

Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Оборудование: тангенс-гальванометр, источник тока, амперметр, реостат, переключатель.

Описание целей работы.

| N | Конкретная цель | Критерий достижения цели |
|---|---|---|
| 1.1 | 1.Изучение теории Магнитное поле и его характеристики | Студент правильно отвечает на контрольные вопросы 1-8 |
| 1.2 | Расчет индукции магнитного поля в центре кругового тока | Студент правильно отвечает на контрольные вопросы 9-11 |
| 1.3 | Магнитное поле Земли | Студент правильно отвечает на контрольные вопросы 12-15 |
| 1.4 | Теория метода измерений | Студент правильно отвечает на контрольные вопросы 16-20 |
| 2. Практические навыки Студент должен научиться: 1.Собирать электрическую цепь по схеме; 2.Устанавливать тангенс-гальванометр по меридиану; 3.Снимать отсчет угла по компасу; 4.Вычислять индуктивность; 5.Определять погрешность измерений. | | |

1.Необходимые сведения о магнитном поле.

1.1 Согласно современным научным представлениям, магнитное поле есть вид материи, посредством которого взаимодействуют между собой движущиеся электрические заряды. Магнитное поле может быть постоянным и переменным. Стационарное (постоянное по времени) магнитное поле возникает вокруг проводников с постоянным током и зарядов, движущихся с постоянной нерелятивистской скоростью (т.е. $v \ll c$), а также вокруг намагниченных тел (постоянных магнитов).

1.2. Магнитное поле действует только на движущиеся заряды, проводники с током и намагниченные тела.

1.3. Магнитное поле существует во всей области пространства вокруг источника поля и может меняться как от точки к точке поля, так и со временем. Стационарное магнитное поле от времени не зависит.

1.4. Для характеристики магнитного поля используют его силовое действие на проводники с током или движущиеся заряды. Соответствующая векторная величина называется вектором индукции магнитного поля \vec{B} (вектор магнитной индукции или магнитная индукция). У стационарного магнитного поля в каждой точке поля вектор \vec{B} постоянен, но в разных точках поля различен. Если вектор \vec{B} во всех точках поля одинаков, то поле называется однородным.

1.5. Чтобы знать \vec{B} в данной точке поля, надо знать его направление и модуль. Т.к. связь между магнитными и электрическими полями была обнаружена только в прошлом веке, а постоянные магниты были известны с древности, то за направление вектора \vec{B} в какой-то точке поля, было принято направление силы, действующей на северный полюс стрелки компаса, помещенного в эту точку. Направление вектора магнитной индукции \vec{B} в любой точке поля принято изображать с помощью линий магнитной индукции. Их проводят так, чтобы:

- в каждой точке поля направление вектора \vec{B} совпадало с направлением касательной к линиям индукции в этих точках;
- густота линий была пропорциональна модулю вектора \vec{B} .

1.6. Наглядное представление о линиях магнитной индукции можно получить, рассыпав множество крошечных магнитных стрелок (например, железных опилок) вокруг источника магнитного поля и дав им возможность расположиться свободно. На рис.1а,б изображены линии индукции прямого магнита. Они начинаются на северном конце магнита N и заканчиваются на южном S. На рис.2а,б изображены линии индукции прямого проводника с током они являются концентрическими к проводнику окружностями. Они нигде не начинаются и нигде не заканчиваются. Это замкнутые линии. Поля с замкнутыми силовыми линиями называются вихревыми. Магнитное поле - вихревое поле. Замкнутость линий магнитной индукции представляют собой фундаментальное свойство магнитного поля. Оно заключается в том, что магнитное поле не имеет источников, т.е. в природе не существует магнитных зарядов, подобных электрическим зарядам.

Направление вектора \vec{B} определяется правилом буравчика (правило правого винта): если движение острия буравчика с правой резьбой совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вектора магнитной индукции совпадает с направлением вращения рукоятки буравчика (рис.2в).

Если проводник с током согнуть в виде кольца, то каждый малый участок проводника можно считать прямолинейными. Линии магнитной индукции представляют собой концентрические окружности в плоскостях, перпендикулярных проводнику с током. На рис.3а изображено магнитное поле кольцевого тока в одном из поперечных сечений. В центре кольца направление всех векторов магнитной индукции от элементарных участков

проводника с током совпадают, и результирующий вектор индукции направлен перпендикулярно плоскости витка. Такой маленький виток ведет себя как магнитная стрелка (рис.3б). На рис.3в изображено магнитное поле длинной катушки с током (соленоида).

1.7. Модуль индукции магнитного поля \vec{B} определяется на основании одного из трех опытных фактов:

- а) отклонение проводника с током в магнитном поле;
- б) ориентирующее действие магнитного поля на рамку с током;
- в) отклонение пучка электрически заряженных частиц, движущихся в магнитном поле.

Ампер (Франция, 1820 г.) установил, что на прямолинейный проводник длиной $\Delta\ell$, находящийся в магнитном поле, со стороны магнитного поля действует сила, пропорциональная величине тока I в проводнике и его длине $\Delta\ell$, зависящая от расположения проводника в магнитном поле:

$$F \sim I \Delta\ell \sin\alpha, \quad (1)$$

где α -угол между направлениями тока I и вектором магнитной индукции \vec{B} . Эта сила максимальна при $\alpha=\pi/2$, т.е. когда проводник расположен перпендикулярно линиям индукции:

$$F_{\max} \sim I \Delta\ell.$$

Определим теперь модуль вектора магнитной индукции \vec{B} в данной точке поля: $B = F_{\max} / I \Delta\ell$. (2)

Индукция магнитного поля в данной точке поля численно равна силе Ампера, действующей на единичный элемент тока ($I=1A$, $\Delta\ell=1m$), помещенный в эту точку поля перпендикулярно вектору \vec{B} .

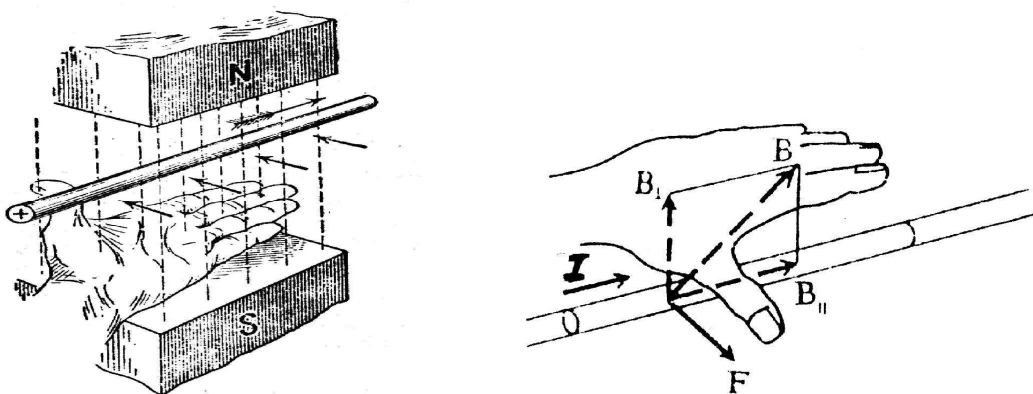
$$\text{Единица измерения индукции } [B] = \frac{1H}{1A \cdot 1m} = \frac{H}{Am} = \text{Тесла}$$

1.8. Силу, действующую на проводник с током в магнитном поле (силу Ампера), можно рассчитать по формуле: $F_A = B I \Delta\ell \sin\alpha$ (3)

Направление силы Ампера определяется по правилу «левой руки»:

если расположить левую руку так, чтобы силовые линии входили в ладонь, вытянутые пальцы показывали направление тока, то отставленный большой палец покажет направление силы Ампера (рис.4а).

а)



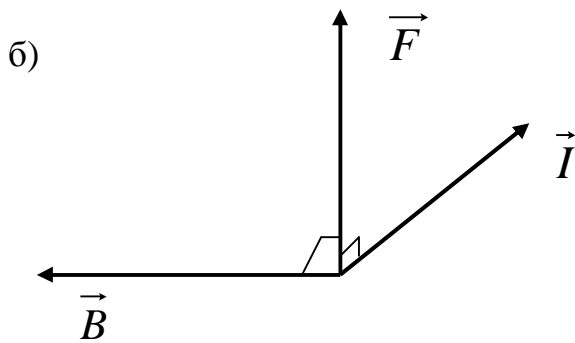


Рис.4

Таким образом векторы \vec{I} , \vec{F} и \vec{B} всегда взаимно перпендикулярны (рис.4б).

1.9. Измеренные значения магнитной индукции B зависят от среды, в которой существует магнитное поле. В общем случае, магнитное поле вокруг проводника с током складывается из магнитного поля, образованного током (в вакууме) и магнитного поля, образованного намагниченной средой. Так как влияние среды не всегда можно предсказать, для удобства расчетов вводят дополнительные величины.

1.9.1. Магнитная проницаемость среды μ характеризует магнитные свойства среды и численно равна:

$$\mu = \frac{\text{магнитная индукция поля в данной среде}}{\text{магнитная индукция этого же поля в вакууме}} = \frac{B}{B_0} \quad (4)$$

Магнитная проницаемость воздуха $\mu=1,00$.

Контрольные вопросы.

1. Что такое магнитное поле? Когда оно возникает?
2. Как обнаруживается магнитное поле?
3. Что такое индукция магнитного поля?
4. Как определить направление индукция магнитного поля? Как определить ее модуль?
5. Как рассчитать силу Ампера? Какое действие она характеризует? Как найти ее направление?
6. Как изображается магнитное поле? Приведите примеры?
7. Как выглядит магнитное поле кругового тока?

2. Расчет индукции магнитного поля тока.

2.1. На основании экспериментальных данных Био и Савара (Франция, 1820 г.) Лаплас получил формулу для расчета модуля индукции магнитного поля dB , созданного элементом провода $d\ell$ с током I в точке A , находящейся на расстоянии r от элемента (рис.5):

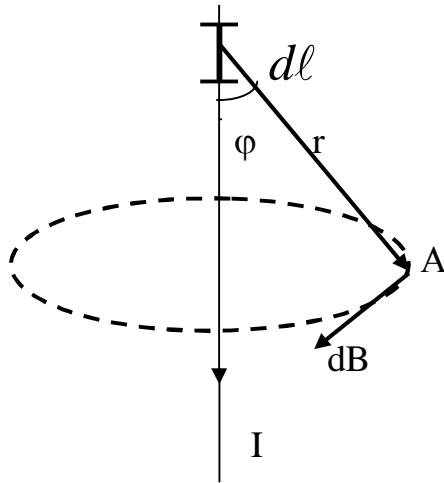


Рис. 5

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \sin \varphi}{r^2} dl \quad (6)$$

где φ - угол между вектором тока I и радиус-вектором \vec{r} точки А. Чтобы найти индуктивность поля в данной точке от всего проводника, надо просуммировать векторы $d\vec{B}$ от всех элементов проводника, участвующих в создании магнитного поля в точке.

2.2. Рассчитаем индукцию магнитного поля в центре кругового тока радиуса R .

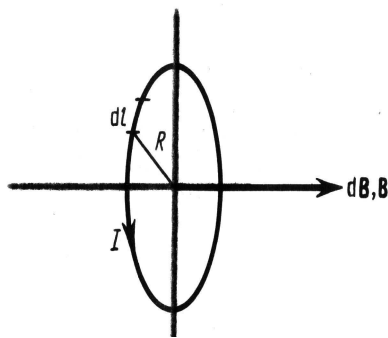


Рис.6

Элемент окружности dl (рис.6) создает в центре кругового тока магнитное поле с индукцией $d\vec{B}$, направленной по оси витка и модулем

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Idl}{R^2}$$

$\sin\varphi = 1$, т.к. $\varphi = 90^\circ$ (каждый элемент $dl \perp R$).

Т.к. направление векторов $d\vec{B}$ от всех элементов dl кругового проводника совпадает по направлению, модуль индукции магнитного поля в центре кругового тока равен:

$$B = \int dB = \frac{\mu\mu_0 I}{2R} \quad (7)$$

где
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \quad (8)$$

2.3. Если вместо одного витка взять катушку того же радиуса с числом витков n , то индукция магнитного поля в центре такой катушки будет в n раз больше:

$$B = \frac{\mu\mu_0 In}{2R} \quad (9)$$

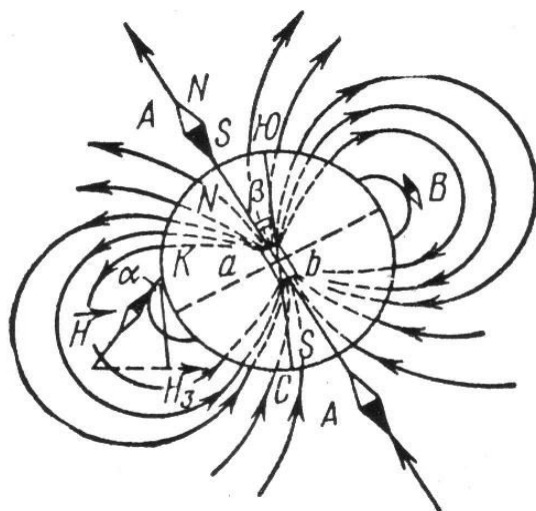
Контрольные вопросы.

9. В каких случаях можно применять формулу Био-Савара-Лапласа? Напишите и объясните по рисунку значения всех величин, входящих в формулу.

10. Выведите формулу для расчета модуля индукции поля в центре кругового тока. Как он направлен?
11. Чему будет равна индукция магнитного поля в центре катушки из n витков?

3. Магнитное поле Земли.

3.1. Земля представляет собой естественный магнит, полюса которого располагаются недалеко (~ 300 км) от географических полюсов. Магнитный полюс Земли, который расположен на Севере, называется Южным магнитным полюсом, другой соответственно на Юге, - Северным магнитным полюсом.



Через магнитные полюса Земли можно провести линии больших кругов- **магнитные меридианы**, перпендикулярно к ним – линию большого круга – **магнитный экватор**- и параллельно последнему линии малых кругов – **магнитные параллели**. Таким образом, каждой точке на Земле будут соответствовать не только географические, но и магнитные координаты.

Если в данной точке Земли свободно подвесить магнитную стрелку (т.е. подвесить за центр масс так, чтобы она могла поворачиваться и в горизонтальной и в вертикальной плоскостях), то она установится по направлению напряженности магнитного поля Земли в данной точке.

Но так как магнитное поле Земли - это поле прямого магнита, ясно, что силовые линии этого поля лишь на магнитных полюсах вертикальны, а на магнитном экваторе горизонтальны. В любой другой точке земной поверхности силовые линии располагаются под углом к поверхности Земли.

Контрольные вопросы

12. Изобразите с помощью силовых линий магнитное поле Земли.
13. Где находятся магнитные полюса Земли?
14. Как проводятся магнитные параллели и меридианы Земли?
15. Как ведет себя свободная магнитная стрелка в поле Земли?

4. Теория метода измерений индукции магнитного поля Земли.

Один из методов измерения индукции магнитного поля Земли, основан на взаимодействии магнитного поля Земли с магнитной стрелкой. Этот метод

называется **магнитометрическим**. В основе метода лежит тот факт, что магнитная стрелка, которая может вращаться только лишь около вертикальной оси, будет отклоняться в горизонтальной плоскости только под действием горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли (B_3). Это свойство магнитной стрелки используется в **тангенс – гальванометре** для определения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. Тангенс – гальванометр представляет собой плоскую вертикальную катушку радиуса R с некоторым числом витков n . Величина радиуса катушки и число витков указаны на тангенс - гальванометре. Витки катушки располагаются в вертикальной плоскости.

В центре катушки в горизонтальной плоскости расположен компас. Магнитная стрелка компаса при отсутствии тока в катушке будет расположена по магнитному меридиану земли NS . Поворотом катушки около вертикальной оси можно добиться совмещения плоскости катушки с плоскостью магнитного меридиана. Если после такой установки катушки по ней пропустить ток, то магнитная стрелка повернется на некоторый угол α . Объясняется это тем, что на магнитную стрелку будут действовать два поля: горизонтальная составляющая поля Земли и поле, созданное током катушки. Под действием этих полей магнитная стрелка займет положение, соответствующее направлению равнодействующей двух полей.

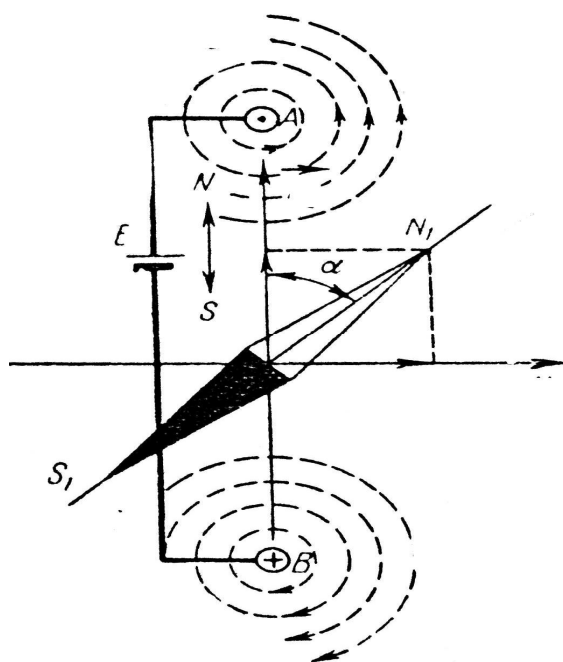


рис.7

На рис.7 NS – направление магнитного меридиана Земли, A и C – сечение витка катушки горизонтальной плоскостью, N_1S_1 – магнитная стрелка компаса, помещенная в центре катушки, B_3 – вектор горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли, B_1 – вектор индукции магнитного поля, созданного током в катушке (определяется по правилу буравчика).

Обратите внимание на расположение магнитных силовых линий вокруг проводника с током; в точке A ток идет на нас (показан точкой), в точке B ток идет от нас (показан крестиком). Магнитное поле тока (вектор B_1) направлено перпендикулярно к плоскости витков. Из рис.7 видно, что $\text{tg}\alpha = B_1/B_3$ и, следовательно, индукции магнитного поля Земли равна:

$$B_3 = B_1 / \text{tg}\alpha \quad (10)$$

Величина индукции поля B_1 , созданного током в центре катушки, вычисляется по формуле (9), где I - ток, текущий в витке; R - радиус витка катушки; n - число витков. Подставляя значение B_1 в формулу (10), получим:

$$B_3 = \frac{In}{2Rtg\alpha} \quad (11)$$

Этой формулой и пользуются для опытного определения B_3 .

Контрольные вопросы.

16. Что такое тангенс-гальванометр? Как он должен быть установлен?
17. Почему магнитная стрелка поворачивается при включении электрического тока?
18. От чего зависит угол поворота магнитной стрелки?
19. Почему магнитная стрелка должна быть маленькой, по сравнению с радиусом витка?
20. По какой формуле можно рассчитать индукцию магнитного поля Земли?

Схема экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 8, где ТГ – тангенс – гальванометр;

А – амперметр;

Р – реостат; если в работе используется источник с регулируемым напряжением, то реостат можно не использовать.

К – ключ. Ключ имеет два положения. Меняя положение ключа, можно менять направление тока в тангенс – гальванометре.

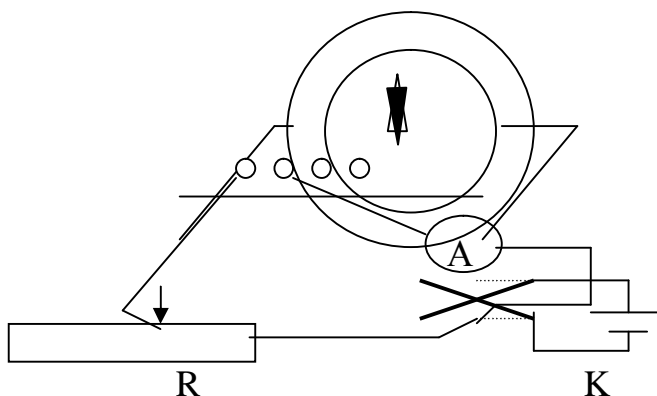


Рис.8

Порядок выполнения измерений

1. Собрать схему и проверить ее у преподавателя или лаборанта.
2. Поворачивая тангенс – гальванометр вокруг своей оси, устанавливают стрелку компаса в плоскости катушки тангенс – гальванометра. В этом случае плоскость катушки тангенс – гальванометра совпадает с плоскостью магнитного меридиана Земли.
3. Проверить «нулевое» показание стрелки компаса.

4. Включите ток и подберите такое его значение, при котором отклонение стрелки составит 30^0-50^0 . Запишите в таблицу.

| Число витков, n | I, А | Отклонение стрелки вправо, $\varphi_{ПР}$ | Отклонение стрелки влево, $\varphi_{ЛЕВ}$ | φ | $tg\varphi$ | B_3 | ΔB_3 |
|-----------------|------|---|---|-----------|-------------|-------|--------------|
| | | | | | | | |

5. Поверните ключ и запишите значение угла - отклонение стрелки в другую сторону от «нулевого» значения.

6. Угол отклонения стрелки от нулевого положения определяется как среднее значение $\varphi = \frac{\varphi_{ЛЕВ} + \varphi_{ПР}}{2}$.

7. Вычислите B_3 по формуле (11).

8. Определите погрешность измерения

$$\Delta B_3 = B_3 \left(\frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta tg \varphi}{tg \varphi} \right).$$

9. Измените значение тока и повторите пп.4-8.

10. Измените число витков и повторите пп.4-8.

11. Найдите среднее значение B_3 и ΔB_3 по всем направлениям.

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики, стр 164-168.
2. Савельев И.В. Курс общей физики т.2.
3. Майсова Н.Н. Практикум по курсу общей физики.