

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«УЛЬЯНОВСКОЕ ВЫСШЕЕ АВИАЦИОННОЕ УЧИЛИЩЕ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ (ИНСТИТУТ)»**

## **Ф И З И К А**

**Методические указания  
по выполнению лабораторной работы  
«ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ»**

**Ульяновск 2015**

УДК 53(075.8)

ББК В3 я7

Ф 50

Физика : метод. указания по выполнению лабораторной работы «Исследование магнитного поля Земли» / С. С. Леонов, В. В. Канонистов. – Ульяновск : УВАУ ГА(И), 2015. – 10 с.

Содержат основные теоретические сведения, необходимые для выполнения работы, контрольные вопросы и рекомендуемую литературу.

Разработаны в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по дисциплине «Физика».

Предназначены для курсантов и студентов заочной формы обучения всех специализаций и профилей подготовки.

УДК 53(075.8)

ББК В3 я7

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа «Исследование магнитного поля Земли» .....	3
1.1. Расчетные зависимости .....	3
1.2. Описание установки.....	5
1.3. Порядок выполнения работы .....	7
Контрольные вопросы .....	8
Рекомендуемая литература.....	9

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

## «ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ»

### Цели работы:

1. Изучить основные понятия о магнитном поле Земли.
2. Изучить метод определения горизонтальной составляющей вектора напряженности магнитного поля Земли с помощью тангенс-буссоли.

### 1.1. Расчетные зависимости

**Индукция и напряженность магнитного поля.** Опыты Эрстеда показывают, что движущийся электрический заряд создает магнитное поле. Магнитное поле, создаваемое током  $I$ , характеризуется вектором магнитной индукции  $\vec{B}$ . Из опыта известно, что этот вектор магнитной индукции зависит от величины и направления тока, формы проводника, расстояния до рассматриваемой точки, расположения этой точки относительно тока, среды, в которой создано поле. Магнитную индукцию  $\vec{B}$  проводника с током можно рассчитать, используя закон Био – Савара – Лапласа, который в скалярной форме имеет вид

$$dB = \frac{\mu\mu_0 I dl \sin \alpha}{4\pi r^2}, \quad (1)$$

где  $I \vec{dl}$  – элемент тока – вектор, совпадающий по направлению с плотностью тока, численно равный произведению тока и элемента длины проводника (рис. 1).

Расчет вектора  $\vec{B}$  по формуле (1) часто встречает математические трудности, т. к.  $\mu$  для некоторых сред (например, ферромагнетиков) является функцией поля и к тому же не выражается аналитически. Поэтому вводится характеристика

магнитного поля, не зависящая от свойств среды, **напряженность магнитного поля  $\vec{H}$** , которая связана с индукцией поля  $\vec{B}$  формулой

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}. \quad (2)$$

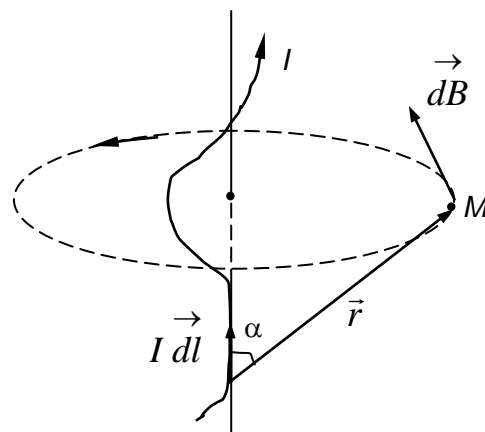


Рис. 1. Закон Био – Савара – Лапласа

Из формулы (2) следует, что закон Био – Савара – Лапласа для вектора напряженности имеет вид:

$$dH = \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi r^2}. \quad (3)$$

Используя формулу (3) можно рассчитать напряженность магнитного поля (а следовательно и  $B$ ) прямого тока (рис. 2) и кругового тока (рис. 3).

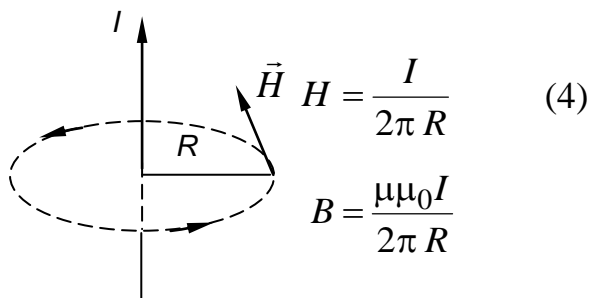


Рис. 2. Прямой ток

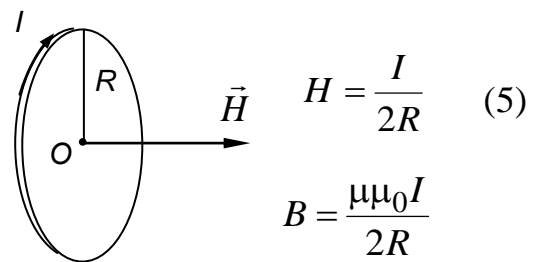


Рис. 3. Круговой ток

Из формулы (5) следует, что единица напряженности есть 1 А/м.

**Элементы Земного магнетизма.** Земля в целом представляет собой огромный шаровой магнит. В любой точке пространства около Земли и на ее поверхности обнаруживается действие магнитных сил. Иными словами, существует магнитное поле, силовые линии которого изображены на рис. 4.

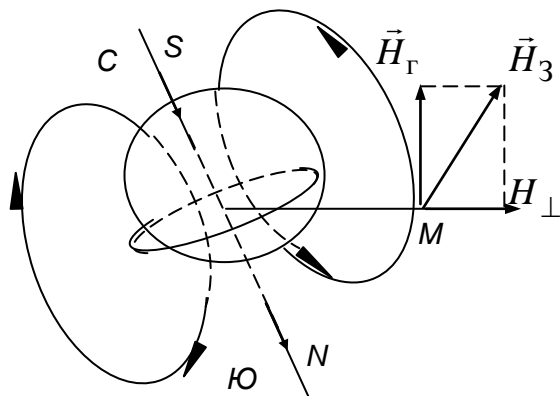


Рис. 4. Силовые линии магнитного поля

Северный магнитный полюс Земли  $N$  находится на Южном географическом полюсе  $Ю$  и, наоборот, южный магнитный полюс  $S$  находится на Севере  $С$ .

Вертикальная плоскость, проходящая через силовую линию и центр Земли, называется **плоскостью магнитного меридиана**. Все плоскости магнитных меридианов пересекаются по прямой  $NS$ , а следы магнитных меридианов на поверхности Земли сходятся в магнитных полюсах  $N$  и  $S$ .

магнитных меридианов на поверхности Земли сходятся в магнитных полюсах  $N$  и  $S$ .

Вектор  $\vec{H}_3$  напряженности магнитного поля Земли в любой точке можно разложить на две составляющие: горизонтальную  $\vec{H}_Г$  и вертикальную  $\vec{H}_\perp$ .

Существование и характер магнитного поля Земли можно установить с помощью магнитной стрелки. Если подвесить ее на нити так, чтобы точка подвеса совпадала с центром тяжести стрелки (рис. 5), то стрелка установится по направлению касательной к линии напряженности поля Земли, т. е. по направлению вектора  $\vec{H}_3$ .

Угол  $\Theta$ , образуемый вектором  $\vec{H}_3$  и горизонтальной плоскостью, называется **углом наклоения**. Значение  $\Theta$  зависит от географической широты точки  $M$ . Так как магнитный полюс не совпадает с географическими полюсами, то стрелка будет отклоняться от географического меридиана на угол  $\alpha$ , который называется **магнитным склонением**.

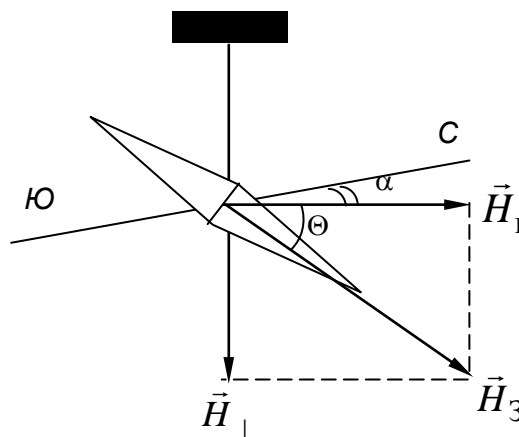


Рис. 5. Магнитная стрелка

Горизонтальная составляющая  $\vec{H}_Г$ , магнитное наклонение  $\Theta$  и склонение  $\alpha$  являются основными элементами земного магнетизма. Значение углов наклонения и склонения дают возможность определить  $\vec{H}_3$  магнитного поля Земли в любой точке ее поверхности.

Если магнитная стрелка может свободно вращаться вокруг вертикальной оси, то она будет устанавливаться под действием  $\vec{H}_Г$  магнитного поля Земли в плоскости магнитного меридиана. Этими свойствами магнитной стрелки широко пользуются для ориентировки в пространстве.

## 1.2. Описание установки

Основной частью лабораторной установки является тангенс-буссоль, представляющий собой плоскую вертикальную катушку радиусом  $R$  с некоторым числом витков  $N$  (рис. 6). В центре катушки находится компас с лим-

бом (буссоль), основой которого является небольшая магнитная стрелка на вертикальной оси. На лимбе буссоли нанесены деления от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

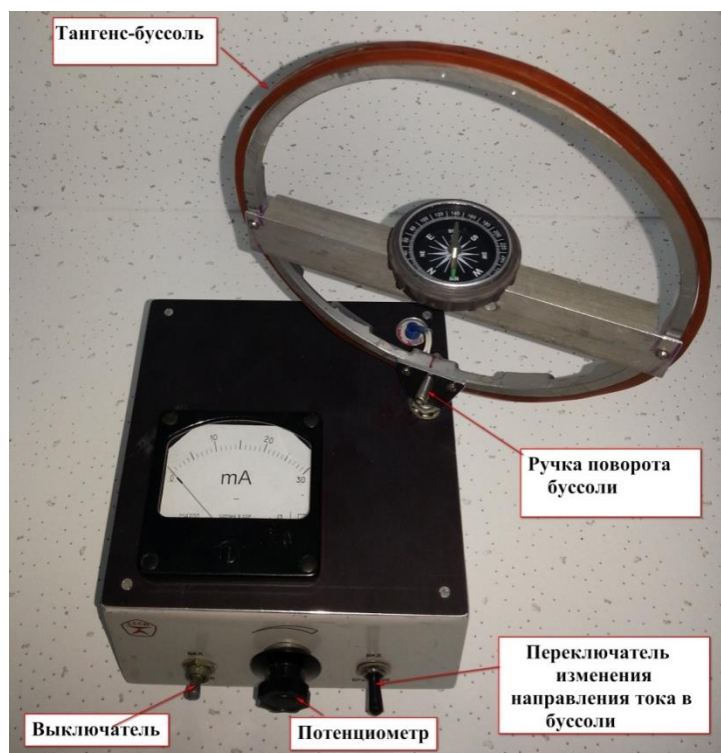


Рис. 6. Тангенс-буссоль

Определение  $\vec{H}_r$  основано на сравнении значения  $H_r$  с напряженностью магнитного поля  $H_I$  в центре кругового тока катушки. Если установить катушку в плоскости магнитного меридиана и пропустить через нее электрический ток, то стрелка буссоли под действием магнитного поля катушки и поля Земли установится по направлению результирующего поля  $\vec{H}$ , численное значение и направление которого определяются его составляющими

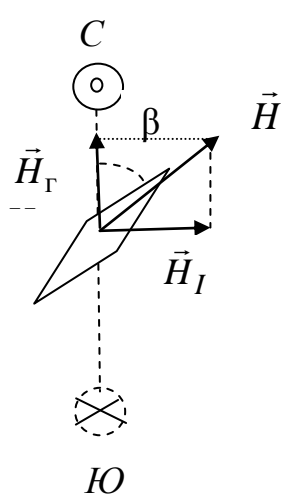


Рис. 7. Определение направления и значения  $\vec{H}$

$\vec{H}_r$  и  $\vec{H}_I$  (рис. 7).

В соответствии с законом Био – Савара – Лапласа

$$H_I = \frac{IN}{2R}. \quad (8)$$

Зная число витков  $N$  катушки, ее радиус и силу тока в ней, можно определить  $H_I$ . По известному углу отклонения стрелки  $\beta$

после включения тока и  $H_I$  определим горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли из рис. 4:

$$H_{\Gamma} = \frac{H_I}{\operatorname{tg}\beta}. \quad (9)$$

Учитывая соотношение (8) перепишем (9) в виде:

$$H_{\Gamma} = \frac{IN}{2R \operatorname{tg}\beta} = \frac{IN}{D \operatorname{tg}\beta}. \quad (10)$$

Число витков катушки  $N$  и ее диаметр  $D$  указаны на макете. Силу тока измеряют миллиамперметром (мА), угол  $\beta$  – по лимбу буссоли.

Чтобы выяснить условия, при которых необходимо производить опыт, рассмотрим погрешность  $\varepsilon_H$  для расчетной формулы (10). Относительная погрешность косвенного измерения определяется формулой

$$\varepsilon_H = \frac{\Delta H_{\Gamma}}{H_{\Gamma}} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{2 \Delta \beta}{\sin(2\beta)}. \quad (11)$$

Из формулы (11) следует, что погрешность  $\varepsilon_H$  будет минимальной при прочих неизменных условиях при  $\beta = \frac{\pi}{4}$ . Следовательно, в данном опыте следует подбирать такую силу тока, чтобы отклонение стрелки было близко к  $45^\circ$ .

Большая погрешность измерения  $H_{\Gamma}$  данным методом возникает из-за того, что трудно точно установить катушку в плоскости магнитного меридиана. Чтобы уменьшить эту погрешность, измеряют два значения силы тока  $I_1$  и  $I_2$  при изменении направления тока в катушке на противоположное для заданного значения угла  $\beta$ . В общем случае  $I_1 \neq I_2$ . В расчетную формулу (10) подставляют среднее значение силы тока  $I = \frac{I_1 + I_2}{2}$ .

В процессе измерений необходимо строго следить за точностью установки катушки в плоскости магнитного меридиана и не допускать ее смещений.

### 1.3. Порядок выполнения работы

1. Включить установку (см. рис. 6). Поворачивая тангенс-буссоль, установить ее плоскость в плоскости магнитного меридиана магнитного поля Земли, ориентируясь на направление магнитной стрелки.

2. Включить источник питания и реостатом установить такой ток, чтобы стрелка отклонилась от плоскости меридиана (плоскости катушки) на заданный угол  $\beta$ . Записать измеренное значение силы тока  $I_1$  в таблицу. Изменить направление тока и повторить опыт для того же угла  $\beta$ . Произвести не менее пяти измерений. Результаты измерений и вычислений занести в следующую таблицу.

№ п/п	$\beta$	$I_1, \text{мА}$	$I_2, \text{мА}$	$I, \text{мА}$	$H_{\Gamma}, \text{А/м}$	$\varepsilon_H, \%$	$\Delta H_{\Gamma}, \text{А/м}$	$H_{\Gamma} \pm \Delta H_{\Gamma}, \text{А/м}$
1								
2								
3								
4								
5								
Ср								

3. Расчет провести по формулам:

$$I = \frac{I_1 + I_2}{2};$$

$$H_I = \frac{IN}{2R \operatorname{tg} \beta} = \frac{IN}{D \operatorname{tg} \beta}.$$

Число витков катушки  $N = 200$ , а ее диаметр  $D = 18$  см. Силу тока измеряют миллиамперметром (мА), угол  $\beta$  – по лимбу буссоли.

4. Оценить погрешности измерений, согласно формуле (11) и занести их в таблицу.

5. Используя результаты измерений, сделать вывод.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что является источником магнитного поля? Как оно может быть обнаружено?

2. Какими величинами характеризуется магнитное поле? Дайте определение этим величинам, назовите единицы их измерения в СИ.



3. Перечислите свойства магнитных силовых линий. Чем они отличаются от электрических силовых линий?
4. Сформулируйте закон Био – Савара – Лапласа.
5. Выведите расчетную формулу прямого бесконечного проводника с током.
6. Выведите расчетную формулу кругового проводника с током.
7. Изобразите вид магнитных силовых линий поля Земли. Что такое горизонтальная составляющая вектора напряженности поля Земли?
8. Какие величины определяют земной магнетизм? Дайте им определение.
9. Выведите расчетную формулу для  $H_r$ .

### **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. – М. : Высшая школа, 2006. – 352 с.

Методические указания  
по выполнению лабораторной работы  
«Исследование магнитного поля Земли»

ФИЗИКА

Составители:

ЛЕОНОВ  
СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ  
КАНОНИСТОВ  
ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ

*Редактор Е. А. Нестерова*  
*Компьютерная верстка И. А. Ерёминой*

---

Подписано в печать 21.04.2015. Формат 60×90/16. Бумага офсетная.

Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,63. Уч.-изд. л. 0,31.

Тираж 50 экз. Заказ № 229.

---

РИО и типография УВАУ ГА(И). 432071, г. Ульяновск, ул. Можайского, 8/8



