

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)

**Кафедра физики**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ  
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ**

Методические указания  
к лабораторной работе № 39  
для студентов инженерно-технических  
специальностей

НОВОСИБИРСК 2004

Методические указания разработаны канд. физ.-мат. наук, доцентом Б.Л. Желновым, канд. техн. наук, доцентом С.А. Полевым, под общей редакцией канд. техн. наук, профессора Л.Ф. Меденцова

Утверждены методической комиссией ФПСВО  
28 января 2004 года

Лабораторная работа рассматривает принцип суперпозиции магнитных полей на примере сложения магнитного поля Земли и магнитного поля, создаваемого витком с током и определения горизонтальной составляющей вектора магнитной индукции геомагнитного поля Земли.

Рецензент:

– Н.И. Новикова, доцент кафедры физики (НГАСУ)

© Новосибирский государственный  
архитектурно-строительный уни-  
верситет (Сибстрин), 2004

**Цель работы:** ознакомление с принципом суперпозиции магнитных полей и определение горизонтальной составляющей вектора магнитной индукции геомагнитного поля Земли.

**Приборы и принадлежности:** круговая или квадратная рамки с намотанными на них витками проводов, компас-буссоль, амперметр постоянного тока, реостат, переключатель, источник тока.

### Теоретические сведения

Земной шар представляет собой естественный магнит, полюса которого расположены вблизи географических полюсов, однако, не совпадая с ними. Южный магнитный полюс (S) располагается вблизи географического Северного полюса (n), а северный магнитный (N) – вблизи географического Южного полюса (s) (рис. 1).

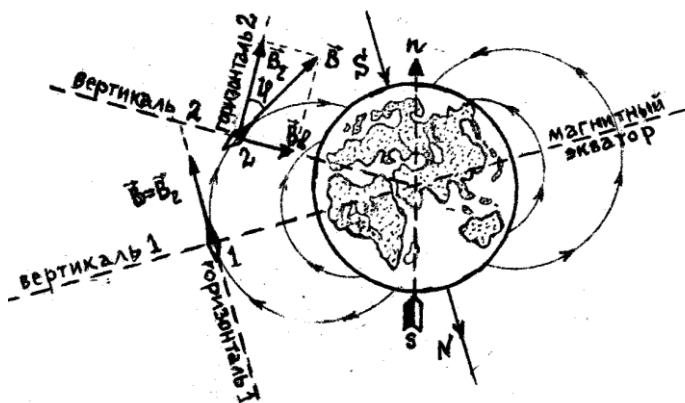


Рис. 1

Магнитные полюса N и S определяют положение магнитной оси Земли и ее магнитного экватора. Только для точек, лежащих на магнитном экваторе, магнитная стрелка и соответственно направление вектора магнитной индукции, вдоль которого устанавливается магнитная стрелка, совпада-

ют с направлением горизонтальной плоскости для этих точек (точка 1 на рис. 1). Для всех остальных точек земной поверхности (например, для точки 2 на рис. 1) направление вектора магнитной индукции образует с горизонтальной плоскостью угол  $\varphi$ , называемый магнитным наклоном. Угол между направлением географического и магнитного меридианов называется магнитным склонением.

Полный вектор индукции магнитного поля Земли  $\vec{B}$  может быть представлен как векторная сумма горизонтальной  $\vec{B}_z$  и вертикальной  $\vec{B}_e$  составляющих.

Метод определения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли состоит в следующем. Магнитная стрелка компаса-буссоли помещается внутри рамки с намотанными на нее проводниками (при этом ее ось лежит в плоскости рамки и центр совпадает с центром рамки). В этом случае к горизонтальной составляющей магнитного поля Земли  $\vec{B}_z$  добавляется поперечно направленное магнитное поле рамки с током с известной величиной индукции  $\vec{B}_J$ . В результате действия суммарного магнитного поля (принцип суперпозиции магнитных полей) стрелка компаса установится по направлению равнодействующего вектора индукции, отклонившись на угол  $\varphi$  от магнитного меридиана (рис. 2). Измеряя этот угол, можно вычислить величину горизонтальной составляющей магнитного поля земли  $\vec{B}_z$ :

$$B_z = \frac{B_J}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (1)$$

Для вычисления индукции магнитного поля, создаваемого током, текущим по рамке, воспользуемся законом Био–Савара–Лапласа.

Закон Био–Савара–Лапласа для элемента проводника с током  $Jd\ell$  :

$$dB = \frac{\mu_0 \mu J d\ell \sin \alpha}{4\pi r}, \quad (2)$$

где  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость среды (для воздуха можно считать равной единице);  $\mu_0$  – магнитная постоянная ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м);  $\alpha$  – угол между элементом проводника и радиус-вектором  $\vec{r}$ , проведенным от элемента тока до точки, в которой определяется элементарная индукция.

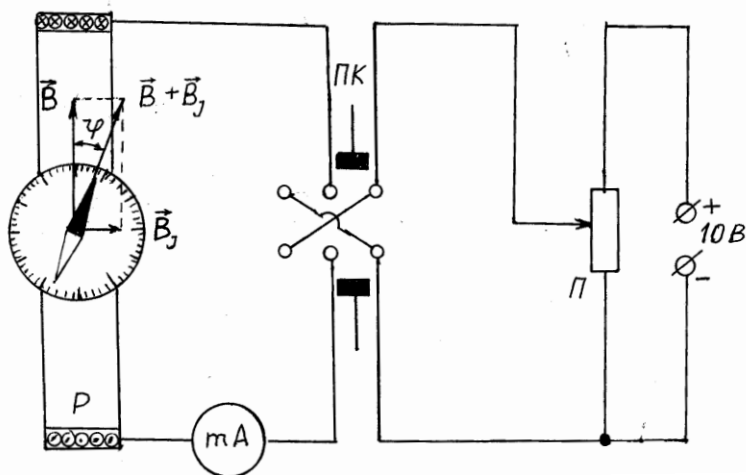


Рис. 2

Если проводник представляет собой круговой виток с током, то угол между элементом проводника  $d\ell$  и радиусом окружности  $R$  равен  $90^\circ$ ,  $\sin \alpha = 1$ , элементарные векторы индукции в центре окружности направлены в одну сторону (перпендикулярно плоскости рамки).

Тогда суммарная индукция элементарных векторов в центре витка будет иметь вид:

$$B_J = \int_{\ell} dB = \int_{\ell} \frac{\mu_0 \mu J d\ell}{4\pi R} = \frac{\mu_0 \mu J}{2R}. \quad (3)$$

Если число витков в рамке равно  $N$ , то индукция магнитного поля в центре рамки

$$B_J = \frac{\mu_0 \mu}{2R} N J. \quad (4)$$

Если рамка с током имеет форму квадрата со стороной  $\ell$ , то значение магнитной индукции в центре рамки равно сумме векторов  $\vec{B}_1$ , создаваемых четырьмя сторонами рамки и, так как в центре рамки они направлены в одну сторону, то

$$B_J = 4B_1. \quad (5)$$

Индукция, создаваемая отрезком прямого проводника (в данном случае стороной квадрата длиной  $\ell$ ) с током  $J$ , вычисляется по формуле:

$$B_J = \frac{\mu_0 \mu N J}{4\pi r} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2), \quad (6)$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – углы между стороной квадрата и его диагоналями.

Так как  $\alpha_1 = \alpha_2 = 45^\circ$ , а  $r = \frac{\ell}{2}$ , то

$$B_J = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 \mu}{\pi \ell} N J. \quad (7)$$

### Порядок выполнения работы

1. Подготовить установку к работе, соединив блок измерения (БИ) с источником тока (ИТ) и рамкой с током (Р) (рис. 3). На блоке измерения: П – ручка потенциометра, изменяющего величину тока через витки рамки; ПК – кнопка переключения направления тока. Принципиальная схема установки приведена на рис. 2. Концы витков проводников рамки выведены на клеммы, комбинируя которыми можно менять

число витков в рамке. Компас-буссоль закреплен в центре рамки, и угол поворота магнитной стрелки фиксируется по шкале буссоли.

**Обратить особое внимание на отсутствие железных предметов вблизи рамки с компасом! Не устанавливать рамку на металлическом столе!**

2. При отключенном источнике тока установить плоскость рамки в плоскости магнитного меридиана (концы магнитной стрелки компаса-буссоли должны стоять против значений лимба шкалы  $0^\circ$  и  $180^\circ$ ). При помощи потенциометра создать такой ток через витки рамки, чтобы угол отклонения магнитной стрелки вправо ( $\varphi_{np}$ ) или влево ( $\varphi_{л}$ ) лежал в интервале  $20-50^\circ$ . Записать это значение.

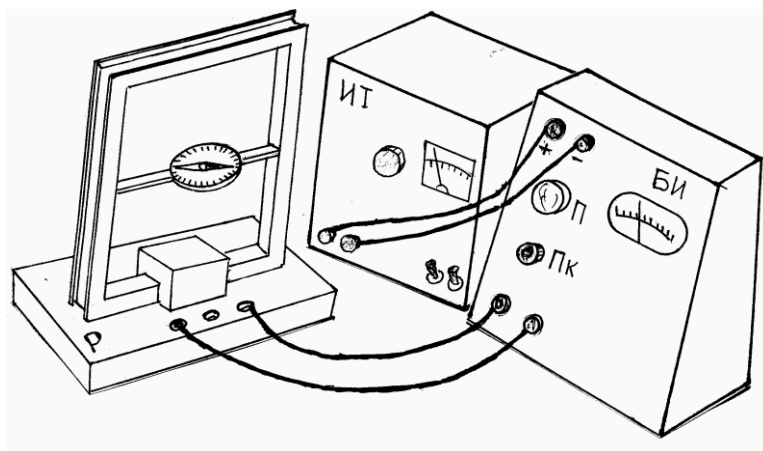


Рис. 3

Нажать кнопку ПК – стрелка компаса отклонится в противоположную сторону (угол отклонения должен мало отличаться от предыдущего).

3. Изменить число витков на рамке и повторить измерения согласно п. 2.

4. Занести данные в табл. 1, вычислить значения  $B_z$  для каждого опыта.

Таблица 1

| № опыта | Число витков в рамке $N$ | Угол отклонения магнитной стрелки, град |                | $\operatorname{tg} \varphi$ | Вектор индукции в центре рамки, $B_J, \text{Тл}$ | Горизонтальная составляющая геомагнитного поля $B_z, \text{Тл}$ |
|---------|--------------------------|-----------------------------------------|----------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|         |                          | $\varphi_d$                             | $\varphi_{np}$ |                             |                                                  |                                                                 |
| 1       |                          |                                         |                |                             |                                                  |                                                                 |
| 2       |                          |                                         |                |                             |                                                  |                                                                 |
| 3       |                          |                                         |                |                             |                                                  |                                                                 |

Среднее значение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли:  $B_{z,cp} =$  .

5. Вычислить случайную погрешность, внося в нее значения горизонтальной составляющей из табл. 1.

Таблица 2

| № опыта | $B_{z_i}$ | $\Delta B_{z_i}$ | $\Delta B_{z_i}^2$ | $S_{\kappa\theta} = \sqrt{\frac{\sum \Delta B_{z_i}^2}{n(n-1)}}$ |
|---------|-----------|------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1       |           |                  |                    |                                                                  |
| 2       |           |                  |                    |                                                                  |
| 3       |           |                  |                    |                                                                  |

Доверительный интервал случайных ошибок  
 $\Delta B_1 = S_{\kappa\theta} \cdot t_{\alpha,n}$ .

6. Вычислить доверительный интервал систематической ошибки измерений по формуле:

$$\Delta B_2 = \left( \frac{\Delta J}{J} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{2\Delta\varphi}{\sin 2\varphi} \right),$$

где  $\Delta J, \Delta R, \Delta\varphi$  – погрешности измерения тока, радиуса (стороны квадрата) и угла равны 0,5 цены деления измерительного прибора или инструмента (погрешность  $\Delta\varphi$  при расчетах перевести в радианы).

7. Сравнить абсолютные погрешности  $\Delta B_1$  и  $\Delta B_2$ , при необходимости, вычислить общий доверительный интервал:

$$\Delta B_{\Sigma} = \sqrt{(\Delta B_1)^2 + (\Delta B_2)^2}.$$

8. Вычислить относительную ошибку:

$$\varepsilon = \frac{\Delta B}{B_{\Sigma, \text{ср}}} \cdot 100\%.$$

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение вектора индукции магнитного поля, магнитного момента рамки с током. Покажите, когда положение рамки с током в магнитном поле будет устойчивым.
2. Что называется линиями индукции магнитного поля? Как определяется их направление? Сделать рисунки магнитных полей с помощью силовых линий (полосовой магнит, прямой проводник с током, круговой виток с током, соленоид).
3. Сформулировать принцип суперпозиции магнитных полей. Какие поля считаются однородными?
4. Что такое напряженность магнитного поля и как она связана с индукцией.

5. Каков физический смысл относительной магнитной проницаемости?
6. Записать закон Био–Савара–Лапласа для элемента тока (дать рисунок).
7. Применить закон Био–Савара–Лапласа для вычисления индукции (напряженности) магнитных полей: бесконечного проводника с током; проводника конечной длины, кругового витка с током (в центре), квадрата (в центре).
8. Дайте определение магнитного потока, единицы его измерения. Сформулируйте теорему Гаусса для магнитного поля. Что такое потокоцепление?
9. Что собой представляет магнитное поле Земли? Как расположена магнитная ось Земли относительно географической оси?
10. Что называется магнитным наклонением и магнитным склонением?
11. Какие факторы могут влиять на точность определения горизонтальной составляющей вектора индукции магнитного поля земли?

Составители

Борис Леонидович Желнов

Сергей Адольфович Полев

Лев Фёдорович Меденцов

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ**

Методические указания  
к лабораторной работе № 39  
для студентов инженерно-технических  
специальностей

Редактор Г.К. Найденова

Санитарно-эпидемиологическое заключение  
№ 54.НК.05.953.П.000148.12.02 от 27.12.2002 г.  
Подписано к печати 17.02.2004. Формат 60х84 1/16  
д.л.

Гарнитура Таймс. Бумага газетная. Ризография.  
Объем 0,75 п.л. Тираж 150 экз. Заказ №

---

Новосибирский государственный архитектурно-  
строительный университет (Сибстрин)  
630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113

---

Отпечатано мастерской оперативной полиграфии НГАСУ