

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Академия, 2004.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 2. – М.: Астрель, 2001.
3. Калашников С.Г. Электричество. – М.: Физматлит, 2003.

Лабораторная работа № 13

ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРУГОВОГО ТОКА

Цель работы – измерить горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли; исследовать зависимость магнитного поля на оси кругового тока от расстояния до его центра и сравнить с теоретической зависимостью.

Теория и описание метода измерений

Земной шар – это громадный магнит со своим магнитным полем. Северный магнитный полюс Земли N расположен вблизи *южного* географического полюса, южный магнитный полюс S – вблизи *северного* географического полюса. Положение полюсов N и S определяет направление магнитной оси Земли и ее магнитного экватора. Для неэкваториальных областей земной поверхности вектор напряженности магнитного поля Земли представляет собой сумму горизонтальной H_{Γ} и вертикальной H_z составляющих поля Земли.

Метод определения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли основан на том, что к неизвестной величине H_{Γ} , направленной по магнитному меридиану, с помощью плоской катушки с током (плоского соленоида) добавляют *поперечно* направленные магнитное поле этой катушки H_{Γ} (рис. 1). В результате сложения образуется результирующее магнитное поле с напряженностью

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_{\Gamma} + \mathbf{H}_z. \quad (1)$$

Напряженность магнитного поля на оси плоской круговой катушки с током можно найти, если воспользоваться законом Био–Савара–Лапласа и принципом суперпозиции полей:

$$H_z = \frac{NI R^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}}, \quad (2)$$

где I – сила тока в катушке; N – число витков; R – радиус катушки; h – расстояние от плоскости катушки до точки наблюдения.

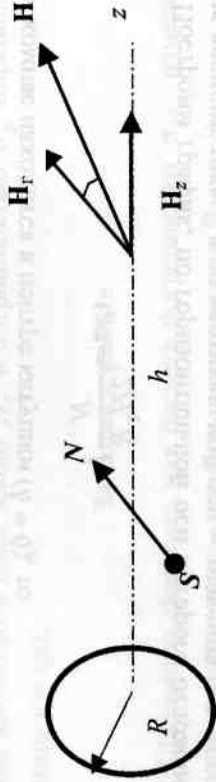


Рис. 1. Суперпозиция магнитного поля Земли и магнитного поля катушки с током

Катушка считается настолько плоской, что напряженность магнитного поля всех N витков с токами находится простым умножением магнитного поля одного витка на число витков N в катушке.

Измерение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

Для измерения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли необходимо поместить в центр плоской катушки, ориентированной своей плоскостью вдоль магнитного меридиана, компас и пропустить по катушке ток. В результате стрелка компаса установится по направлению результирующего магнитного поля, которое является суперпозицией магнитного поля Земли и магнитного поля кругового тока. Как видно из рис. 1 (напомним, что по условию $H_z \perp H_{\Gamma}$), тангенс угла отклонения стрелки компаса равен

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H_z}{H_{\Gamma}}. \quad (3)$$

Из формул (2) и (3) следует, что $\operatorname{tg} \alpha$ пропорционален току I в круговой катушке:

$$\operatorname{tg} \alpha = K(h)I, \quad (4)$$

где

$$K(h) = \frac{NR^2}{2H_r(R^2 + h^2)^{3/2}}. \quad (5)$$

Если компас находится в центре катушки ($h = 0$), то

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{N}{2H_r R} I. \quad (6)$$

Построим график, по горизонтальной оси которого отложим значения величин тока I , а по вертикальной оси — значения $\operatorname{tg} \alpha$, тогда получится прямая линия, угловой коэффициент наклона которой равен

$$k = \frac{N}{2H_r R}. \quad (7)$$

Экспериментально определив значение k , можно из (7) вычислить величину горизонтальной составляющей магнитного поля Земли:

$$H_r = \frac{N}{2kR}. \quad (8)$$

Таким образом, в рассмотренном методе *погрешность* σ_{H_r} определения величины горизонтальной составляющей магнитного поля Земли H_r определяется погрешностью σ_k определения углового коэффициента k и погрешностью σ_R определения радиуса R витка плоского соленоида.

Исследование магнитного поля на оси кругового тока

Зависимость магнитного поля на оси плоской круговой катушки с током от расстояния h до его центра определяется посредством перемещения компаса вдоль оси катушки и измерения угла отклонения магнитной стрелки в фиксированных точках на оси. При этом ток I че-

рез катушку не меняют. Зависимость магнитного поля на оси плоской круговой катушки с током от h определяется из (3)

$$H_z = H_r \operatorname{tg} \alpha. \quad (9)$$

Таким образом, в данном методе *погрешность* σ_{H_z} определения величины магнитного поля плоской круговой катушки с током H_z определяется погрешностью σ_{H_r} определения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли H_r и погрешностью σ_y определения величины $y = \operatorname{tg} \alpha$.

Задание к работе

- 1.* Получить формулу для расчета погрешности σ_{H_r} измерения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли H_r .
- 2.* Получить формулу для расчета погрешности σ_{H_z} определения величины магнитного поля плоской круговой катушки с током H_z .
- 3.* Получить формулу для расчета погрешности σ_y величины $y = \operatorname{tg} \alpha$ по известной погрешности σ_α измерения угла α .

Измерение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

1. Поместить компас в *центр* токовой катушки так, чтобы направление стрелки компаса совпало с плоскостью витков катушки.
2. Измерить угол отклонения стрелки компаса для *десяти* значений силы тока. Угол отклонения измерять в каждом случае при двух противоположных направлениях тока и определять его среднее значение по двум измерениям.
3. Нанести на график, по оси ординат которого откладывается величина $y = \operatorname{tg} \alpha$, а по оси абсцисс — величина $x = I$, точки, соответствующие величинам, определенным в предыдущем пункте. С целью упрощения работы погрешности величин y и x не вычислять и не наносить на график.

Примечание. Задания, помеченные звездочкой, выполняются студентами дома.

4. Провести «наилучшую» прямую и определить графическим способом угловой коэффициент наклона k этой прямой и его погрешность σ_k (см. п. 4 Введения).

5. По формуле (8) вычислить среднее значение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли H_G .

6. Оценить погрешность σ_{H_G} измерения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли H_G .

Измерение зависимости магнитного поля на оси кругового тока от расстояния до его центра

1. Перемещая компас вдоль оси катушки, измерить угол отклонения магнитной стрелки для пяти значений h . Для каждого значения h угол α определять при двух противоположных значениях тока I и затем вычислять среднее значение этого угла. Ток I в процессе всех измерений не изменять.

2. Используя полученное ранее значение для напряженности магнитного поля Земли H_G , по формуле определить (9) магнитное поле H_Z плоской катушки с током.

3. Определить погрешность σ_{H_Z} для каждого из пяти значений H_Z .

4. Значения H_Z и его погрешности нанести на график, по оси ординат которого откладывается величина H_Z , а по оси абсцисс – величина h .

5. По массиву экспериментальных точек этого графика провести «наилучшую» кривую. При этом воспользоваться *основным правилом построения*: «наилучшую» кривую строить так, чтобы число точек, лежащих выше и ниже этой кривой, было примерно одинаковым.

6. Построить на этом же графике теоретическую зависимость $(H_Z(h))$ (см. формулу (2)) и сравнить эту зависимость с «наилучшей» кривой, полученной в предыдущем пункте.

7. Сделать выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Какова цель работы?
2. Опишите метод измерения горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли, который применяется в данной работе.
3. Опишите метод измерения зависимости магнитного поля на оси плоской круговой катушки с током от расстояния до ее центра, который применяется в данной работе.
4. Используя закон Био–Савара–Лапласа и принцип суперпозиции, получите формулу (2) для напряженности магнитного поля на оси плоской круговой катушки с током.
5. Какова зависимость напряженности магнитного поля на оси плоской круговой катушки с током от h , если $h \gg R$?
6. Как оценить погрешность σ_y величины $y = \operatorname{tg} \alpha$? От чего зависит эта погрешность?
7. Как оценить погрешность σ_{H_G} измерения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли H_G ? От чего зависит эта погрешность?
8. Как оценить погрешность σ_{H_Z} измерения магнитного поля H_Z на оси плоской круговой катушки с током? От чего зависит эта погрешность?
9. Получили ли вы ожидаемую зависимость напряженности магнитного поля на оси плоской круговой катушки с током от расстояния до ее центра?

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Академия, 2004.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 2. – М.: Астрель, 2001.
3. Капашников С.Г. Электричество. – М.: Физмаглит, 2003.