

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Методические указания к лабораторной работе № 16 по физике

Екатеринбург

УрФУ

2019

УДК 537.67(076.5)

Составители: Ю. Г. Карпов, В. С. Гушин, А. Ю. Бункин

Научный редактор – д-р физ.-мат. наук, проф. Ф. А. Сидоренко

Изучение магнитного поля Земли : методические указания к лабораторной работе № 16 / сост. Ю. Г. Карпов, В. С. Гушин, А. Ю. Бункин. – Екатеринбург : УрФУ, 2019. – 20 с.

В работе изложен метод измерения магнитного поля Земли, основанный на компенсации ЭДС индукции, возникающей во вращающейся рамке разностью потенциалов на участке электрической цепи.

Указания предназначены для студентов всех специальностей всех форм обучения.

Табл. 2. Рис. 7. Прил. 1.

Подготовлено кафедрой физики

© Уральский федеральный
университет, 2019

ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

1. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Как известно, Земля окружена магнитным полем. Изучение его имеет чрезвычайно важное практическое и научное значение. Точное знание составляющих магнитного поля Земли играет весьма важную роль в навигации, при поисках месторождений железной руды и других полезных ископаемых.

Это поле, как и всякое другое магнитное поле, в каждой точке характеризуется вектором магнитной индукции \vec{B} . Магнетизм Земли

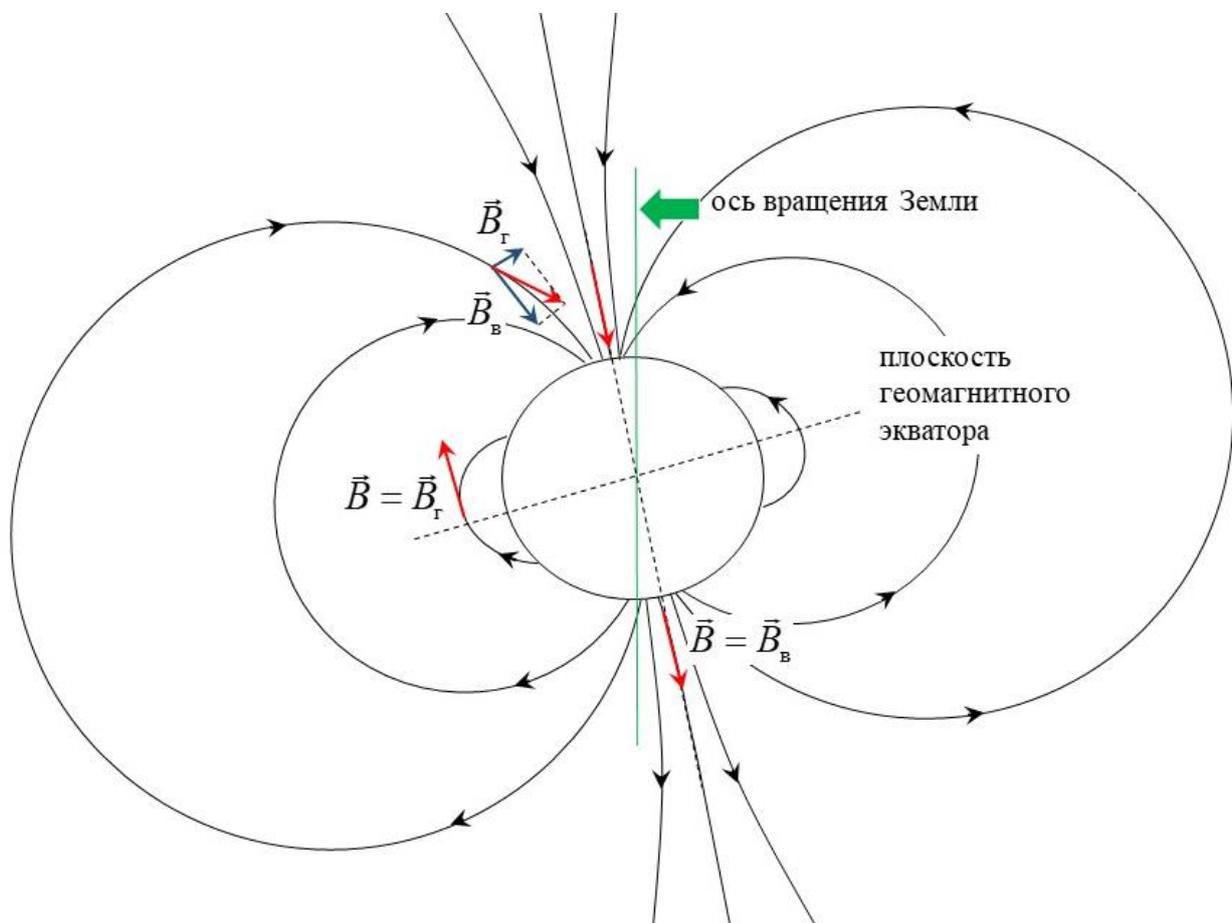


Рис. 1. Магнитное поле Земли

обусловлен действием постоянных источников, расположенных внутри Земли. Сложную картину магнитного поля Земли в первом приближении можно

представить полем однородного намагниченного шара, магнитный момент которого направлен под углом $11,5^\circ$ к оси вращения Земли (рис. 1).

Вектор \vec{B} магнитного поля Земли в любой точке земной поверхности лежит в вертикальной плоскости, которую называют плоскостью магнитного меридиана этой точки. Плоскость магнитного меридиана проходит через магнитные полюсы Земли. Именно в этой плоскости ориентируется свободная магнитная стрелка (например, стрелка компаса).

Поскольку вектор магнитной индукции в любой точке земного шара, кроме точек магнитного экватора, образует с горизонтальной плоскостью угол, отличный от нуля (см. рис. 1), его можно разложить на две составляющие: горизонтальную $\vec{B}_Г$ и вертикальную $\vec{B}_В$.

Целью настоящей работы является изучение магнитного поля Земли, а именно определение его горизонтальной и вертикальной составляющих. Оказывается, что определить составляющие магнитного поля Земли можно с помощью метода, в основе которого лежит явление электромагнитной индукции.

2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Явление электромагнитной индукции состоит в том, что в любом контуре при изменении потока вектора магнитной индукции, сцепленного с этим контуром, возбуждается электродвижущая сила – ЭДС индукции.

Согласно закону электромагнитной индукции Фарадея, ЭДС индукции, возникающая в контуре, прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока, сцепленного с контуром, и противоположна ей по знаку:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt},$$

где ε_i – ЭДС индукции; t – время; Φ – поток вектора магнитной индукции сквозь поверхность, опирающуюся на контур; $d\Phi/dt$ – скорость изменения потока вектора магнитной индукции.

Поток вектора магнитной индукции Φ – скалярная физическая величина, определяемая выражением

$$\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S},$$

где \vec{B} – вектор магнитной индукции в месте нахождения элемента поверхности dS ; вектор $d\vec{S}$ направлен по нормали к элементу поверхности dS ; $\vec{B}d\vec{S} = B dS \cos(\vec{B}, d\vec{S})$ – скалярное произведение этих двух векторов. Интегрирование проводится по всей поверхности, опирающейся на контур.

Для данного контура в данном поле поток Φ не зависит от формы и размеров поверхности, опирающейся на контур. Поэтому для расчета Φ удобно строить простейшую поверхность. Например, поток Φ однородного магнитного поля B , сцепленный с плоской рамкой площадью S , рассчитывается по формуле

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

где S – площадь рамки; α – угол между направлением поля и нормалью к плоскости рамки.

Пусть проводящий контур представляет собой катушку, содержащую N витков провода, намотанного на плоскую рамку площадью S . Площадь поверхности, которую пронизывают линии магнитного поля, в N раз больше площади одного витка. Поэтому магнитный поток, сцепленный с катушкой, равен

$$\Phi = BNS \cos \alpha.$$

Пусть катушка вращается с угловой скоростью ω вокруг оси, лежащей в плоскости катушки, а B – составляющая магнитной индукции постоянного однородного магнитного поля, перпендикулярная оси вращения катушки. Тогда угол α изменяется со временем по следующему закону:

$$\alpha = \omega t = 2\pi \frac{t}{T},$$

где T – период вращения катушки. В катушке возникает ЭДС индукции

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} BNS \cdot \cos \alpha = -BNS \frac{d}{dt} \cdot \cos \omega t = BNS\omega \cdot \sin \omega t,$$

которая, как следует из полученной формулы, изменяется со временем по гармоническому закону.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ ИНДУКТОРА

При вращении рамки в постоянном магнитном поле в ней возникает ЭДС индукции. Если концы рамки подключить к внешнему сопротивлению R , то в такой электрической цепи потечет индукционный ток. Его величина в произвольный момент времени

$$i = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{N\omega BS}{R} \sin \omega t.$$

Величину магнитной индукции можно определить, если измерить мгновенное значение ЭДС, или силы индукционного тока (при известных N, ω, S, R). Вместо измерения мгновенного значения ЭДС индукции (или силы индукционного тока) легче определить их средние значения за половину периода $T/2$:

$$\langle \varepsilon_i \rangle = \langle N\omega BS \sin \omega t \rangle,$$

но по теореме о среднем значении

$$\langle \sin \omega t \rangle = \left(\frac{T}{2} \right)^{-1} \int_0^{\frac{T}{2}} \sin \omega t dt = \frac{2}{T} \frac{\cos \omega t}{\omega} \Big|_0^{\frac{T}{2}} = \frac{2}{\pi},$$

следовательно,

$$\langle \varepsilon_i \rangle = N \frac{2\pi}{T} BS \frac{2}{\pi} = \frac{4BSN}{T}, \quad (1)$$

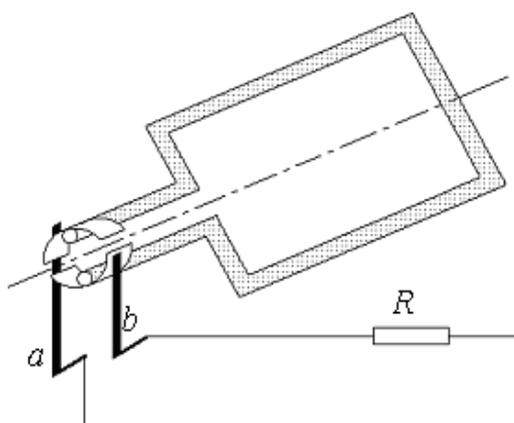
откуда

$$B = \frac{\langle \varepsilon_i \rangle T}{4SN}; \quad (2)$$

здесь T – период вращения индуктора, S и N – соответственно площадь поперечного сечения и число витков катушки.

В данной лабораторной работе индуктор – это плоская катушка, состоящая из большого числа витков провода, которая может свободно вращаться относительно фиксированной в пространстве оси. Ориентация последней определяется условиями конкретной задачи.

Рис. 2. Электрическая схема выпрямления индукционного тока



На рис. 2 показан индуктор, содержащий один виток. Для получения знакопостоянной ЭДС индукции (или индукционного тока одного направления) концы обмотки индуктора (в данном случае – одного витка) соединены с двумя изолированными друг от друга полукольцами – коллектором (см. рис. 2).

При такой конструкции индуктора щетки *a* и *b* будут попеременно в контакте то с одним, то с другим полукольцом, при этом в цепи потечет ток переменной величины, но одного направления (рис. 3).

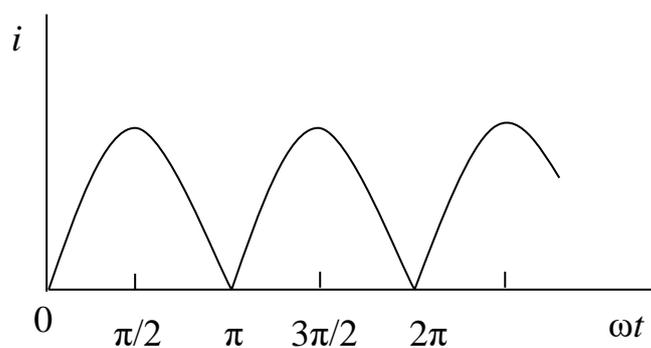


Рис. 3. Временная зависимость индукционного тока

Среднее значение пульсирующего индукционного тока зависит от среднего значения $\langle \varepsilon_i \rangle$ и от полного сопротивления электрической цепи – R (рис. 3).

Среднее значение ЭДС индукции $\langle \varepsilon_i \rangle$ определяется методом компенсации. Для этого индуктор присоединяют к двум точкам C и D цепи, питаемой от источника постоянного тока (рис. 4). Разность потенциалов U_{CD} , созданная источником тока ε на участке CD , должна скомпенсировать ЭДС индукции, возникающую в индукторе при его вращении в магнитном поле. Условие компенсации достигается подбором скорости вращения индуктора. При наличии компенсации ток в индукторе отсутствует, это зафиксируется гальванометром G . Средняя ЭДС индукции при этом по абсолютной величине равна разности потенциалов, существующей между точками C и D :

$$\langle \varepsilon_i \rangle = U_{CD}. \quad (3)$$

Поскольку участок CD однородный, разность потенциалов на его концах

равна произведению сопротивления участка на ток в нем:

$$U_{CD} = Ir.$$

Следовательно,

$$\langle \varepsilon_i \rangle = Ir. \quad (4)$$

Подставив в (2) выражение (4), получим расчетную формулу для вычисления проекции

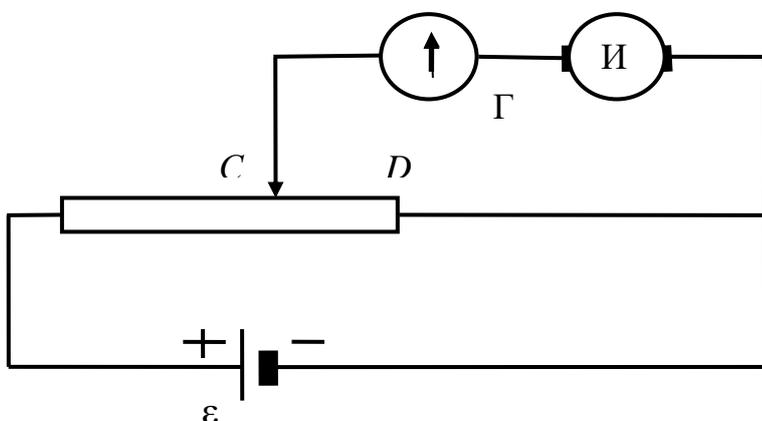


Рис. 4. Электрическая схема метода компенсации

вектора магнитной индукции

$$B = \frac{IrT}{4d^2N}, \quad (5)$$

где d^2 – площадь поперечного сечения индуктора, выраженная через сторону квадрата d ; остальные обозначения прежние.

Для измерения горизонтальной составляющей магнитной индукции Земли индуктор, очевидно, следует вращать вокруг вертикальной оси (рис. 5), а для измерения вертикальной составляющей индукции магнитного поля Земли – вокруг горизонтальной оси (рис. 6).

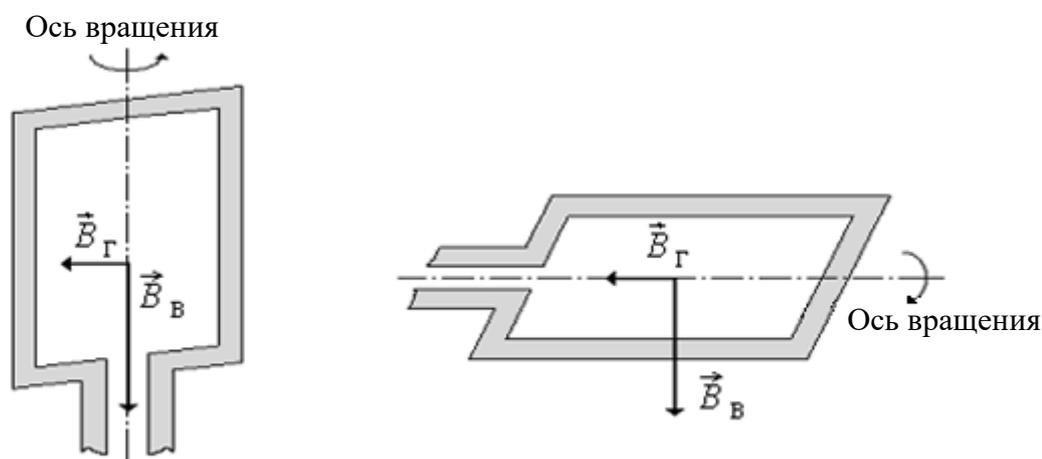


Рис. 5. Положение индуктора при изучении горизонтальной составляющей магнитной индукции Земли

Рис. 6. Положение индуктора при изучении вертикальной составляющей магнитной индукции Земли

Именно в таких положениях индуктора поток вертикальной составляющей магнитной индукции Земли в первом случае и горизонтальной составляющей во втором будут неизменными и равными нулю.

Понятно, что расчетной формулой для определения обеих составляющих магнитного поля Земли будет выражение (5). Таким образом, достаточно в соответствии с условием компенсации ЭДС индукции измерить период вращения индуктора при определенном положении оси вращения последнего, и мы получим абсолютные значения горизонтальной и вертикальной составляющих магнитной индукции Земли.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь в соответствии со схемой, изображенной на рис. 7. Основная цепь состоит из источника постоянного тока ε , реостата R , сопротивлений r , микроамперметра μA и ключа K_1 . Цепь индуктора содержит индуктор I , нуль-гальванометр Γ , дополнительное сопротивление r .

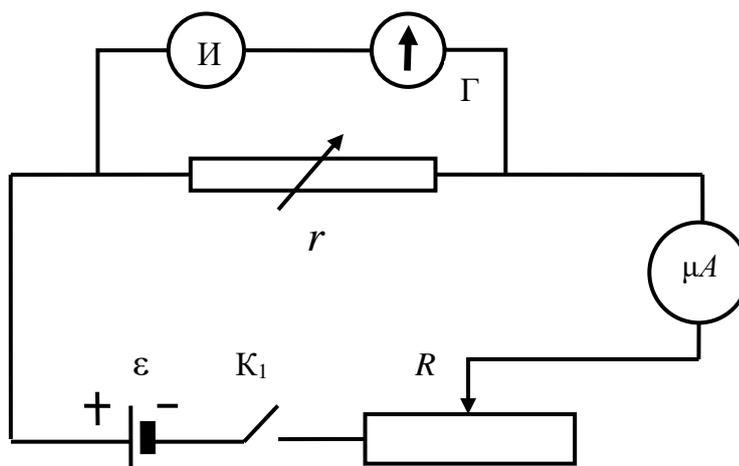


Рис. 7. Схема электрической цепи

2. Заполнить таблицу «Средства измерений и их характеристики» отчета по работе (см. приложение).

Определение горизонтальной составляющей

1. Установите ось вращения рамки индуктора вертикально, замкните ключ K_1 (см. рис. 7) установки, установите рекомендуемые значения сопротивления r и основного тока в цепи для данной составляющей, установите тумблер в положение «Горизонтальная составляющая».

2. Начните вращать рамку индуктора в таком направлении и ***с такой скоростью***, чтобы стрелка нуль-гальванометра совершала малые колебания около нулевой отметки шкалы.

3. Запустите секундомер и отсчитайте 50 оборотов. Запишите и сбросьте показания секундомера.

4. Повторите пункты 2 и 3 пять раз.

Определение вертикальной составляющей

1. Установите ось вращения рамки индуктора горизонтально, установите рекомендуемые значения сопротивления r и основного тока в цепи для данной составляющей, установите тумблер в положение «Вертикальная составляющая».

2. Повторите пункты 2 и 3 пять раз для вертикальной составляющей.

3. Перепишите результаты измерений в табл. 1 и 2 (см. приложение), выключите установку, разберите электрическую цепь.

4. Используя значения параметров установки, приведенные в табличке на установке, проведите расчеты, оформите отчет и сдайте его на проверку.

Расчет составляющих магнитной индукции Земли и доверительных границ погрешности результата измерения

1. По формуле (5) с использованием средних значений периода рассчитайте горизонтальную и вертикальную составляющие магнитного поля Земли: $\langle B_H \rangle$ и $\langle B_V \rangle$.

2. Затем вычислите границы погрешности результата измерения составляющих магнитного поля Земли в относительной форме по формуле

$$\gamma = \frac{\Delta_B}{\langle B \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_r}{r}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\langle T \rangle}}{\langle T \rangle}\right)^2}, \quad (6)$$

где $\Delta_I, \Delta_r, \Delta_d, \Delta_{\langle T \rangle}$ – границы полных погрешностей, которые следует рассчитывать так:

$$\Delta_x = \sqrt{\theta_x^2 + \varepsilon_x^2}, \quad (7)$$

где θ_x – доверительная граница неисключенной систематической погрешности; ε_x – доверительная граница случайной погрешности результата измерения величины x .

Граница неисключенной систематической погрешности

$$\theta_x = 1,1\sqrt{\theta_{\text{осн}}^2 + \theta_{\text{отс}}^2 + \theta_{\text{М}}^2}; P = 0,95, \quad (8)$$

где $\theta_{\text{осн}}$ – рассчитывается по классу точности прибора по формуле

$$\theta_{\text{осн}} = x_{\text{max}} \frac{\delta}{100}, \quad (9)$$

где δ – класс точности прибора; x_{max} – верхний предел измерения прибором (или номинальное значение); $\theta_{\text{отс}}$ – погрешность отсчитывания, принимаемая равной половине цены деления шкалы; $\theta_{\text{М}}$ – погрешность метода (если она существенна, то будет задана, в противном случае принимается равной нулю).

Доверительная граница случайной погрешности находится по формуле

$$\varepsilon_x = t_{P,n} S_{\langle x \rangle}, \quad (10)$$

где $t_{P,n}$ – коэффициент Стьюдента, зависящий от принятой доверительной вероятности P и числа измерений n (в данной лабораторной работе $n = 5$, $P = 0,95$, а $t_{0,95;5} = 2,77$); $S_{\langle x \rangle}$ – среднее квадратическое отклонение среднего арифметического, рассчитываемое как

$$S_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}}; \quad (11)$$

под $\langle x \rangle$ – понимается среднее арифметическое измеряемой величины, а под x_i – результат i -го наблюдения.

Граница полной погрешности измерения силы тока I будет определяться только границей неисключенной систематической погрешности (принимая, что $\varepsilon_I = 0$):

$$\Delta_I = \theta_I = 1,1 \sqrt{\left(I_{\max} \frac{\delta}{100} \right)^2 + \left(\frac{C}{2} \right)^2},$$

где I_{\max} – предел измерений по шкале микроамперметра; δ – класс точности микроамперметра; C – минимальная цена деления шкалы прибора.

При вычислении границы полной погрешности в измерении сопротивления r также полагаем $\varepsilon_r = 0$, поэтому Δ_r задается в карточке на установке.

Граница полной погрешности в определении геометрических размеров индуктора Δ_d не рассчитывается, она приводится в рекомендуемых данных.

Границу полной погрешности измерения периода вращения индуктора следует рассчитывать с учетом доверительных границ как случайной, так и систематической погрешности. В первую очередь оцените границу систематической погрешности, которая определяется исключительно погрешностью отсчитывания временного интервала и может быть рассчитана по соотношению

$$\theta_{\langle T \rangle} = \langle T \rangle \frac{\Delta_t}{t_{\min}}, \quad P = 0,95$$

где $\langle T \rangle$ – среднее значение периода для данной составляющей; Δ_t – граница полной погрешности отсчитывания временного интервала ($\Delta_t = C$, где C – минимальная цена деления шкалы цифрового секундомера); t_{\min} – минимальный временной интервал при изучении соответствующей составляющей (см. табл. 1 и 2).

3. Далее рассчитайте среднее квадратическое отклонение для каждой составляющей в отдельности по формуле (11) и сравните его с соответствующим значением доверительной границы систематической погрешности:

– если $\theta_{\langle T \rangle} / S_{\langle T \rangle} < 0,8$, систематической погрешностью по сравнению со случайной пренебрегают и принимают, что граница погрешности результата измерения периода $\Delta_{\langle T \rangle} = \varepsilon_{\langle T \rangle}$;

– если $\theta_{\langle T \rangle} / S_{\langle T \rangle} > 8$, то случайной погрешностью по сравнению с систематической пренебрегают и принимают, что граница погрешности результата измерения равна $\Delta_{\langle T \rangle} = \theta_{\langle T \rangle}$;

– если $0,8 < \theta_{\langle T \rangle} / S_{\langle T \rangle} < 8$, то необходимо учитывать обе составляющие погрешности измерения. В этом случае доверительную границу погрешности результата оцените по формуле (7).

4. Полученные значения для Δ_I , Δ_r , Δ_d и Δ_T подставьте в формулу (6) и произведите расчет γ .

5. Найдите границы абсолютной погрешности результатов измерений горизонтальной и вертикальной составляющих магнитной индукции Земли

$$\Delta_B = \gamma \langle B \rangle, P = 0,95.$$

6. Окончательный результат:

$$B_{\Gamma} = \langle B_{\Gamma} \rangle \pm \Delta_{B_{\Gamma}}, \text{ Тл}; P = 0,95;$$

$$B_{\text{В}} = \langle B_{\text{В}} \rangle \pm \Delta_{B_{\text{В}}}, \text{ Тл}; P = 0,95.$$

Напоминаем, что погрешности окончательного результата должны быть выражены одной значащей цифрой.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Сформулируйте цель работы.

2. Какое направление имеет вектор магнитной индукции Земли на широте города, в котором вы учитесь?
3. Дайте определение потока вектора магнитной индукции.
4. В чем состоит явление электромагнитной индукции? Сформулируйте правило Ленца.
5. Выведите формулу для ЭДС индукции, возникающей в рамке при ее вращении в однородном магнитном поле.
6. Опишите метод определения составляющих вектора магнитной индукции Земли, применяемый в настоящей работе.
7. Как происходит выпрямление переменного тока во внешней цепи индуктора?
8. В чем смысл компенсационного метода измерения ЭДС?
9. С какой скоростью необходимо вращать рамку индуктора в данной работе?
10. Как в данной работе измеряется каждая из величин, входящих в расчетную формулу (5)?
11. Как должна быть ориентирована ось вращения индуктора при определении горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли? Как следует расположить ось вращения при изучении вертикальной составляющей?
12. Запишите формулы для расчета границ погрешностей результата измерений составляющих магнитной индукции Земли.

УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра физики

О Т Ч Е Т

по лабораторной работе №16

«ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ»

Студент(ка) _____

Группа _____

Преподаватель _____

Дата _____

1. Расчетная формула для измеряемой величины

$$B = \frac{I \cdot r \cdot T}{4d^2 \cdot N}$$

где I - _____
 T - _____
 N - _____
 r - _____
 d - _____

2. Средства измерения и их характеристики

Наименование средства измерения	Предел измерений	Цена деления шкалы	Класс точности, δ	Предел основной погрешности, $\theta_{\text{осн}}$
Микро-амперметр				
Нуль-гальванометр				
Секундомер				

Рекомендуемые данные:

$$d = (\quad \pm \quad) \text{ см};$$

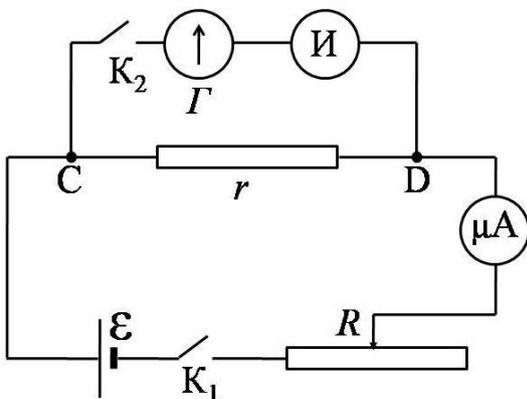
$$I_{\Gamma} = \quad \pm \quad \text{ мкА};$$

$$I_{\text{В}} = \quad \pm \quad \text{ мкА};$$

$$r_{\Gamma} = \quad \pm \quad \text{ Ом};$$

$$r_{\text{В}} = \quad \pm \quad \text{ Ом}.$$

3. Схема электрической цепи



I - _____
 Γ - _____
 r - _____
 $\mu\text{А}$ - _____
 K_1 - _____
 K_2 - _____
 ε - _____
 R - _____

4. Результаты измерений

Определение периода вращения индуктора при изучении горизонтальной составляющей магнитной индукции

Таблица 1

Число оборотов индуктора	Показания секундомера, с	Период вращения индуктора $T_{iГ}$, с	$(T_{iГ} - \langle T_{Г} \rangle)$, с	$(T_{iГ} - \langle T_{Г} \rangle)^2$, с ²
50				
50				
50				
50				
50				
Средний период $\langle T_{Г} \rangle =$			$\sum_{i=1}^5 (T_{iГ} - \langle T_{Г} \rangle)^2 =$	

Определение периода вращения индуктора при изучении вертикальной составляющей магнитной индукции

Таблица 2

Число оборотов индуктора	Показания секундомера, с	Период вращения индуктора $T_{iВ}$, с	$(T_{iВ} - \langle T_{В} \rangle)$, с	$(T_{iВ} - \langle T_{В} \rangle)^2$, с ²
50				
50				
50				
50				
50				
Средний период $\langle T_{В} \rangle =$			$\sum_{i=1}^5 (T_{iВ} - \langle T_{В} \rangle)^2 =$	

5. Расчет искомой величины:

$$\langle B_{Г} \rangle = \frac{I_{Г} \cdot r_{Г} \cdot \langle T_{Г} \rangle}{4d^2 \cdot N} =$$

Тл.

$$\langle B_{В} \rangle = \frac{I_{В} \cdot r_{В} \cdot \langle T_{В} \rangle}{4d^2 \cdot N} =$$

Тл.

6. Расчет границы относительной погрешности результата измерений

6.1. Для горизонтальной составляющей:

$$\Delta_I = \theta_I = 1,1 \sqrt{\left(I_{\max} \frac{\delta}{100}\right)^2 + \left(\frac{C}{2}\right)^2} = \text{мкА.}$$

$$\Delta_r = \theta_r = \text{Ом.}$$

$$\Delta_d = \text{см.}$$

$$\varepsilon_T = t_{p,n} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{i\Gamma} - \langle T_\Gamma \rangle)^2}{n(n-1)}} = \text{с.}$$

$$\Delta_{\langle T \rangle} = \sqrt{\theta_{\langle T \rangle}^2 + \varepsilon_T^2} = \text{с.}$$

$$\gamma_{B_\Gamma} = \frac{\Delta_{B_\Gamma}}{\langle B_\Gamma \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_r}{r}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\langle T \rangle}}{\langle T_\Gamma \rangle}\right)^2} =$$

6.2. Для вертикальной составляющей:

$$\Delta_I = \theta_I = 1,1 \sqrt{\left(I_{\max} \frac{\delta}{100}\right)^2 + \left(\frac{C}{2}\right)^2} = \text{мкА.}$$

$$\Delta_r = \theta_r = \text{Ом.}$$

$$\Delta_d = \text{см.}$$

$$\varepsilon_T = t_{p,n} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{iB} - \langle T_B \rangle)^2}{n(n-1)}} = \text{с.}$$

$$\Delta_{\langle T \rangle} = \sqrt{\theta_{\langle T \rangle}^2 + \varepsilon_T^2} = \text{с.}$$

$$\gamma_{B_B} = \frac{\Delta_{B_B}}{\langle B_B \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_r}{r}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\langle T \rangle}}{\langle T_B \rangle}\right)^2} =$$

7. Расчет границы абсолютной погрешности результата измерений

$$\Delta_{B_\Gamma} = \gamma_{B_\Gamma} \cdot \langle B_\Gamma \rangle = \text{Тл.}$$

$$\Delta_{B_B} = \gamma_{B_B} \cdot \langle B_B \rangle = \text{Тл.}$$

8. Окончательный результат:

$$B_{\Gamma} = \langle B_{\Gamma} \rangle \pm \Delta_{B_{\Gamma}} = \quad \pm \quad \text{Тл}; \quad P = 0,95.$$

$$B_{\text{В}} = \langle B_{\text{В}} \rangle \pm \Delta_{B_{\text{В}}} = \quad \pm \quad \text{Тл}; \quad P = 0,95.$$

9. Выводы.

Учебное издание

ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Составители: **Карпов** Юрий Григорьевич

Гущин Владимир Силантьевич

Бункин Александр Юрьевич

Редактор *В. И. Новикова*
Компьютерный набор *Н. Н. Суслиной*

Подписано в печать г. Формат 60×84 1/16.

Бумага писчая. Плоская печать. Усл. печ. л. 1,04.

Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 100 экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел УрФУ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19
rio@ustu.ru

Ризография НИЧ УрФУ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19