

РАБОТА 13 ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРУГОВОГО ТОКА (закон Био – Савара – Лапласа)

Цель работы: Ознакомление с методикой измерения индукции магнитного поля, экспериментальное исследование магнитного поля, созданного круговым током, приобретение навыков расчета магнитного поля с помощью закона Био – Савара – Лапласа.

Приборы и принадлежности: лабораторный макет установки для исследования магнитного поля кругового тока (рис. 1).

В работе используется планшет (1), с нанесенной на него координатной сеткой. На планшете установлено кольцо (2), внутри которого медным проводом намотана катушка.

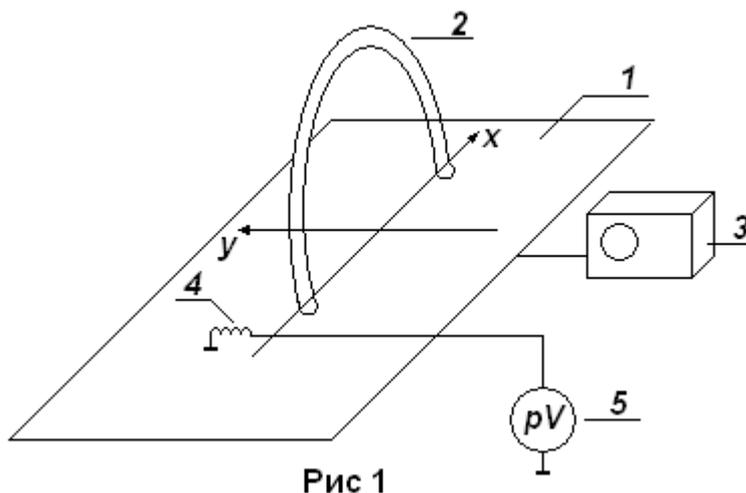


Рис 1

Кольцевая катушка (2) подключена к генератору (3), индукция магнитного поля, созданного током, протекающим в катушке (2), измеряется в разных точках планшета катушкой-датчиком (4), подключенной к измерительной схеме (5). В процессе измерения исследователь поворачивает датчик (4) в горизонтальной плоскости, добываясь максимальных показаний вольтметра измерительной схемы. На корпусе датчика (4) нанесена стрелка, направление которой совпадает с осью катушки.

Помещая датчик в различные точки планшета, и, измеряя индукцию магнитного поля в данной точке, можно построить картину исследуемого поля.

Исследуемые закономерности

Магнитное поле кругового тока. Индукция магнитного поля, создаваемого током, протекающим в проводнике произвольной формы рассчитывается с помощью закона Био – Савара – Лапласа

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{l} \times \left(\frac{\mathbf{r}}{r}\right)}{r^2}.$$

Значение индукции магнитного поля на оси кругового тока (вдоль оси y на рис. 1) определяется выражением

$$B_y = \frac{\mu\mu_0}{2} \frac{NIR^2}{\sqrt{(R^2 + y^2)^3}}, \quad (1)$$

где R – радиус кругового тока, I – сила тока, N – число витков в катушке.

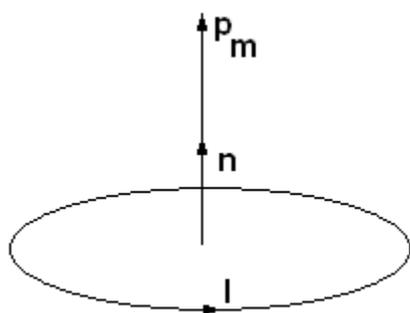


Рис 3

Магнитный момент. Будучи помещенным в магнитное поле, круговой виток с током испытывает на себе действие вращающего момента силы и ориентируется в поле

таким образом, что плоскость витка располагается перпендикулярно вектору магнитной индукции внешнего поля.

Ориентирующий момент силы, действующий на круговой ток, можно описать соотношением

$$\mathbf{M} = \mathbf{p}_m \times \mathbf{B},$$

где \mathbf{p}_m – магнитный момент витка с током, определяемый выражением

$$\mathbf{p}_m = IS\mathbf{n}, \quad (3)$$

I – сила тока в витке, S – площадь, охваченная током витка, \mathbf{n} – единичный вектор нормали к плоскости витка. Правило, по которому определяется направление вектора магнитного момента, следует из рис. 3. Выражение (3) справедливо для любой формы тока, образующего замкнутую петлю.

Явление электромагнитной индукции. Процесс измерения значений индукции магнитного поля основан на использовании явления электромагнитной индукции

$$U = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Поскольку катушка, создающая исследуемое магнитное поле, питается переменным током частоты f , то

$$U = \frac{1}{\sqrt{2}} \pi f B S w, \quad (5)$$

где S – эффективная площадь сечения катушки датчика w – число витков катушки датчика.

Указания по выполнению наблюдений

1. Включить генератор, питающий катушку кругового тока, измерить силу тока, протекающего в катушке. Поместить катушку-датчик в центр витка, поворачивая датчик в плоскости планшета, измерить максимальное значение напряжения, индуцированного в катушке. Пользуясь выражением (1) и параметрами макета, указанными на панели установки, вычислить значение индукции магнитного поля в центре витка и определить масштабный коэффициент (Тл/В) для данного макета. Здесь и далее координаты датчика определять по положению центра его проекции на плоскость планшета.
2. Перемещая датчик от центра витка вдоль его оси (ось y на рис. 1), измерить значения индукции магнитного поля в 10 – 15 точках с обеих сторон от плоскости витка.
3. Перемещая датчик от центра витка вдоль его радиуса, измерить значения индукции магнитного поля в 10 – 15 точках внутри витка и в 10 – 15 точках вне его.
4. Поместив датчик в произвольной точке, координаты которой находятся за пределами витка, измерить в этой точке значения составляющих B_x ; B_y и модуля B вектора магнитной индукции.

Задание на подготовку к работе:

1. Выполните индивидуальное домашнее задание.
2. Изучите описание лабораторной работы.
3. Выведите подробно формулу для расчета значений магнитной индукции на оси витка (докажите справедливость выражения (1)).
4. Запишите расчетную формулу для определения градуировочного коэффициента.
5. Выведите формулы для определения погрешностей проекций индукции магнитного поля и ее результирующих величин, основываясь на величинах инструментальных погрешностей измерения индуцированного напряжения и координат.
6. Подготовьте бланк Протокола наблюдений, основываясь на содержании раздела «Указания по проведению наблюдений», разработайте и внесите в бланк Протокола

наблюдений подходящие таблицы для записи результатов измерений, описанных в пунктах 1; 2; 3; 4.

Задание по обработке результатов:

1. По данным таблиц наблюдений определите значения индукции магнитного поля в точках, где проводились измерения (пункты 2; 3; 4). Нанесите на графики ход изменения индукции магнитного поля (для измеренных значений индукции магнитного поля на оси витка - только экспериментальные точки).
2. Рассчитайте, используя выражение (1), значения индукции магнитного поля на оси витка в тех же точках, где проводились измерения. Нанесите на график расчетную кривую хода изменения индукции магнитного поля на оси витка. Сравните результаты эксперимента и расчета.
3. Начертите на листе миллиметровой бумаги формата А4 эскиз установки с осями координат и проекцией на плоскость листа катушки кругового витка. Рассчитайте и нанесите на чертеж несколько векторов индукции магнитного поля (для 6 – 8 точек в каждой области, где проводились измерения).
4. Рассчитайте для выбранных векторов индукции погрешности их модулей, запишите полученные результаты в стандартном виде на чертеже, рядом с соответствующим вектором.
5. Рассчитайте магнитный момент витка с током. Определите максимальный вращающий момент, действующий на виток в магнитном поле Земли на широте Санкт-Петербурга.
6. Сформулируйте выводы по проведенному исследованию.

Контрольные вопросы

1. Какова природа источников магнитного поля?
2. Сформулируйте закон Био – Савара – Лапласа.
3. Продемонстрируйте вывод формулы (1).
4. Получите из формул (5) выражения для составляющих индукции магнитного поля в декартовой системе координат.
5. Изобразите качественно магнитное поле кругового тока.