

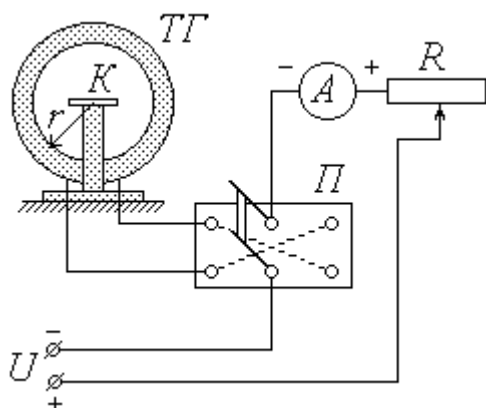


Работа 3.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Цель работы: 1) практическое изучение магнитного поля кругового тока и принципа суперпозиции полей;
2) экспериментальное определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

Схема экспериментальной установки



$TГ$ – тангенс-гальванометр;

K – компас;

$П$ – переключатель;

A – миллиамперметр;

R – реостат;

U – источник постоянного напряжения

Описание установки и методики измерений

Основным элементом лабораторной установки является тангенс-гальванометр $TГ$, представляющий собой короткую катушку сравнительно большого радиуса r , витки которой расположены в вертикальной плоскости. В центре катушки на специальной горизонтальной площадке находится компас K . Катушка состоит из N витков провода, концы которого подсоединяются через переключатель $П$ к цепи источника постоянного напряжения U . Как видно из схемы, установка контакта переключателя в среднее положение оставляет цепь разомкнутой, а фиксация его в левом и правом положениях замыкает цепь, причем направление тока через катушку в этих случаях будет противоположным. Для изменения величины тока в цепи источника включен реостат R , а для измерения силы тока служит миллиамперметр A .

Как известно, протекание тока по проводнику создает в окружающем пространстве магнитное поле. Так как длина катушки во много раз меньше ее радиуса r , ее можно рассматривать как один круговой виток, по которому течет ток I_e , равный

$$I_e = NI, \quad (1)$$

где I – сила тока во внешней (по отношению к катушке) цепи. Из закона Био-Савара-Лапласа следует, что индукция магнитного поля \mathbf{B}_k в центре кругового витка радиусом r при протекании по нему тока I_e равна по модулю

$$B_k = \frac{\mu_0 \mu I_{\text{с}}}{2r}, \quad (2)$$

где μ_0 – магнитная постоянная; μ – относительная магнитная проницаемость среды. В воздухе $\mu \approx 1$; таким образом, с учетом соотношения (1) формула (2) примет вид

$$B_k = \frac{\mu_0 N I}{2r}. \quad (3)$$

В дальнейшем величину B_k будем называть индукцией магнитного поля катушки. Направление вектора \mathbf{B}_k связано с направлением тока правилом правого винта (буравчика), т.е. \mathbf{B}_k направлен вдоль оси катушки.

Когда электрическая цепь разомкнута, магнитная стрелка компаса K находится под воздействием единственного внешнего магнитного поля – поля Земли. При этом стрелка ориентирована вдоль магнитного меридиана, совпадающего с направлением горизонтальной составляющей \mathbf{B}_0 индукции магнитного поля Земли. Перед началом измерений необходимо установить плоскость катушки параллельно магнитному меридиану; в этом случае направление стрелки перпендикулярно оси катушки.

При замыкании цепи по катушке течет ток, и магнитная стрелка оказывается под влиянием двух полей: поля Земли с индукцией \mathbf{B}_0 и поля катушки с индукцией \mathbf{B}_k . Согласно принципу суперпозиции индукция \mathbf{B} результирующего магнитного поля равна

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_k.$$

Стрелка компаса ориентируется в направлении результирующего поля, т.е. отклоняется от первоначального направления на некоторый угол φ (рис. 20). На рис. 21 показано взаимное расположение векторов \mathbf{B}_0 , \mathbf{B}_k и \mathbf{B} в горизонтальной плоскости, проходящей через центр катушки. При условии начальной ориентации плоскости катушки параллельно магнитному меридиану векторы \mathbf{B}_0 и \mathbf{B}_k взаимно перпендикулярны; как видно из рисунка, их модули в этом случае связаны соотношением

$$B_k = B_0 \operatorname{tg} \varphi,$$

откуда, с учетом (3),

$$B_0 = \frac{\mu_0 N I}{2r \operatorname{tg} \varphi}. \quad (4)$$

Таким образом, с помощью тангенс-гальванометра можно экспериментально определить величину горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли. Для этого необходимо знать радиус r и число витков N катушки, а также измерить силу тока I и соответствующий угол φ отклонения магнитной стрелки.

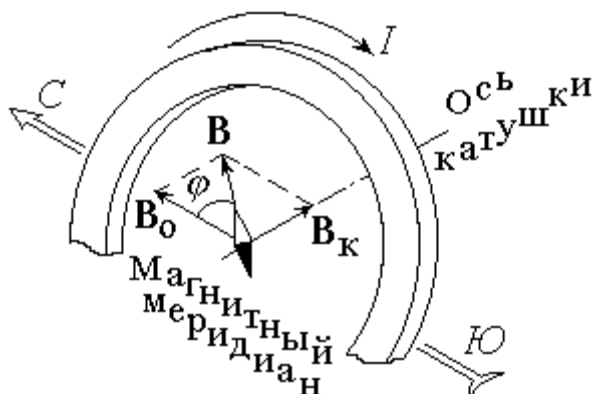


Рис. 20

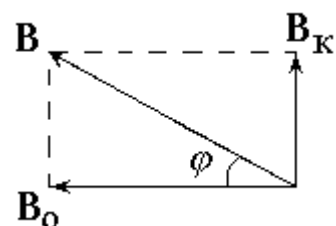


Рис. 21

С целью получения более достоверного результата следует повторить опыт несколько раз при различных значениях силы тока I . При этом величины μ_0 , N и r не изменяются, и формулу (4) целесообразно представить в виде

$$B_0 = C \cdot \frac{I}{\operatorname{tg} \varphi}, \quad (5)$$

где

$$C = \frac{\mu_0 N}{2r}. \quad (6)$$

Точно установить плоскость катушки параллельно магнитному меридиану практически невозможно. Для того, чтобы уменьшить возникающую из-за этого ошибку, нужно при одной и той же величине тока I измерять углы отклонения стрелки φ_1 и φ_2 , соответствующие противоположным направлениям тока через катушку, а в формулу (5) подставлять среднее значение угла

$$\varphi = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}. \quad (7)$$

Порядок измерений и обработки результатов

1. Ознакомьтесь с лабораторной установкой. Запишите в тетрадь значения радиуса катушки r (в метрах) и числа витков N . По формуле (6) рассчитайте константу C ; ее значение (в $\text{Гн}/\text{м}^2$) также запишите в тетрадь.

2. Определите класс точности K_A , предел измерения I_{max} и цену деления миллиамперметра. Научитесь снимать показания этого прибора. Рассчитайте абсолютную приборную погрешность измерения силы тока δI . Значения K_A , I_{max} и δI запишите в тетрадь.

☒ 3. На площадке в центре катушки тангенс-гальванометра установите компас K . Расположите его таким образом, чтобы линия С – Ю или 0 – 180° лежала в плоскости катушки перпендикулярно ее оси.

4. Определите цену деления компаса и научитесь снимать углы отклонения стрелки в обоих направлениях от нулевого деления. Оцените абсолютную приборную погрешность $\delta\varphi$ и, выразив ее в радианах, запишите в тетрадь.

5. Освободите стрелку компаса. Поверните плоскость катушки так, чтобы стрелка компаса установилась на нулевом делении.

☒ 6. Соберите электрическую схему установки. Расположите ее детали таким образом, чтобы реостат был как можно дальше от тангенс-гальванометра. Проверьте, не нарушилась ли установленная ранее ориентация компаса и плоскости катушки.

☒ 7. Установите переключатель в среднее положение. Введите реостат R полностью. Предъявите собранную схему для проверки; под руководством преподавателя или лаборанта включите установку в сеть **постоянного тока**.

8. Замкните контакт переключателя в одно из крайних положений. Перемещая движок реостата и наблюдая за показаниями компаса, установите рекомендуемое значение угла поворота стрелки φ_1 . По показаниям миллиамперметра определите соответствующее значение силы тока I . Не меняя величины тока, измените его направление, перекинув контакт переключателя в противоположное положение. Определите угол отклонения φ_2 . Значения I (в амперах), φ_1 и φ_2 (в градусах) занесите в соответствующие столбцы таблицы.

| Номер опыта | I, A | $\varphi_1,$ град. | $\varphi_2,$ град. | $\varphi,$ град. | $\operatorname{tg}\varphi$ | $B_0,$ мкТл | $\Delta B_0,$ мкТл | $(\Delta B_0)^2,$ $(\text{мкТл})^2$ |
|-------------|--------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|----------------|-----------------------|--|
| 1 | | | | | | | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| n | | | | | | | | |
| $\Sigma =$ | | | | | | | $\Sigma =$ | |

9. Увеличивая значение угла φ_1 на заданную величину, повторите действия, описанные в п. 8, не менее шести ($n \geq 7$) раз.

10. Используя выражение (7), для каждого опыта найдите среднее значение угла поворота φ ; с помощью микрокалькулятора или таблиц определите $\operatorname{tg}\varphi$. Результаты запишите в таблицу.

11. По формуле (5) вычислите для каждого из опытов величину горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли B_0 и занесите ее в таблицу, выразив в мкТл.

12. Определите среднее значение \bar{B}_0 .

13. Выполните все расчеты, необходимые для оценки случайной погрешности измерения $\Delta_s B_0$. Найдите величину $\Delta_s B_0$, задаваясь доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$.

14. Оцените абсолютную приборную погрешность косвенного измерения δB_0 по формуле

$$\delta B_0 = \bar{B}_0 \sqrt{\left(\frac{\delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{2\delta\varphi}{\sin(2\varphi)}\right)^2 + \left(\frac{\delta r}{r}\right)^2}.$$

15. Оцените полные абсолютную Δ и относительную E погрешности. Сделав необходимые округления, запишите окончательный результат измерения.

Контрольные вопросы

1. Магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа.
2. Индукция магнитного поля кругового тока. Принцип суперпозиции.
3. Оценка погрешностей измерения.