

Государственное высшее учебное заведение  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра физики

ОТЧЁТ  
по лабораторной работе №54

ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНДУКЦИИ  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ И МАГНИТНОГО МОМЕНТА МАГНИТА  
МЕТОДОМ ГАУССА

Выполнил студент группы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Преподаватель кафедры физики

\_\_\_\_\_

Отметка о защите \_\_\_\_\_

## Лабораторная работа № 54

ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНДУКЦИИ  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ И МАГНИТНОГО МОМЕНТА МАГНИТА  
МЕТОДОМ ГАУССА

Цель работы – измерить горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли и магнитный момент магнита.

Приборы и принадлежности: полосовой магнит, буссоль с компасом, секундомер, штангенциркуль.

## Общие положения

Вокруг Земного шара существует магнитное поле, линии индукции которого изображены на рис. 1. Вектор индукции (а также и вектор напряжённости) магнитного поля Земли в средних широтах направлен под некоторым углом к поверхности Земли и может быть разложен на две составляющие: горизонтальную  $\vec{B}_0$  и вертикальную  $\vec{B}_\perp$ .

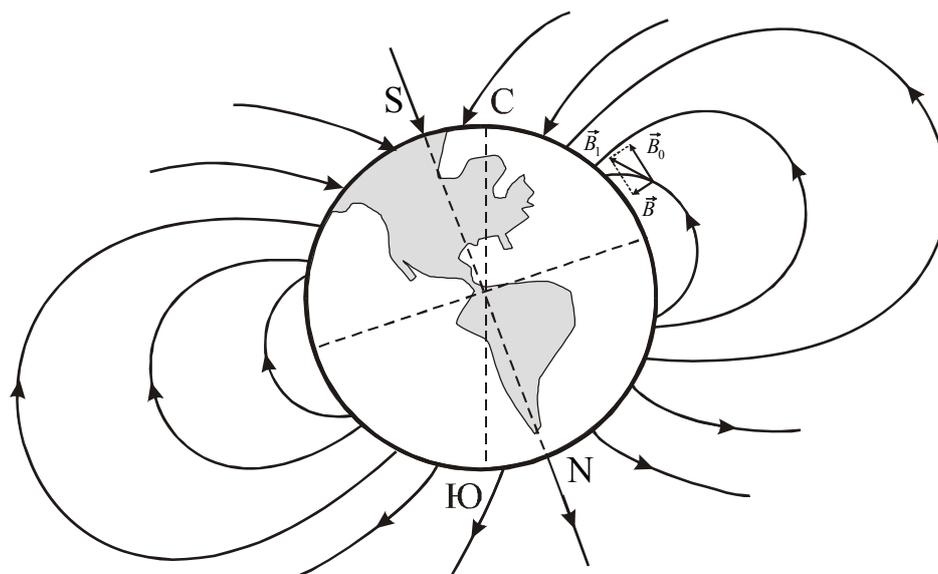


Рисунок 1

Для определения горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли используются различные методы. Суть метода Гаусса заключается в последовательном проведении двух экспериментов: 1) нахождение магнитного момента вспомогательного магнита из его колебаний под действием магнитного поля Земли; 2) сравнение магнитного поля вспомогательного магнита в какой-либо точке с горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли в этой же точке по действию на стрелку компаса.

Магнитный момент  $\vec{p}_m$  магнита – это вектор, направленный от южного полюса магнита ( $S$ ) к северному ( $N$ ). Величина магнитного момента зависит только от индивидуальных свойств магнита (от размеров и степени намагни-

ченности). Для определения магнитного момента вспомогательного магнита Гаусс предложил определить период колебаний этого магнита.

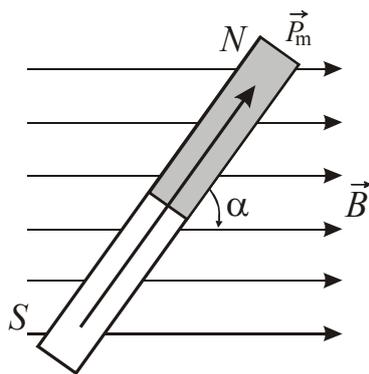


Рисунок 1

Если в однородное магнитное поле индукцией  $\vec{B}$  поместить магнит (рис.1), то на него, как на контур с током, будет действовать вращающий момент:

$$M = p_m B \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $p_m$  – магнитный момент магнита;  
 $B$  – индукция магнитного поля;  
 $\alpha$  – угол между направлением  $\vec{p}_m$  и  $\vec{B}$ .

Для измерения вращающего момента  $M$  используют колебания, которые совершает магнит в магнитном поле Земли. Магнит подвешивают на нитке так, чтобы он мог свободно вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через его центр масс. При малых углах отклонения  $\sin \alpha \approx \alpha$ , следовательно  $M = p_m B \alpha$ . Согласно основному закону динамики вращательного движения  $M = J \varepsilon$ . Тогда

$$- p_m B \alpha = J \varepsilon, \quad (2)$$

где  $J$  – момент инерции магнита;  $\varepsilon = \frac{d^2 \alpha}{dt^2}$  – его угловое ускорение.

Подставив в формулу (2) угловое ускорение  $\varepsilon$  и проведя преобразования, получим:

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{p_m B}{J} \alpha = 0. \quad (3)$$

Из теории колебаний известно, что уравнение вида

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \omega_0^2 \alpha = 0 \quad (4)$$

описывает гармонические колебания. Сравнив формулы (3) и (4), получим:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{p_m B}{J}}, \quad (5)$$

где  $\omega_0$  – циклическая частота колебаний.

Тогда период колебания магнита

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{p_m B}}, \quad (6)$$

где  $B$  – горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли.

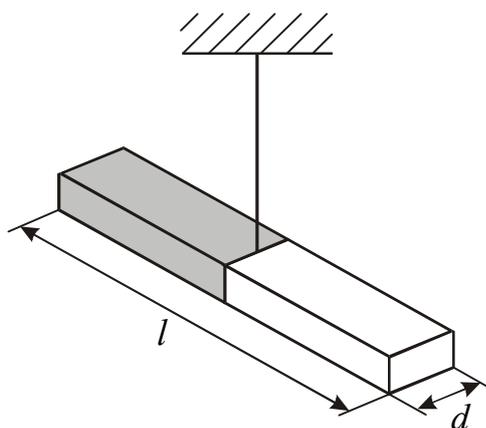


Рисунок 2

Если магнит имеет форму прямоугольного параллелепипеда и вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через центр масс (рис.2), то его момент инерции

$$J = \frac{m}{12}(d^2 + l^2), \quad (7)$$

где  $m$  – масса магнита,

$d$  – ширина,

$l$  – длина магнита.

Для определения двух неизвестных величин  $p_m$  и  $B$  проводятся две части эксперимента. В первой части измеряют период крутильных колебаний. Затем из формулы (6) определяют величину произведения  $p_m B$ . Во второй части эксперимента определяется величина отношения  $\frac{p_m}{B}$ . Для этой цели используется буссоль с компасом.

В отсутствие посторонних магнитов стрелка компаса устанавливается под влиянием земного магнитного поля в плоскости магнитного меридиана (направление приблизительно с юга на север). Если расположить ось магнита перпендикулярно к этой стрелке (с запада на восток), то стрелка отклонится и установится по направлению равнодействующей поля  $\vec{B}_0$  (рис. 3). Предполагается, что магнит удален настолько далеко, что в области, занимаемой стрелкой, поле этого магнита однородно и индукция его  $\vec{B}_1$  направлена перпендикулярно

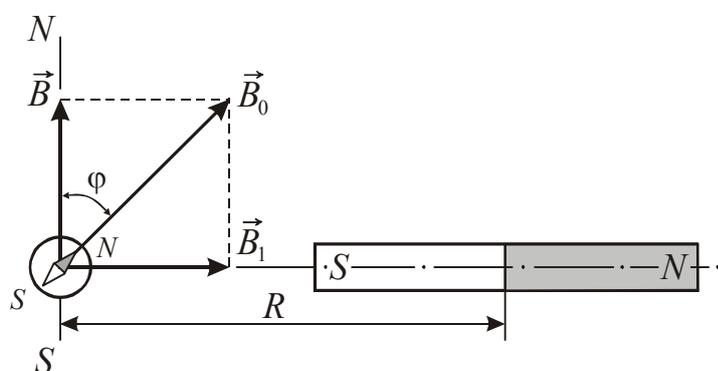


Рисунок 3

горизонтальной составляющей индукции  $\vec{B}$  земного магнитного поля.

Из рисунка 3 видно, что при этих условиях

$$B_1 = B \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (8)$$

где  $\varphi$  – угол отклонения стрелки компаса от магнитного меридиана.

Поле прямого магнита на его оси:

$$B_1 = \frac{\mu_0 p_m}{2\pi R^3}, \quad (9)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная;  $R$  – расстояние от центра масс магнита до центра стрелки компаса.

Подставив (9) в (8), получим

$$\frac{p_m}{B} = \frac{2\pi R^3 \operatorname{tg} \varphi}{\mu_0}. \quad (10)$$

Решив совместно уравнения (6) и (10) относительно  $B$  и  $p_m$ , получим:

$$B = \frac{1}{T} \sqrt{\frac{2\pi\mu_0 J}{R^3 \operatorname{tg} \varphi}}, \quad (11)$$

$$p_m = \frac{1}{T} \sqrt{\frac{8\pi^3 J R^3 \operatorname{tg} \varphi}{\mu_0}}. \quad (12)$$

### Подготовка к работе

*(ответы представить в письменном виде)*

1. В чём состоит цель работы?
2. Какие физические величины в работе измеряются непосредственно?
3. Какие величины необходимо определить в работе?
4. Запишите формулу, по которой рассчитывается горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли. Поясните смысл обозначений.
5. Запишите формулу, по которой рассчитывается магнитный момент магнита. Поясните смысл обозначений.

### Выполнение работы

1. Записать значение массы магнита ( $m=250$  г).
2. Измерить и записать длину  $l$  и ширину  $d$  магнита.
3. Подвесить магнит так, чтобы он принял горизонтальное положение, и установить его в положение равновесия. Затем отклонить магнит в горизонтальной плоскости на малый угол. Магнит начнет совершать крутильные колебания.
4. Включить секундомер в момент наибольшего отклонения магнита и измерить время  $t$ , в течение которого магнит совершит  $N$  полных колебаний ( $10 \div 15$ ). Опыт повторить 3 раза.
5. Развернуть буссоль так, чтобы стрелка компаса установилась перпендикулярно шкале доски. Выставить нулевые деления круговой шкалы буссоли напротив концов стрелки компаса.
6. Положить магнит на шкалу доски так, чтобы центр масс магнита лежал на расстоянии  $R=60$  см от центра стрелки компаса. Измерить угол отклонения стрелки  $\varphi_1$ .
7. Уменьшая расстояние  $R$  между центром масс магнита и компасом каждый раз на 10 см, провести измерения  $\varphi_1$  согласно п. 5 еще 5 раз.
8. Повернуть магнит на  $180^\circ$  (поменять полюса местами). Провести измерения угла отклонения стрелки  $\varphi_2$  согласно п. 5 и п. 6.

## Оформление отчёта

### 1. Расчёты

1. Рассчитать период колебаний магнита по формуле  $T=t/N$  для каждого опыта. Найти среднее значение периода.
2. Рассчитать момент инерции магнита по формуле (7).
3. Рассчитать средний угол отклонения  $\varphi_{\text{ср.}}=(\varphi_1+\varphi_2)/2$ .
4. Рассчитать горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли по формуле (11) для каждого расстояния, используя среднее значение периода.
5. Рассчитать магнитный момент магнита по формуле (12) для каждого расстояния, используя среднее значение периода.
6. Найти средние значения  $B_{\text{ср}}$  и  $(p_m)_{\text{ср}}$  Абсолютную погрешность рассчитать как для прямых измерений.
7. Найти относительную погрешность измерений. Результаты представить в стандартном виде:

$$B = B_{\text{ср}} \pm \Delta B$$

$$p_m = (p_m)_{\text{ср}} \pm \Delta p_m.$$

### 2. Защита работы

*(ответы представить в письменном виде)*

1. Что называется магнитной индукцией? В каких единицах она измеряется?
2. Запишите формулу, связывающую индукцию и напряжённость магнитного поля. Используя рассчитанное среднее значение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли, вычислите соответствующее значение напряжённости для нашей широты.
3. Что называется линиями магнитной индукции? Как определяется их направление?
4. На какой географической широте горизонтальная составляющая вектора индукции магнитного поля Земли равна нулю?

## ПРОТОКОЛ

измерений к лабораторной работе №54

Выполнил(а) \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_

Масса магнита  $m =$  \_\_\_\_\_Длина магнита  $l =$  \_\_\_\_\_Ширина магнита  $d =$  \_\_\_\_\_

## Задание 1

| №п/п    | $N$ | $t, c$ | $T, c$ |
|---------|-----|--------|--------|
| 1       |     |        |        |
| 2       |     |        |        |
| 3       |     |        |        |
| среднее |     |        |        |

## Задание 2

| № п/п   | $R, cm$ | $\varphi_1, ^\circ$ | $\varphi_2, ^\circ$ | $\varphi_{cp}, ^\circ$ | $B, Tл$ | $\rho_m, A \cdot m^2$ |
|---------|---------|---------------------|---------------------|------------------------|---------|-----------------------|
| 1       |         |                     |                     |                        |         |                       |
| 2       |         |                     |                     |                        |         |                       |
| 3       |         |                     |                     |                        |         |                       |
| 4       |         |                     |                     |                        |         |                       |
| 5       |         |                     |                     |                        |         |                       |
| среднее |         |                     |                     |                        |         |                       |

Дата \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_