



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Практикум

Определение индукции магнитного поля
земли

Лабораторная работа № Э9
по дисциплине

«Физика»

Авторы
Жданова Т.П.,
Лемешко Г.Ф.,
Пруцакова Н.В.

Ростов-на-Дону, 2024

Аннотация

Практикум предназначен для студентов инженерных специальностей всех форм обучения, изучающих физику (раздел «Электричество и магнетизм»).

Авторы

Жданова Т.П. - к.ф.-м.н., доцент
кафедры «Физика»

Лемешко Г.Ф. - к.ф.-м.н., доцент
кафедры «Физика»

Пруцакова Н.В. - к.ф.-м.н., доцент
кафедры «Физика»





Оглавление

Краткая теория.....	4
Описание установки и порядок измерений	8
Контрольные вопросы.....	12
Техника безопасности	13
Список литературы.....	13

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Э9

«Определение индукции магнитного поля Земли»

Цель работы: определение индукции магнитного поля Земли.

Оборудование: катушки Гельмгольца, источник тока, реостат, цифровой мультиметр, инclinатор - прибор, служащий для измерения величины магнитного наклона.

Краткая теория

Магнитное поле – это форма материи, окружающей движущиеся электрические заряды и намагниченные тела.

Магнитное поле действует на движущиеся заряды и на проводники с током.

Силовую характеристику магнитного поля называют индукцией магнитного поля \vec{B} .

Графически магнитное поле принято изображать с помощью линий магнитной индукции.

Линии магнитной индукции (силовые линии магнитного поля) – воображаемые линии, в каждой точке которой вектор магнитной индукции \vec{B} направлен по касательной (рис. 1).

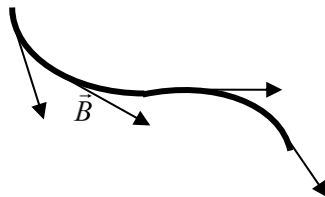


Рис. 1.

Линии индукции магнитного поля всегда замкнуты, что свидетельствует об отсутствии в природе магнитных зарядов. Поле, силовые линии которого всегда замкнуты, называется *вихревым*. Магнитное поле называется *однородным*, если вектор индукции \vec{B} во всех точках поля одинаков по модулю и направлению.

Для магнитного поля справедлив *принцип суперпозиции*: вектор индукции \vec{B} магнитного поля, порождаемого несколькими движущимися зарядами (или токами), равен векторной сумме векторов индукции \vec{B}_i полей, порождаемых каждым зарядом (током) в отдельности:

$$\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i .$$

Закон Био-Савара-Лапласа позволяет определить вектор индукции магнитного поля $d\vec{B}$, создаваемого элементарным проводником $d\vec{\ell}$ с током I в некоторой произвольной точке:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I [d\vec{\ell}, \vec{r}]}{r^3},$$

где $d\vec{\ell}$ – вектор, численно равный длине $d\ell$ элемента проводника и совпадающий по направлению с током I ; \vec{r} – радиус-вектор, проведенный из элемента проводника $d\ell$ в рассматриваемую точку поля (рис. 2).

Если учесть, что $[[d\vec{\ell}, \vec{r}]] = d\ell \cdot r \cdot \sin \alpha$, то модуль вектора $d\vec{B}$, т.е. его числовое значение, будет равен:

$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{Id\ell \sin \alpha}{r^2}.$$

Сила Ампера в векторной форме: $d\vec{F}_A = I[d\vec{\ell}, \vec{B}]$ - сила $d\vec{F}_A$, с которой магнитное поле действует на элемент проводника $d\vec{\ell}$ с током I , находящийся в магнитном поле, прямо пропорциональна силе тока I и векторному произведению элемента $d\vec{\ell}$ на магнитную индукцию \vec{B} .

Сила Ампера в скалярной форме:

$$F_A = BI\ell \sin \alpha,$$

где α – угол между направлением тока и вектором \vec{B} .

Направление силы Ампера можно определить **по правилу левой руки**: если ладонь левой руки расположить так, чтобы линии магнитной индукции входили в неё, а четыре вытянутых пальца направить по току, то отогнутый большой палец укажет направление силы.

Индукция магнитного поля – векторная физическая величина, численно равная силе, действующей в однородном магнитном поле на проводник единичной длины с единичной силой тока, расположенный перпендикулярно линиям индукции:

$$B = \frac{F_A}{I \cdot \ell}.$$

Единицей индукции магнитного поля является тесла:

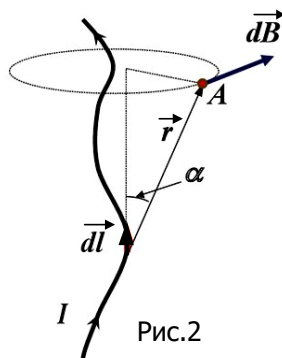


Рис.2

$$1 Tл = 1 \frac{H}{A \cdot м} .$$

$1 Tл$ – магнитная индукция такого однородного поля, в котором на проводник длиной $1 м$ с током $1 А$, помещённый перпендикулярно магнитным силовым линиям, действует сила $1 Н$.

Большой интерес представляет действие магнитного поля на замкнутые проводники с током, поскольку данное явление лежит в основе действия всех современных электрических двигателей и электроизмерительных приборов магнитоэлектрической и электродинамической систем.

Положение контура с током в магнитном поле задается с помощью единичного вектора нормали \vec{n} к плоскости рамки. За положительное направление нормали к рамке принимается направление, связанное с током в рамке правилом правого винта: при вращении головки винта по направлению тока в рамке, поступательное движение винта указывает направление нормали к ней (рис. 3).

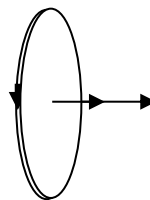


Рис.3

Магнитный момент контура с током – это векторная физическая величина, численно равная произведению силы тока на площадь контура:

$$\vec{p}_m = IS\vec{n}, [p_m] = 1A \cdot м^2 .$$

На любой плоский контур с током, помещенный в однородное магнитное поле, действует **вращающий момент** \vec{M} , стремящийся повернуть контур так, чтобы направление магнитного момента контура \vec{p}_m совпало с направлением магнитной индукции \vec{B} внешнего магнитного поля.

В векторном виде

$$\vec{M} = [\vec{p}_m \vec{B}] .$$

В скалярной форме:

$$M = p_m B \sin \alpha ,$$

где α – угол между направлением векторов \vec{p}_m и \vec{B} .

Таким образом, **индукция магнитного поля** – физическая векторная величина, численно равная максимальному вращающему мо-

менту, действующему на рамку с магнитным моментом, равным единице, когда нормаль к рамке перпендикулярна направлению силовых линий магнитного поля.

Индукция магнитного поля внутри катушек Гельмгольца равна

$$B_{кат} = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 N}{R} I = k \cdot I,$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная постоянная; $N = 154$ – число витков в катушке; I – сила тока в катушке, $R = 0,2 \text{ м}$ – радиус катушки Гельмгольца.

Земля представляет собой естественный магнит. Северный магнитный полюс Земли (N) находится вблизи южного географического полюса ($Ю$), а южный магнитный (S) – вблизи северного географического ($С$).

В пространстве, окружающем Землю, существует магнитное поле, силовые линии которого изображены на рис.4. Силовые линии магнитного поля выходят из северного магнитного полюса и заканчиваются на южном магнитном полюсе.

Если на нити свободно подвесить магнитную стрелку так, чтобы точка подвеса совпала с центром тяжести стрелки, то стрелка установится по касательной к силовой линии магнитного поля Земли, т. е.

вдоль вектора индукции магнитного поля Земли \vec{B}_3 . В любой точке

земной поверхности вектор \vec{B}_3 составляет с поверхностью планеты некоторый угол, называемый углом наклона. Этот угол изменяется от нуля на магнитном экваторе до 90° на магнитном полюсе. В северном полушарии вектор \vec{B}_3 будет наклонён к земле, а в южном – от земли.

Вектор индукции магнитного поля Земли \vec{B}_3 можно разложить на две составляющие: горизонтальную $\vec{B}_{гор}$ и вертикальную $\vec{B}_{верт}$

. Если магнитная стрелка может свободно вращаться только в горизонтальной плоскости, то она будет всегда устанавливаться под действием горизонтальной составляющей магнитного поля Земли в плоскости магнитного меридиана.

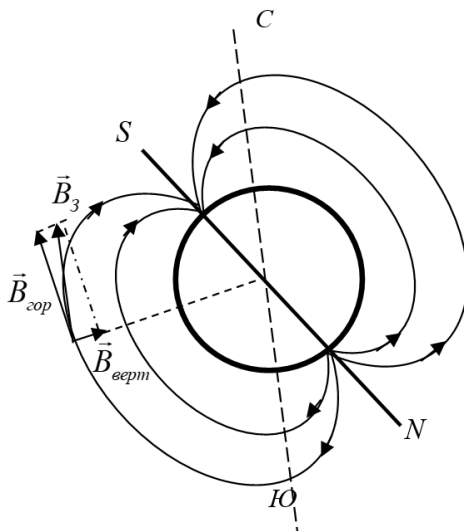


Рис. 4.

Естественное магнитное поле Земли в средних широтах европейской части России имеет значение полного вектора приблизительно $B_{ест} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$.

Описание установки и порядок измерений

Экспериментальная установка представлена на рис. 5.

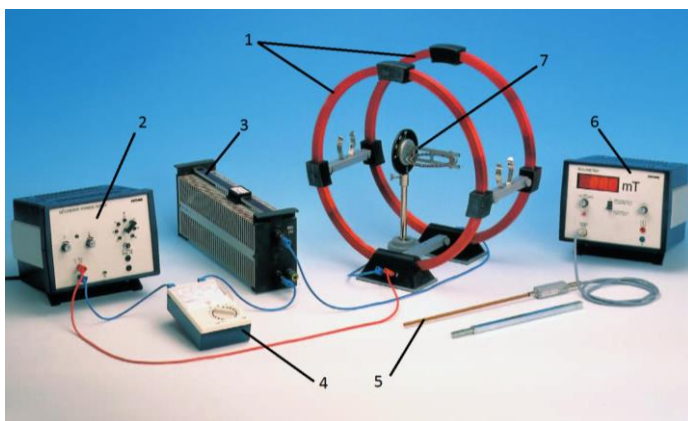


Рис.5.

Катушки Гельмгольца (1) соединены последовательно и подключены к генератору постоянного тока (2) через реостат (3). Мультиметр (4) используется в качестве амперметра. Датчик Холла (5) подсоединен к тесламетру (6). Инclinатор (7) помещён в центр системы катушек Гельмгольца. Инclinатор – это прибор для измерения магнитного наклона (угла, образуемого вектором напряжённости магнитного поля Земли с горизонтальной плоскостью).

Задание 1. Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

1. Расположить инclinатор между катушками так, чтобы центр круга совпадал с центром пары катушек. При этом повернуть его так, чтобы стрелка показывала 0° (без тока). Чтобы убедиться в верном положении стрелки (север-юг) несколько раз надо осторожно повернуть стрелку. Возникшую силу трения можно уменьшить, слегка постучав по прибору.

2. Включить источник постоянного тока.

3. Измерить зависимость угла отклонения β (рис. 6) магнитной стрелки от своего начального положения от малых токов катушки. Ток изменять с помощью реостата.

4. Отключить генератор постоянного тока.

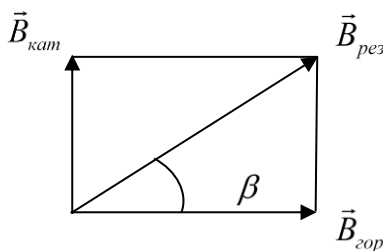


Рис. 6

5. Результаты занести в таблицу.

6. Индукцию магнитного поля, создаваемого катушками Гельмгольца, находимо вычислить для каждого значения силы тока с использованием калибровочного коэффициента

$$k = 0,692 \cdot 10^{-3} \text{ мТл/мА} \quad \text{по формуле}$$

$$B_{кат} = k \cdot I.$$

Таблица

№ пп	β , град	I , мА	$\operatorname{tg}\beta$	$B_{\text{кат}}$, мТл	$B_{\text{гор}}$, мТл	$\Delta B_{\text{гор}}$, мТл	$\delta B_{\text{гор}}$,
1							X
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
Средние значения							

7. Из рис. 6 видно, что горизонтальная составляющая магнитного поля равна

$$B_{\text{гор}} = \frac{B_{\text{кат}}}{\operatorname{tg}\beta} = \frac{k \cdot I}{\operatorname{tg}\beta}.$$

Найти $B_{\text{гор}}$ для каждого значения силы тока.

8. Рассчитать среднее значение:

$$\langle B_{\text{гор}} \rangle = \frac{\sum B_{i\text{гор}}}{n}.$$

9. Рассчитать абсолютные погрешности измерений:

$$\Delta B_{i\text{гор}} = \left| \langle B_{\text{гор}} \rangle - B_{i\text{гор}} \right|.$$

10. Вычислить среднюю абсолютную погрешность:

$$\langle \Delta B_{\text{гор}} \rangle = \frac{\sum \Delta B_{i \text{гор}}}{n}.$$

11. Вычислить относительную погрешность:

$$\delta B_{\text{гор}} = \frac{\langle \Delta B_{\text{гор}} \rangle}{\langle B_{\text{гор}} \rangle}.$$

12. Записать окончательный результат в виде:

$$B_{\text{гор}} = \langle B_{\text{гор}} \rangle \pm \langle \Delta B_{\text{гор}} \rangle.$$

Задание 2. Определение вертикальной составляющей магнитного поля Земли.

1. Отключить катушки от электрического тока, повернуть градуированный круг инclinатора в вертикальную плоскость.

2. Определить угол φ между направлением стрелки и горизонталью.

3. Найти вертикальную составляющую магнитного поля $B_{\text{верт}}$ (рис. 7):

$$B_{\text{верт}} = \langle B_{\text{гор}} \rangle \cdot \text{tg} \varphi.$$

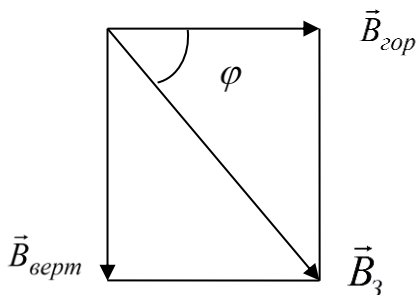


Рис. 7

Задание 3. Определение индукции магнитного поля Земли.

1. Рассчитать индукцию магнитного поля Земли по формуле

$$B_3 = \sqrt{B_{\text{гор}}^2 + B_{\text{верт}}^2} \quad (\text{рис. 7}).$$

2. Сравнить рассчитанную индукцию магнитного поля Земли B_3 с естественным полем Земли

$$(B_{ест} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}).$$

3. Рассчитать относительную погрешность измерений по формуле:

$$\delta B = \frac{|B_3 - B_{ест}|}{B_{ест}}.$$

Контрольные вопросы

1. Описать ход работы, объясняя смысл всех операций. Знать все обозначения, используемые в таблицах.

2. Что называется индукцией магнитного поля? В каких единицах она измеряется?

3. На какие объекты действует магнитное поле?

4. Что называется линией магнитной индукции? Как определяется направление магнитных силовых линий?

5. Как формулируется принцип суперпозиции магнитных полей?

6. Какое магнитное поле называется однородным? Изобразить его графически.

7. Что такое 1 Тл?

8. Запишите силу Ампера.

9. Сформулируйте правило левой руки для определения силы Ампера.

10. Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении работы необходимо убедиться, что все токоведущие части электрической схемы изолированы. категорически запрещается касаться руками или другими предметами зажимов цепи, находящихся под напряжением. по окончании работы обязательно отключить электрическую схему от источника напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Благин А.В. Физика для инженеров / А.В. Благин, Т.С. Беликова, Т.П. Жданова и др. – Ростов-на-Дону.: ДГТУ, 2022. - 601 с.
2. Трофимова, Т. И. Физика. Краткий курс.: учебное пособие / Т. И. Трофимова. - Москва: КноРус, 2020. - 271 с.