

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 – 12:
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Студент _____ группа _____

Допуск _____ Выполнение _____ Защита _____

Цель работы: экспериментально определить горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли.

Приборы и принадлежности: компас, катушка, амперметр, реостат, источник постоянного тока, переключатель.

Описание экспериментальной установки

Установка для изучения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли представляет собой плоскую вертикальную катушку радиуса R с некоторым числом витков n , которая называется *тангенс – гальванометром*. Величина радиуса катушки и число витков в катушке указаны на установке.

В центре катушки на горизонтальной платформе помещают компас 2 (см. рис.). Магнитная стрелка компаса при отсутствии тока в катушке всегда располагается по магнитному меридиану Земли.

Магнитным меридианом называется воображаемая линия, соединяющая южный и северный магнитные полюса Земли. Поворотом катушки около вертикальной оси необходимо 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: первое - горизонтальная составляющая напряженности поля Земли H_3 и второе - созданное током H_1 .

Под действием этих полей магнитная стрелка займет такое положение равновесия, при котором будет выполняться условие

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H_1}{H_3} \quad (1)$$

Величина напряженности поля H_1 , созданного током в центре одного витка, вычисляется по формуле: $H_1 = \frac{I}{2R}$,

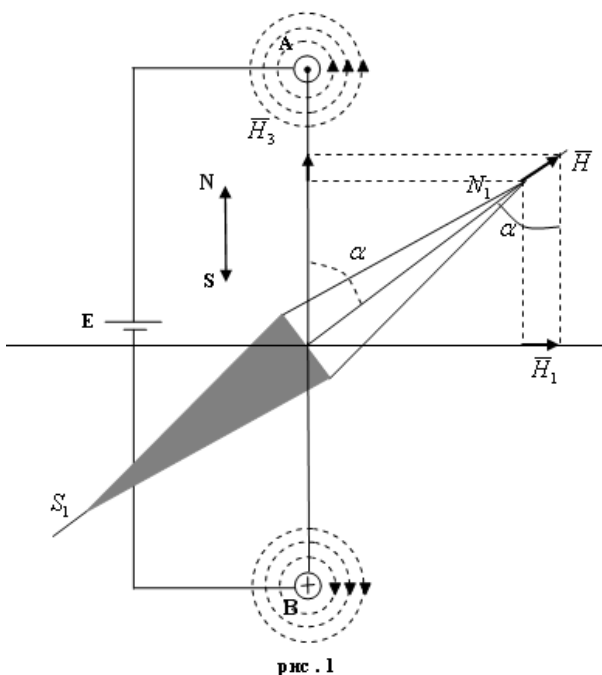
где I - ток, текущий в витке, R - радиус витка катушки.

Напряженность магнитного поля в катушке с числом витков n вычисляется по формуле:

$$H_1 = \frac{In}{2R}.$$

Подставляя значение H_1 в формулу (1), получим необходимую нам расчётную формулу:

$$H_3 = \frac{In}{2R \operatorname{tg} \alpha} \quad (2)$$



Порядок выполнения работы

1. Поворачивая тангенс-гальванометр, совместите один конец стрелки компаса с 0° на его шкале.
2. Ручку «Чувствительность» 3 установите в среднее положение. Включите тумблер «Сеть» и измерьте величину тока по амперметру.
Опыт повторите три раза, при этом токи изменяйте в пределах 50-70 мА; 100-120 мА; 150-170 мА.
3. Как только стрелка компаса придет в равновесие, отсчитайте по шкале компаса угол отклонения стрелки α .
4. Подставляя последовательно измеренные значения I и α в формулу $H_3 = \frac{In}{2R \operatorname{tg} \alpha}$, найдите три значения H_3 .

Результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1

N п/п	I_i	α_i	R	n	H_{zi}	$\langle H \rangle$	$H_{zi} - \langle H_3 \rangle$	$(H_{zi} - \langle H_3 \rangle)^2$	$S_{\langle H_3 \rangle}$
1									
2									
3									
Σ									

6. Обработайте результаты эксперимента и окончательный ответ запишите в виде:

$$H_3 = \langle H_3 \rangle \pm t_{pk} S_{\langle H_3 \rangle},$$

где $\langle H_3 \rangle = \frac{\sum H_{zi}}{3}$, $S_{\langle H_3 \rangle} = \sqrt{\frac{\sum (H_{zi} - \langle H_3 \rangle)^2}{6}}$ и $t_{p,k} = 4.3$ для вероятности доверительного интервала $p = 95\%$.

7. Сравните полученный результат с табличным значением ($H_{3 \text{ ТАБ}} = 20 \frac{A}{M}$), рассчитайте относительную погрешность

измерений по формуле $\varepsilon = \frac{|H_{3 \text{ ТАБ}} - \langle H_3 \rangle|}{H_{3 \text{ ТАБ}}} \cdot 100\%$ и сделайте соответствующий вывод.

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Магнитное поле, его основные свойства и характеристики: магнитная индукция и напряжённость магнитного поля. Графическое изображение магнитного поля.
2. Сила Ампера и сила Лоренца, движение заряженных частиц в магнитном поле.
3. Работа магнитного поля по перемещению проводника и контура с током.
4. Магнитный механический момент контура с током в магнитном поле.
5. Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея для электромагнитной индукции.
6. Магнитное поле Земли, его основные свойства и характеристики.

Краткие теоретические сведения

Магнитным полем называется особый вид материи, не воспринимаемый органами чувств человека и оказывающий силовое воздействие на магниты, проводники и контуры с током и движущиеся заряженные частицы и тела.

Основные характеристики магнитного поля

Магнитная индукция \vec{B} (основная характеристика магнитного поля)

$$[B] = [Тл], \quad \text{Тесла}$$

Напряжённость магнитного поля \vec{H} (вспомогательная характеристика магнитного поля)

$$[H] = \left[\frac{A}{M} \right], \quad \text{Ампер на метр}$$

Причём $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$, где $\mu = \frac{B_{\text{в.веществе}}}{B_{\text{в.вакууме}}}$ - магнитная проницаемость вещества, $[\mu] = [\text{безразмерная}]$

$B_{\text{в.веществе}}$ - индукция магнитного поля в веществе, $B_{\text{в.вакууме}}$ - индукция магнитного поля в вакууме,

Физ. смысл μ : она показывает, во сколько раз вещество усиливает магнитное поле по сравнению с вакуумом.

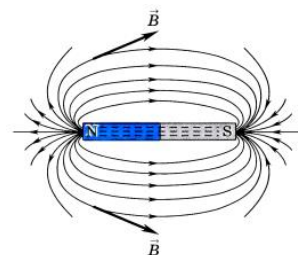
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Гн}{м} - \text{магнитная постоянная.}$$

Графическое изображение магнитных полей

Магнитные поля графически изображаются с помощью силовых линий.

Силовой линией магнитного поля называется линия, касательная в каждой точке которой совпадает по направлению с вектором магнитной индукции.

(за направление вектора магнитной индукции выбрали направление, которое указывает северный полюс магнитной стрелки).



Принцип суперпозиции для магнитного поля

(позволяет определить характеристики результирующего магнитного поля)

$$\vec{B}_{\text{рез}} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n, \quad \vec{H}_{\text{рез}} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2 + \dots + \vec{H}_n$$

Магнитный механический момент сил, действующий на рамку с током в магнитном поле

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

где M - механический момент, $[H \cdot м]$

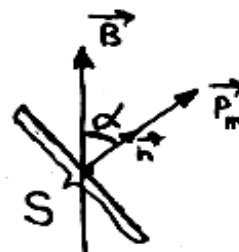
$$p_m = IS - \text{магнитный момент контура с током, } [P_m] = [A \cdot м^2],$$

I - сила тока в проводнике, А

S - площадь контура, $м^2$

I - сила тока в проводнике, А

α - угол между векторами



Сила Ампера F_A (сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током)

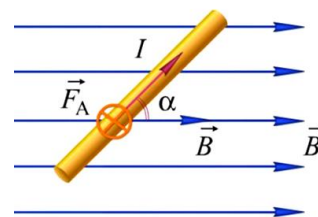
$$F_A = Ibl \sin \alpha,$$

где I - сила тока в проводнике, А

B - магнитная индукция, Тл

l - длина проводника, м

α - угол между векторами



Направление силы Ампера определяется **по правилу левой руки:**

если левую руку расположить так, чтобы силовые линии входили в ладонь, а четыре вытянутых пальца руки совпадали с направлением тока, то отогнутый на 90 градусов большой палец покажет направление силы Ампера.

Сила Лоренца F_L (сила, с которой магнитное поле действует на движущиеся заряды)

$$F_L = |q|vB \sin \alpha,$$

где B - магнитная индукция, Тл; q - заряд, Кл, v - скорость заряда, м/с

α - угол между векторами

Направление силы Лоренца определяется:

- для положительных зарядов по правилу ЛЕВОЙ РУКИ,

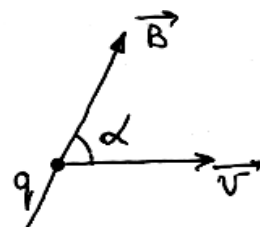
- для отрицательных зарядов по правилу ПРАВОЙ РУКИ.

Движение заряженных частиц в магнитном поле

- если заряженная частица влетает в однородное магнитное поле параллельно силовым линиям этого поля, то сила Лоренца на неё действовать не будет (так как $\alpha = 0$, следовательно $\sin 0 = 0$) и частица будет двигаться вдоль силовой линии,

- если заряженная частица влетает в магнитное поле перпендикулярно силовым линиям этого поля, то на неё будет действовать максимальная по величине сила Лоренца (так как $\alpha = 90^\circ$, то $\sin 90 = 1$), направленная перпендикулярно силовым линиям поля и частица будет двигаться по окружности,

- если заряженная частица влетает в магнитное поле под некоторым углом $\alpha \neq 0$ к силовым линиям этого поля, то частица будет двигаться по винтовой траектории вдоль силовой линии магнитного поля.



Поток магнитного поля через замкнутую поверхность

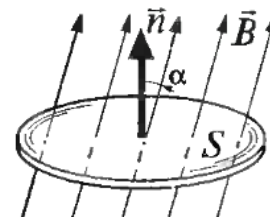
Потоком магнитного поля через любую поверхность называется скалярная величина, равная

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

где Φ – магнитный поток, $[\Phi] = [B\sigma]$ - Вебер

S – площадь контура, m^2 ; \vec{n} - вектор положительной нормали к плоскости контура,

α – угол между векторами \vec{B} и \vec{n}



Явление электромагнитной индукции

Электромагнитной индукцией называется явление возникновения в проводящем контуре электрического тока при изменении магнитного потока через поверхность этого контура.

(электрический ток в контуре возникает благодаря появлению электродвижущей силы (ЭДС индукции) во время изменения магнитного потока)

Закон Фарадея: ЭДС электромагнитной индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}}$, возникающая в замкнутом контуре, прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность этого контура и существует в течение всего времени изменения магнитного потока:

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

где $[\mathcal{E}_{\text{инд}}] = B$ - ЭДС индукции, Вольт;

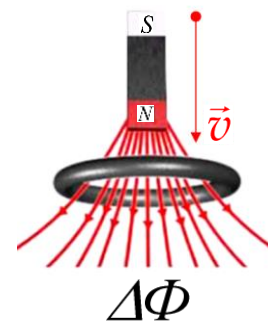
$\Delta\Phi = \Phi_{\text{конечный}} - \Phi_{\text{начальный}}$ - изменение магнитного потока через контур, Вб (Вебер);

Δt - время изменения магнитного потока, с

(знак минус в законе Фарадея позволяет через правило Ленца определить направление индукционного тока в замкнутом контуре).

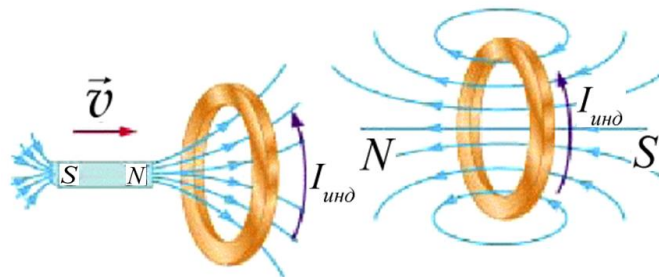
Если магнитное поле пронизывает катушку из N одинаковых витков, то возникающая в катушке общая ЭДС в N раз

больше, чем ЭДС в одном отдельно взятом витке: $\mathcal{E}_{\text{инд}} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$



Направление индукционного тока зависит от того, возрастает или убывает магнитный поток, пронизывающий контур, а также от направления магнитного поля относительно контура и определяется по **правилу Ленца:**

возникающий в замкнутом контуре индукционный ток всегда имеет такое направление, что созданный им магнитный поток через площадь, ограниченную этим контуром, стремится скомпенсировать изменение магнитного потока, вызвавшего этот индукционный ток.



Явление самоиндукции

Если в замкнутом контуре течёт ток, то его магнитное поле пронизывает поверхность контура и создаёт собственный магнитный поток $\Phi_{\text{собст}}$, через поверхность этого контура.

Наблюдения показывают, что собственный магнитный поток прямо пропорционален силе тока в контуре

$$\Phi_{\text{собст}} = LI,$$

где коэффициент пропорциональности обозначается буквой L и называется **индуктивностью контура**.

Единица измерения индуктивности: $[L] = Гн$, Генри.

Индуктивность контура зависит только от его геометрических размеров и формы, а также от магнитных свойств среды, в которой он находится и не зависит от материала контура и величины тока в нём.

Если ток в этом контуре начнёт изменяться, то будет меняться и собственный магнитный поток, что вызовет появление ЭДС электромагнитной индукции, которую называют **самоиндукцией**.

Самоиндукцией называется явление возникновения в замкнутом проводящем контуре ЭДС индукции при изменении собственного магнитного потока через поверхность этого контура (наблюдается в результате изменения величины силы тока в этом проводящем контуре).

ЭДС самоиндукции определяют по закону Фарадея:

$$\mathcal{E}_{\text{сам}} = -\frac{\Delta\Phi_{\text{собст}}}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

где $\left[\mathcal{E}_{сам} \right] = B$ - ЭДС самоиндукции, Вольт, L - индуктивность контура или соленоида, Гн (Генри)

$\Delta\Phi_{собст} = \Phi_{конечный} - \Phi_{начальный}$ - изменение собственного магнитного потока, Вб

Δt - время изменения собственного магнитного потока, с, $\Phi_{собст} = LI$ - собственный магнитный поток контура с током;

$\Delta\Phi_{собст} = L\Delta I$ - изменение собственного магнитного потока контура с током

Работа сил магнитного поля по перемещению проводника или контура с током

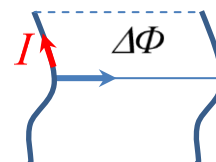
$$A_{мп} = I\Delta\Phi,$$

где I - сила тока в проводнике или контуре, А;

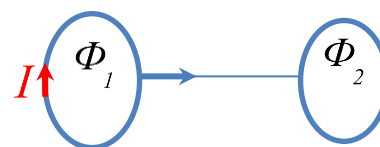
$\Delta\Phi = \Phi_{конечный} - \Phi_{начальный}$ - изменение магнитного потока через контур, Вб

Возможны два случая:

1. Если перемещается проводник с током, то $\Delta\Phi$ - это поток магнитного поля через поверхность, которую «заметает» проводник при своём движении,



2. Если перемещается контур с током, то $\Delta\Phi = \Phi_{конечный} - \Phi_{начальный}$ - это изменение потока магнитного поля через поверхность контура, при его движении.



Энергия магнитного поля контура или соленоида (катушки индуктивности) с током

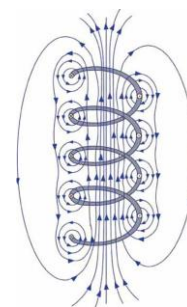
Когда в контуре или соленоиде течёт ток, то вокруг них возникает магнитное поле, энергию

которого можно определить по формуле:

$$W_{мп} = \frac{LI^2}{2}$$

где $W_{мп}$ - энергия магнитного поля, Дж; L - индуктивность контура или соленоида, Гн;

I - сила тока в контуре или соленоиде, А.



Магнитное поле Земли

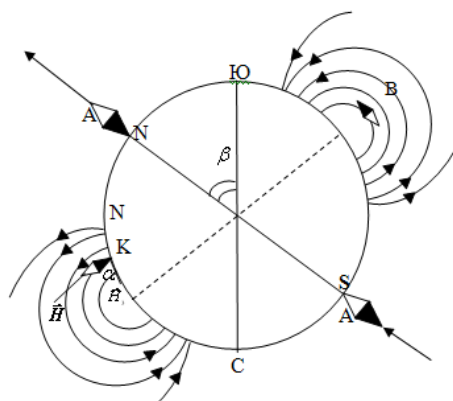


Рис. 1

Магнитное поле Земли представляет собой огромный магнит, полюса которого лежат вблизи географических полюсов: вблизи северного географического полюса С расположен южный магнитный S, а вблизи южного географического полюса Ю северный магнитный полюс N (см. рис. 1). Магнитные и географические полюса не совпадают, а находятся друг от друга приблизительно в 150 км.

Магнитное поле Земли на экваторе направлено горизонтально (точка В), а у магнитных полюсов - вертикально (точка А). В остальных точках земной поверхности магнитное поле Земли направлено под некоторым углом α (точка К).

Величину проекции напряженности земного магнитного поля \vec{H} на горизонтальную плоскость называют *горизонтальной составляющей магнитного поля Земли* \vec{H}_3 . Направление этой составляющей принимается за направление магнитного меридиана (это направление, которое указывает стрелка компаса), а вертикальная плоскость, проходящая через него, называется *плоскостью магнитного меридиана*. Угол α между направлением магнитного поля Земли и горизонтальной плоскостью называют *углом наклоения*, а угол β между географическим и магнитным меридианом - *углом склонения*.