ мм,}$
 $\Delta L = 2 \text{ мм,}$
 $\Delta d = 2 \text{ м.}$

Относительная погрешность измерения магнитной индукции ε_B по определению равна

$$\varepsilon_B = \frac{\Delta B}{\bar{B}},$$

где \bar{B} - среднее значение магнитной индукции,

ΔB - абсолютная погрешность магнитной индукции.

Вычислите абсолютную погрешность измерения магнитной индукции ΔB .

Запишите результат измерения в виде

$$B = \bar{B} \pm \Delta B.$$

2. Изучение взаимодействия керамических магнитов

Цель работы: изучить зависимость силы взаимодействия керамических магнитов от расстояния между ними.

Приборы и материалы: комплект керамических магнитов; алюминиевые, медные или свинцовые пластины; весы с разновесами; динамометр лабораторный.

Введение. Если на пластмассовый стержень 1 (рис. 4) надеть керамические магниты 2, обратив их одноименными полюсами навстречу друг другу, и расположить стержень с магнитами вертикально, то верхний магнит будет находиться в равновесии, поскольку действующая на него сила тяжести будет скомпенсирована силой отталкивания магнитов. Если утяжелить верхний магнит медной, свинцовой или алюминиевой шайбой 3, то расстояние между магнитами уменьшится, что приведет к увеличению силы отталкивания.

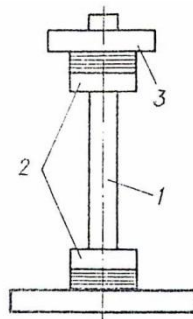


Рис. 4

Ход работы

1. Определите массу верхнего магнита и массу каждой шайбы.

2. Постепенно нагружая верхний магнит шайбами, измерьте в каждом случае расстояние h между магнитами; полученные данные занесите в табл. 1;

Таблица 1

Число шайб	0	1	2	3	4	5	6
Общая масса верхнего магнита и шайб m , г							
Сила взаимодействия магнитов $F = mg$, Н							
Расстояние между магнитами a , см							

3. Постройте график зависимости силы взаимодействия магнитов от расстояния между ними.
Контрольные вопросы. Почему для утяжеления верхнего магнита применяют медные, свинцовые или алюминиевые шайбы? Как изменяется потенциальная энергия взаимодействия магнитов при их сближении?

Дополнительное задание. Предложите способ измерения силы притяжения керамических магнитов.

Примечание. Масса каждой шайбы должна быть 20—25 г; для более точного определения расстояния нужно на пластмассовый стержень наклеить полоску миллиметровой бумаги.

3. Лабораторная работа «Изучение магнитного поля»

Оборудование: источник тока, амперметр, реостат, катушка-моток, ключ, соединительные провода, нить, штатив, магнит, деревянная линейка, компас, кусочки ластика.

Указания к работе:

Задание 1. Проверка правила определения направления магнитного поля – правила буравчика.

- Подсоедините катушку-моток к источнику тока, включив последовательно с катушкой-мотком реостат и амперметр.

- Подвесьте катушку-моток на нити к штативу так, чтобы провода, подводящие ток, не стесняли движение катушки.

- Подайте в катушку ток и, используя правило буравчика, определите направление магнитного поля, создаваемого катушкой-мотком. Поднесите к плоскости катушки поочередно северный и южный полюсы магнита.

Поднесите полюса магнита к катушке с другой стороны. Проверьте, позволило ли применение правила буравчика верно определить направление вектора магнитной индукции магнитного поля катушки-мотка с током. (Учтите, что одноимённые магнитные полюса – северный и северный, южный и южный – отталкиваются, а разноимённые – притягиваются.) Сделайте схематические рисунки, поясняющие проведённые опыты.

- Измените направление тока в катушке-мотке и повторите соответствующие опыты.

Задание 2. Изучение зависимости величины магнитной индукции поля катушки-мотка от силы тока в катушке.

Закрепите горизонтально на небольшой высоте в лапке штатива деревянную линейку. С помощью кусочков ластика укрепите на линейке в вертикальной плоскости катушку-моток и рядом с катушкой поставьте компас (рис. 5, а).

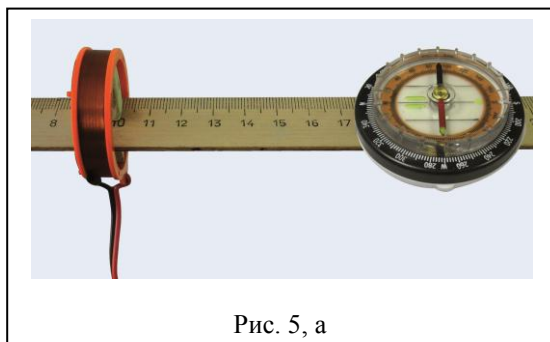


Рис. 5, а

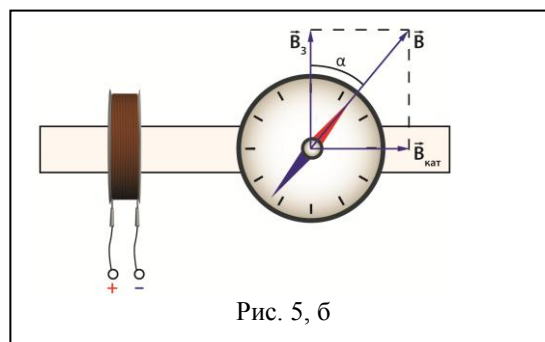


Рис. 5, б

Расположите компас так, чтобы первоначально стрелка компаса была ориентирована вдоль плоскости катушки по направлению горизонтальной составляющей магнитной индукции поля Земли \vec{B}_3 (рис. 5, б).

Если замкнуть цепь и создать ток в катушке-мотке, то вокруг катушки возникнет магнитное поле, вектор магнитной индукции которого $\vec{B}_{\text{кат}}$ перпендикулярен плоскости катушки-мотка.

При этом стрелка компаса повернётся на некоторый угол α от своего первоначального положения, ориентируясь по суммарному магнитному полю, вектор магнитной индукции \vec{B} которого равен

$$\vec{B} = \vec{B}_3 + \vec{B}_{\text{кат.}}$$

Так как угол между векторами \vec{B}_3 и $\vec{B}_{\text{кат.}}$ равен 90° , то в прямоугольном треугольнике тангенс угла отклонения стрелки компаса α равен:

$$\text{tg}\alpha = \frac{B_{\text{кат.}}}{B_3}.$$

Отсюда

$$B_{\text{кат.}} = B_3 \text{tg}\alpha.$$

Следовательно, величину магнитной индукции поля катушки-мотка в данной лабораторной работе можно измерить не в единицах СИ тесла, а в условных единицах « $\text{tg}\alpha$ ».

Измерьте угол отклонения стрелки компаса при различных значениях силы тока в катушке-мотке. Данные занесите в таблицу.

Номер опыта	1	2	3	4	5	6
Сила тока в катушке-мотке I , А						
Угол отклонения стрелки компаса α , °						
Тангенс угла отклонения стрелки компаса, $\text{tg}\alpha$						

Начертите график зависимости магнитной индукции поля катушки-мотка от силы тока в ней. При построении графика по горизонтальной оси отложите значения силы тока (в амперах), а по вертикальной оси – значение магнитной индукции поля катушки-мотка (в условных единицах $\text{tg}\alpha$).

Сделайте вывод, как зависит величина магнитной индукции от силы тока в катушке-мотке.