

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра экспериментальной физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Методические указания к лабораторной работе

Издание АГУ Барнаул, 1998

УДК 539

Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля земли: Методические указания к лабораторной работе по электромагнетизму для студентов 2 курса специальности 01.04 «Физика». –Барнаул: изд. АГУ. –1998 г. –12с.

Печатается

по решению кафедры экспериментальной физики и
методического совета физического факультета

Составитель к.ф.-м.н. В.В. Чертищев

Рецензент к.ф.-м.н. Д.Д.Рудер

План издания УВД 1998 г., п. 132.

Алтайский государственный университет, 1998

Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли

Цель работы: ознакомиться с методом измерения одной векторной величины напряженности магнитного поля Земли - путем сравнения ее с другой, известной векторной величиной - напряженностью магнитного поля кругового витка с током.

Принадлежности: катушка с несколькими витками провода, буссоль, источник тока, магазин сопротивлений, переключатель, милливольтметр с измерительным шунтом.

Некоторые сведения о земном магнетизме

Земля представляет собой естественный магнит, полюса которого располагаются недалеко (порядка 300 км) от географических полюсов. Магнитное поле Земли имеет постоянную составляющую—основное поле (вклад его $\sim 99\%$) и переменную ($\sim 1\%$). Основное магнитное поле Земли по форме близко к полю диполя, центр которого смещён относительно центра Земли, а ось наклонена к оси вращения Земли на 11.5° , так что геомагнитные полюса отстоят от географических на 11.5° , причём в северном полушарии находится южный магнитный полюс (вектор магнитной индукции направлен вниз). Географический северный магнитный полюс—условная точка на земной поверхности, в которой магнитное поле Земли направлено строго вниз (под углом 90° к поверхности). Следует отметить, что с физической точки зрения этот полюс является «южным», поскольку притягивает северный полюс стрелки компаса. Традиционно конец магнита, указывающий направление на север, называется северным полюсом магнита, а противоположный конец — южным. Известно, однако, что одинаковые полюса отталкиваются, а не притягиваются. Из этого следует, что географический северный магнитный полюс на самом деле физически является южным.

Существование магнитного поля в любой точке Земли можно установить с помощью магнитной стрелки. Если подвесить магнитную стрелку так, чтобы точка подвеса находилась в центре масс стрелки, то она установится по направлению касательной к силовой линии магнитного поля Земли. В северном полушарии южный конец стрелки будет наклонен к Земле, в южном полушарии—

северный конец стрелки. На экваторе стрелка будет ориентирована горизонтально (рис.1).

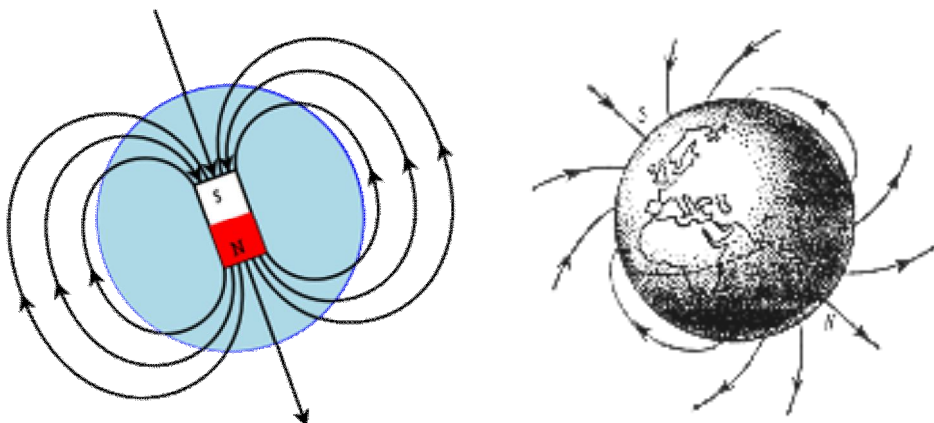


Рис. 1. Магнитные силовые линии Земли.

На удалении от полюсов можно провести вертикальную плоскость, в которой будет лежать стрелка. Эта плоскость называется плоскостью магнитного меридиана. Все плоскости магнитных меридианов пересекаются по прямой, проходящей через северный и южный магнитные полюса. Угол между направлением напряженности магнитного поля в данной точке и горизонтальной плоскостью называется магнитным наклоением. Наклонение бывает северное и южное (северный или южный конец свободно подвешенной стрелки ниже горизонтальной плоскости, проходящей через центр стрелки). Угол между географическим и магнитным меридианами называют магнитным склонением. Различают восточное и западное склонение (северный конец стрелки отклоняется соответственно вправо или влево от географического меридиана). Магнитное склонение считается положительным, если северный конец магнитной стрелки компаса отклонен к востоку от географического меридиана, и отрицательным—если к западу. Два угла—склонение и наклонение—называют элементами земного магнетизма. К примеру, магнитное склонение и магнитное наклонение для Гринвича ($51^{\circ}28'40.12''$ с. ш. $0^{\circ}00'05.31''$ в. д.) в 1955 г. имели значения соответственно $8^{\circ}44'$ (западное склонение) и $66^{\circ}33'$. Значение магнитного склонения указывается на магнитных картах и используется для определения истинного меридиана по показанию магнитного компаса.

Магнитное поле Земли подвержено суточным, годовым, вековым и т. п. колебаниям. Более того, в определенные геологические эпохи прошлого оно испытывало инверсии, то есть северный и юж-

ный полюса менялись местами, что используется геологами при уточнении возраста древних вулканических толщ.

Геомагнитными полюсами называются точки, где ось магнитного диполя пересекает поверхность Земли. Поскольку магнитный диполь является лишь приближённой моделью магнитного поля Земли, геомагнитные полюса несколько отличаются по своему расположению от истинных магнитных полюсов, в которых магнитное наклонение равно 90° .

Основной характеристикой магнитного поля является магнитная индукция – векторная величина, играющая в магнитных взаимодействиях такую же роль, как напряженность электрического поля в электрических взаимодействиях. По историческим причинам вместо магнитной индукции часто используют связанную с ней величину – напряженность магнитного поля. Напряженность \vec{H} магнитного поля в вакууме определяется соотношением

$$\begin{aligned}\vec{B} &= \vec{H} \quad \text{в СГС и СГСМ;} \\ \vec{B} &= \mu_0 \vec{H} \quad \text{в СИ,} \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м.}\end{aligned}\tag{1}$$

Напряженность геомагнитного поля (обозначается буквой T) убывает от магнитных полюсов к магнитному экватору от 55.7 до 33.4 А/м. Вектор напряженности магнитного поля Земли можно разложить на две составляющие – горизонтальную H и вертикальную Z . Значения углов склонения и наклонения, а также горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля позволяют определить величину и направление полной напряженности магнитного поля Земли в данной точке.

Метод определения горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли

Стрелка компаса под действием магнитного поля Земли устанавливается в плоскости магнитного меридиана, что дает возможность определить магнитное склонение, а соответственно и направление горизонтальной составляющей поля относительно географического меридиана. Стрелка находится в механическом равновесии, когда сумма векторов сил и моментов сил, приложенных к ней, равна нулю. На концы стрелки действуют противоположно направленные магнитные силы, стремящиеся установить ее по касательной к магнитной силовой линии, а также сила тяжести и сила реакции опоры. Точка опоры располагается заметно выше центра масс

стрелки, так что при отклонении ее из горизонтальной плоскости возникает дополнительный момент сил со стороны силы тяжести и силы реакции опоры, компенсирующий в вертикальной плоскости момент пары магнитных сил.

Если с помощью кругового тока около стрелки создать еще одно магнитное поле, то стрелка установится по направлению равнодействующей горизонтальной составляющей магнитной индукции Земли и магнитной индукции кругового тока. Направление этой равнодействующей зависит не только от направления, но и от величины горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли. Величину напряженности магнитного поля кругового тока нетрудно вычислить, зная радиус кругового тока и силу тока; направление поля на оси витка с током совпадает с направлением оси, так что горизонтальную составляющую земного магнитного поля можно вычислить по углу отклонения стрелки и величине поля тока.

При прохождении тока силой I по витку радиуса R напряженность поля в его центре может быть определена по закону Био–Савара–Лапласа. Согласно закону Био–Савара–Лапласа магнитная индукция $d\vec{B}$, создаваемая направленным элементом тока $d\vec{l}'$ бесконечно малой длины, в СГСМ

$$d\vec{B}(\vec{r}) = I \frac{d\vec{l}' \times \vec{R}}{R^3}, \quad \text{где } \vec{R} = \vec{r} - \vec{r}', \quad (2)$$

\vec{r}' – радиус-вектор этого элемента, \vec{r} – радиус-вектор точки, для которой рассчитывается магнитная индукция \vec{B} . Из этого выражения следует, что на одинаковом расстоянии от прямой, проходящей через элемент $d\vec{l}'$ проводника вдоль него, в плоскости, перпендикулярной этой прямой, магнитная индукция одинакова по величине. Линии магнитной индукции (рис. 2), касательные к которым в каждой точке пространства направлены вдоль вектора $d\vec{B}$, представляют собой концентрические окружности, лежащие в плоскостях, перпендикулярных вектору $d\vec{l}'$, а центры этих окружностей лежат на прямой, которой принадлежит $d\vec{l}'$.

Чтобы найти магнитную индукцию на оси симметрии кругового тока силой I , радиуса a на расстоянии h от его плоскости, используем закон Био–Савара–Лапласа в форме (2). Магнитная индукция элемента $d\vec{l}'$ перпендикулярна ему, то есть лежит в плоско-

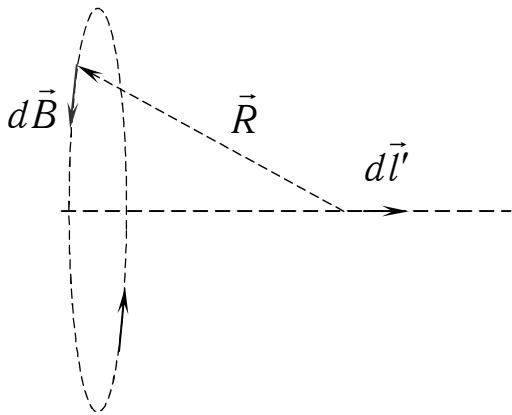


Рис. 2. Магнитные силовые линии направленного элемента тока.

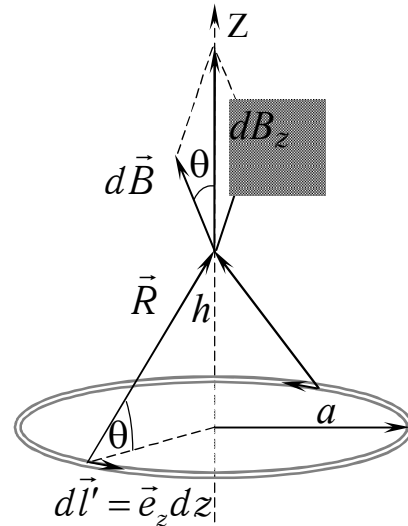


Рис. 3. Магнитное поле кругового тока.

сти оси симметрии и вектора \vec{R} . Из симметрии задачи ясно, что элементы проводника одинаковой длины создают в рассматриваемой точке на оси симметрии элементарные поля одинаковой величины, но разного направления. Разобьем весь круговой ток на четное число малых участков одинаковой длины. Суммарное поле любых двух диаметрально противоположных участков тока (рис. 3) будет направлено вдоль оси симметрии (оси Z). Поэтому и результирующее поле будет направлено вдоль оси Z . Следовательно, достаточно рассчитать z -составляющую вектора \vec{B} . Запишем z -составляющую вектора $d\vec{B}$, используя формулу (2) и учитывая, что векторы $d\vec{l}'$ и \vec{R} взаимно перпендикулярны, а косинус угла между вектором $d\vec{B}$ и осью Z равен $\cos\theta = a/R$:

$$dB_z(h) = I \frac{dl'}{R^2} \cdot \frac{a}{R}, \quad \text{где } R = \sqrt{a^2 + h^2}. \quad (3)$$

Суммируя по всем элементам dl' кругового тока, получаем z -составляющую вектора \vec{B} , записанную в СГСМ:

$$B_z(h) = I \frac{a}{R^3} \int_L dl' = I \frac{a}{R^3} \cdot 2\pi a = I \frac{2\pi a^2}{(a^2 + h^2)^{3/2}};$$

в СИ добавляется множитель $\frac{\mu_0}{4\pi}$:

$$B_z(h) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{2\pi a^2}{(a^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{a^2}{(a^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}}; \quad (4)$$

в частности, при $h=0$ в СИ

$$B_z(h) = \frac{\mu_0 I}{2a} \text{ и } H = \frac{I}{2a}. \quad (5)$$

Чтобы получить магнитное поле H достаточной величины при не слишком большом токе I , можно создать это поле не одним, а несколькими одинаковыми витками провода. Если число витков n , то напряженность создаваемого витками магнитного поля будет в n раз больше поля, создаваемого одним витком:

$$H_{\text{вит}} = \frac{nI}{2a}. \quad (6)$$

Если круговой проводник установить в плоскости магнитного меридиана Земли, то горизонтальная составляющая магнитного поля Земли \vec{H} и поле круговых витков в их центре $\vec{H}_{\text{вит}}$ окажутся перпендикулярными друг другу (рис.4). Тогда тангенс угла поворота магнитной стрелки выразится соотношением $\text{tg } \beta = H_{\text{вит}}/H$, откуда

$$H = \frac{H_{\text{вит}}}{\text{tg } \beta} = \frac{nI}{2a \text{tg } \beta}. \quad (7)$$

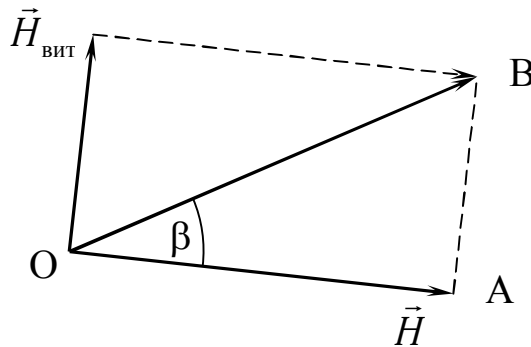


Рис.4. Равнодействующая горизонтальной составляющей магнитного поля Земли \vec{H} и магнитного поля $\vec{H}_{\text{вит}}$ круговых витков в центре при их взаимной перпендикулярности.

Вывод расчетной формулы

Узнать направление магнитного поля $\vec{H}_{\text{вит}}$ витка с током можно лишь приблизительно по ориентации самого витка с током. Поэтому угол β желательно исключить из расчетной формулы, за-

менив другими, более точно измеряемыми углами, для чего можно проделать дополнительное измерение направления результирующего магнитного поля при ином векторе $\vec{H}_{\text{ВИТ}}$, например, при смене его направления на противоположное (путем изменения направления протекания тока I по виткам) при неизменном его модуле или при иной величине вектора $\vec{H}_{\text{ВИТ}}$, но том же направлении. Тогда вместо одного треугольника OAB (рис. 4) мы будем иметь два треугольника OAB_1 и OAB_2 (рис. 5). Получим расчетную формулу для первого случая (рис. 5).

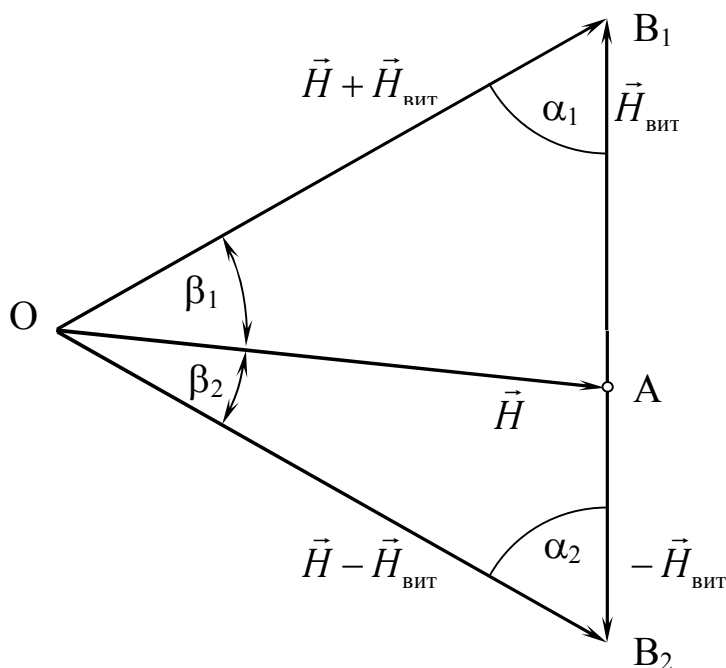


Рис.5. К расчету горизонтальной составляющей магнитного поля Земли: изменяется только направление лабораторного магнитного поля.

По теореме синусов из треугольника OAB_1 имеем

$$\frac{H}{\sin \alpha_1} = \frac{H_{\text{ВИТ}}}{\sin \beta_1}; \quad \sin \alpha_1 = \frac{H}{H_{\text{ВИТ}}} \sin \beta_1. \quad (8)$$

Аналогично из треугольника OAB_2 получим

$$\sin \alpha_2 = \frac{H}{H_{\text{ВИТ}}} \sin \beta_2. \quad (9)$$

Поскольку сумма внутренних углов любого треугольника, и в частности треугольника OB_1B_2 , равна 180° , а $\angle B_1OB_2 = \beta_1 + \beta_2$, имеем третье соотношение

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \beta_1 + \beta_2 = \pi. \quad (10)$$

Этих трех соотношений достаточно для нахождения трех неизвестных α_1 , α_2 , H_0 , из которых нас интересует только H_0 .

Из соотношений (9) и (10) исключаем α_2 :

$$\frac{H}{H_{\text{ВИТ}}} \sin \beta_2 = \sin(\pi - \alpha_1 - \beta_1 - \beta_2) = \sin(\alpha_1 + \beta_1 + \beta_2). \quad (11)$$

Используя известную формулу для синуса суммы двух аргументов, получаем

$$\sin(\alpha_1 + \beta_1 + \beta_2) = \sin \alpha_1 \cos(\beta_1 + \beta_2) + \cos \alpha_1 \sin(\beta_1 + \beta_2).$$

Исключим отсюда $\sin \alpha_1$ и $\cos \alpha_1$ с помощью соотношения (8) и формулы $\cos \alpha_1 = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_1}$:

$$\sin(\alpha_1 + \beta_1 + \beta_2) = \frac{H}{H_{\text{ВИТ}}} \sin \beta_1 \cos(\beta_1 + \beta_2) + \sqrt{1 - \left(\frac{H}{H_{\text{ВИТ}}} \sin \beta_1\right)^2} \sin(\beta_1 + \beta_2).$$

Подставляя в соотношение (11) и перенеся все члены, кроме содержащего радикал, в левую часть, после возведения в квадрат левой и правой частей, получаем

$$\begin{aligned} \left(\frac{H}{H_{\text{ВИТ}}}\right)^2 [\sin \beta_2 - \sin \beta_1 \cos(\beta_1 + \beta_2)]^2 &= \left[1 - \left(\frac{H}{H_{\text{ВИТ}}} \sin \beta_1\right)^2\right] \sin^2(\beta_1 + \beta_2); \\ \left(\frac{H}{H_{\text{ВИТ}}}\right)^2 [\sin^2 \beta_2 - 2 \sin \beta_2 \sin \beta_1 \cos(\beta_1 + \beta_2) + \sin^2 \beta_1 \cos^2(\beta_1 + \beta_2)] &= \\ = \sin^2(\beta_1 + \beta_2) - \left(\frac{H}{H_{\text{ВИТ}}} \sin \beta_1\right)^2 \sin^2(\beta_1 + \beta_2). \end{aligned}$$

Приводя подобные члены и учитывая, что $\cos^2(\beta_1 + \beta_2) + \sin^2(\beta_1 + \beta_2) = 1$, выражаем отсюда H :

$$H = \frac{H_{\text{ВИТ}} \sin(\beta_1 + \beta_2)}{\sqrt{\sin^2 \beta_1 - 2 \sin \beta_1 \sin \beta_2 \cos(\beta_1 + \beta_2) + \sin^2 \beta_2}} \quad (12)$$

Формула (12) с использованием соотношения

$$\sin^2(\beta_1 - \beta_2) = \sin^2 \beta_1 \cos^2 \beta_2 - 2 \sin \beta_1 \cos \beta_2 \cos \beta_1 \sin \beta_2 + \cos^2 \beta_1 \sin^2 \beta_2$$

может быть преобразована к следующему виду:

$$H = \frac{H_{\text{вит}}}{2} \cdot \frac{\sin(\beta_1 + \beta_2)}{\sqrt{(\sin \beta_1 \sin \beta_2)^2 + \left[\frac{1}{2} \sin(\beta_1 - \beta_2)\right]^2}}. \quad (13)$$

требуящему меньше вычислительных операций.

Обозначим через β_0 угол между направлением горизонтальной составляющей магнитного поля Земли и осью, от которой ведется отсчет углов (ее направление задается ориентацией буссоли), а через β'_1 и β'_2 —соответственно углы между направлениями результирующего магнитного поля (в горизонтальной плоскости) и осью отсчета:

$$\beta_1 = \beta'_1 - \beta_0; \quad \beta_2 = \beta_0 - \beta'_0;$$

$$\beta_1 + \beta_2 = \beta'_1 - \beta'_2;$$

$$\beta_1 - \beta_2 = \beta'_1 - \beta_0 - \beta_0 + \beta'_2;$$

Учитывая, что $H = nI/(2a)$, получим расчетную формулу в следующем виде:

$$H = \frac{nI}{4a} \cdot \frac{\sin(\beta'_1 - \beta'_2)}{\sqrt{[\sin(\beta'_1 - \beta_0) \sin(\beta'_2 - \beta_0)]^2 + \left[\frac{1}{2} \sin(\beta'_1 - \beta_0 + \beta'_2 - \beta_0)\right]^2}}. \quad (14)$$

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка состоит из катушки большого радиуса ($a \approx 0,2$ м), имеющей несколько отводов для подключения разного числа витков и укрепленной на подставке. В центре катушки крепится буссоль, в которой на вертикальной оси подвешена магнитная стрелка. На стрелку сверху наклеен легкий алюминиевый круг (лимб) с делениями так, что северный конец стрелки направлен в точку лимба, отмеченную буквой С. Стрелка с лимбом может свободно вращаться вокруг оси внутри коробки с прозрачной крышкой. С одной стороны коробки приклеена призма полного отражения и лупа, через которую можно наблюдать оцифровку лимба. На диаметрально противоположной стороне коробки укреплена стойка с тонкой нитью, которую видит наблюдатель через щель. Отсчет по прибору—это деление лимба, которое совпадает в окуляре (лупе) с нитью. Плоскость витков перпендикулярна поверхности Земли. Стрелка буссоли и, соответственно, лимб должны быть строго горизонтальными, чего добиваются правильным креплением буссоли на подставке.

Существует серийно изготавливаемый прибор аналогичной конструкции, называемый тангенс-гальванометром. Он позволяет не только определять горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли, но и наоборот, по известной из каких либо независимых измерений напряженности магнитного поля Земли определять напряженность магнитного поля, создаваемого витками с током, и по ней рассчитывать значение протекающего тока. Прибор, служащий для обнаружения и измерения слабых токов любого направления, называется гальванометром. При измерениях с помощью тангенс-гальванометра определение силы протекающего тока не основывается на сравнении с какими-либо эталонами тока или напряжения и является абсолютным, то есть непосредственно связывает ток с основными единицами системы СГСМ (см. [6]).

Электрическая схема установки изображена на рис. 6. В работе используется стабилизированный регулируемый источник тока. Переключатель К используется для смены направления тока в витках и, как следствие, — смены направления напряженности магнитного поля витков на противоположное.

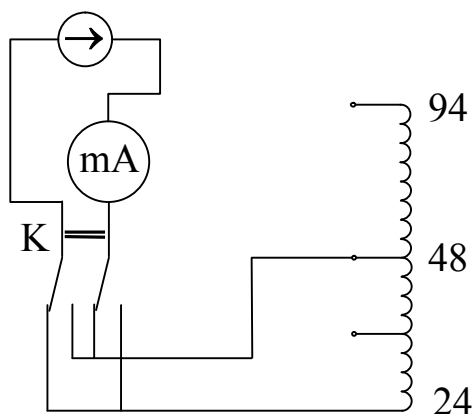


Рис.6. Электрическая схема установки.

Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую схему, включив в схему 24 витка.
2. До включения питания проверьте горизонтальность расположения буссоли и снимите контрольный отсчет β_0 исходного положения лимба (стрелки) буссоли относительно визирной нити с точностью отсчета $0,1^\circ$ ($0,1$ наименьшего деления шкалы).
3. Включите источник питания в сеть 220 В.
4. Включив ключ в одно из крайних положений, для определенности будем считать — левое, подайте напряжение (наличие его в цепи можно обнаружить по отклонению стрелки миллиамперметра) и установите ток 0.050 А. При наблюдении шкалы миллиамперметра глаз располагайте так, чтобы стрелка закрывала

- свое отражение в зеркале шкалы—этим устраняется ошибка, обусловленная параллаксом.
5. Поставьте ключ в среднее положение, чтобы цепь была разорвана. Лимб буссоли начнет вращаться в исходное положение. Разрыв цепи контролируйте по поведению буссоли и показаниям миллиамперметра. Для устранения влияния трения в оси стрелки слегка постукивайте пальцами по основанию буссоли до тех пор, пока колебания лимба не затухнут. Такие постукивания нужны при каждом переходе лимба в новое равновесное положение. Снимите отсчет β_0 и занесите в таблицу (форма таблицы дана в приложении).
 6. Включите ключ в левое положение и, постукивая по основанию буссоли, дождитесь затухания колебаний лимба, снимите отсчет β'_1 нового положения лимба буссоли относительно визирной нити и занесите его в таблицу.
 7. Снова разорвите цепь ключом и снимите отсчет β_0 .
 8. Перекиньте ключ в другое крайнее положение (правое) 2 и снимите отсчет β'_2 .
 9. Проведите измерения по п.п. 4–9 несколько раз при одной и той же силе тока в цепи. Рассчитайте среднее значение углов β_0 , β'_1 , β'_2 , для установленной силы тока и границы доверительных интервалов (погрешности) этих величин. Для этого удобно использовать электронную таблицу (Excel) с уже введенными в нее формулами (файл Lab_2(6).xls). Число и качество проведенных измерений должны обеспечить границы доверительных интервалов не более 2° .
 10. Установите силу тока в цепи 0.100 А и проделайте измерения по п.п. 4–9.
 11. Установите силу тока в цепи 0.150 А и снова проделайте измерения по п.п. 4–9.
 12. Подключив к цепи 48, а в последующей серии измерений 94 витка, снова проделайте измерения по п.п. 4–11.
 13. Полученные средние (для данного значения тока при одном и том же числе витков) значения углов используйте для расчета горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли при каждом значении силы тока и для всех трех значений n (числа витков). При использовании электронной таблицы (файл Lab_2(6).xls) эти расчеты выполняются автоматически благодаря имеющимся в ее ячейках формулам. Вычислите для

каждого значения тока и для каждого числа витков n напряженность создаваемого ими магнитного поля. Эти данные ($n, I, H_{\text{вит}}, H \pm \Delta H$) занесите в отдельную таблицу.

14. Очевидно, наибольшее доверие вызывают результаты, когда напряженность магнитного поля, создаваемого витками с током, сопоставима с горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли. Оставьте в качестве окончательного результата значение, удовлетворяющее этому критерию и имеющее наименьшее значение отношения оценки доверительного интервала к значению H .
15. Рассчитайте на основе полученного доверительного интервала оценку погрешности H (используя коэффициент Стьюдента с доверительной вероятностью 0.95, то есть с уровнем значимости 0.05).

Указания по технике безопасности

1. Используйте в качестве источника питания только специально предназначенный этой работы.
2. Перед включением в сеть источника питания убедитесь, что провода и разъемы, по которым проводится электрический ток, в исправности.
3. Не оставляйте включенную установку без присмотра.
4. Обо всех обнаруженных неисправностях немедленно ставьте в известность преподавателя или инженера. Категорически запрещается устранять внутренние неисправности оборудования самостоятельно.

Контрольные вопросы

1. Почему северный конец магнитной стрелки направлен на Север?
2. Что такое магнитные наклонения и склонения?
3. Почему магнитная стрелка устанавливается в горизонтальной плоскости?
4. Выведите формулу для напряженности магнитного поля в центре кругового тока.
5. Можно ли утверждать, что напряженность магнитного поля Земли измеряется путем сравнения с эталоном? Приведите примеры аналогичных измерений.

6. Почему прибор, позволяющий измерять горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли по описанной методике, носит название тангенс-гальванометра?
7. Зависят ли результаты эксперимента от ориентации витков с током (тангенс-гальванометра)?

Рекомендуемая литература

1. Калашников С.Г. электричество. –М.: Наука, 1977. –591с.
2. Матвеев А.Н. электричество и магнетизм. –М.: Высшая школа. 1988. –468с.
3. Сивухин Д.В. общий курс физики. Т. III. электричество. –М. : Наука. 1977. –888с.
4. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. электричество и магнетизм. Волны. Оптика. –М.: Наука. 1978 –486с.
5. Парсел Э. Электричество и магнетизм. Изд.2. –М.: Наука. 1975. –439с.
6. Руководство к лабораторным занятиям по физики /Л.Л.Гольдин, Ф.Ф.Игошин, С.М.Козел и др. Под ред. Л.Л.Гольдина. Изд.2-е, перераб. –М.: Наука. 1973. –687с.

Приложение

Форма представления результатов измерений

ТАБЛИЦА 1

$n = 24$ витка

$I = 0.05$ А

Измеренные углы:			
β_0	β_1	β_0	β_2

$I = 0.10$ А

Измеренные углы:			
β_0	β_1	β_0	β_2

$I = 0.15$ А

Измеренные углы:			
β_0	β_1	β_0	β_2

$n = 48$ витков

$I = 0.05$ А

β_0	β_1	β_0	β_2

$I = 0.10$ А

β_0	β_1	β_0	β_2

$I = 0.15$ А

β_0	β_1	β_0	β_2

$n = 94$ витка

$I = 0.05$ А

β_0	β_1	β_0	β_2

$I = 0.10$ А

β_0	β_1	β_0	β_2

$I = 0.15$ А

β_0	β_1	β_0	β_2