

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

### ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ

**Цель работы** – экспериментальное изучение закона Ампера; определение магнитной индукции в воздушном зазоре постоянного магнита.

#### 1. Теоретические основы работы

На элемент  $d\vec{l}$  проводника с током  $I$ , находящегося в магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$  (рис.1), действует сила  $d\vec{F}$ , значение которой определяется законом Ампера:

$$d\vec{F} = I [d\vec{l}, \vec{B}]. \quad (1)$$

На прямолинейный проводник длиной  $b$  с током  $I$ , расположенный перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля действует сила, значение которой находится интегрированием (1) по длине проводника:

$$F_A = \int_0^b dF = IBb, \quad (2)$$

где  $I$  – сила тока в проводнике;  $b$  – длина проводника;  $B$  – магнитная индукция.

В технике широко используются приборы, в которых магнитное поле создается в малом кольцевом зазоре 1 постоянными магнитами 2 и 4 (рис. 2). В пределах зазора линии магнитного поля направлены радиально, а значение магнитной индукции зависит только от расстояния до точки  $O$ . Если в такое магнитное поле поместить рамку 3 с током  $I$ , свободно вращающуюся вокруг оси  $O$ , то на нее будет действовать пара сил Ампера.

Момент этих сил относительно оси вращения  $O$  зависит от значения магнитной индукции в тех точках пространства, где расположены стороны рамки параллельные оси вращения, от силы тока в рамке, ее геометрических размеров, числа витков  $N$  намотанного на нее провода,

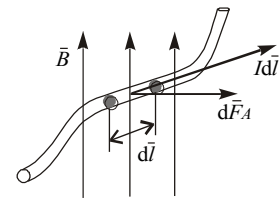


Рис. 1. Определение силы, действующей на элемент тока в магнитном поле

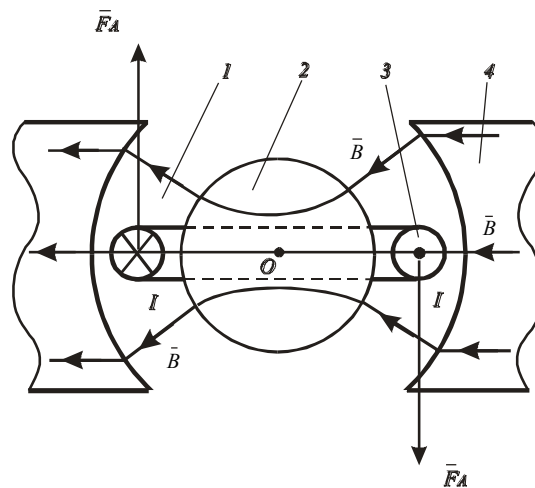


Рис.2. Рамка с током в радиальном магнитном поле

но не зависит от угла поворота рамки:

$$M = F_A a N, \quad (3)$$

где  $M$  – момент сил Ампера относительно оси вращения;  $F_A$  – сила Ампера;  $N$  – число витков,  $a$  – ширина рамки.

Из (2) и (3) имеем

$$M = IBb a N, \quad (4)$$

где  $b$  – длина рамки.

Если момент сил Ампера  $M_{(A)}$ , приложенный к рамке 1 (рис. 3), уравновесить моментом силы тяжести  $mg$ , действующей на стрелку 2, жестко связанную с рамкой, то значение момента сил Ампера можно определить по углу поворота  $\alpha$  рамки, при котором достигается механическое равновесие:

$$M_{(A)} = M(mg) \quad (5)$$

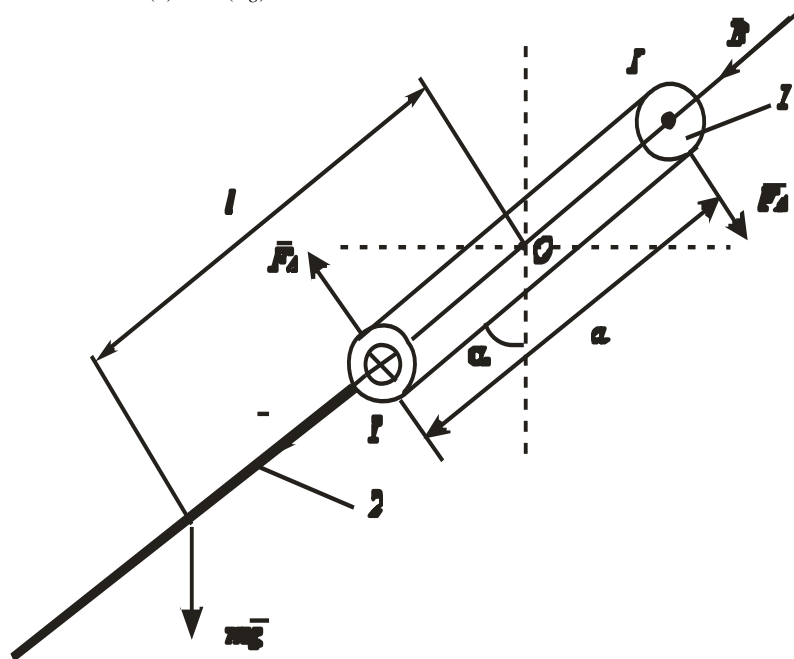


Рис. 3 Момент силы тяжести уравновешивает момент силы ампера  
Из (4) и (5) и рис. 3 следует:

$$F_A a N = I B b a n = m g l \sin \alpha, \quad (6)$$

где  $I$  – сила тока в рамке,  $B$  – магнитная индукция,  $a$  – ширина рамки,  $b$  – длина рамки,  $l$  – расстояние от центра масс стрелки до оси вращения рамки,  $m$  – масса стрелки,  $N$  – число витков рамки,  $\alpha$  – равновесный угол поворота рамки.

Из (6) следует:

$$F_A = \frac{m g l}{a N} \sin \alpha, \quad (7)$$

## 2. Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка представляет собой амперметр магнитоэлектрической системы, в котором измерительная рамка находится в радиальном поле постоянных магнитов, как это показано на рис. 2. На стрелке прибора, в отсутствие тока занимающей вертикальное положение, закреплена тонкая металлическая трубочка. Измерительная шкала амперметра заменена транспортиром для измерения углов отклонения стрелки.

Для учета методической погрешности, связанной с наличием момента упругих сил  $M_y$ , возникающих в подвеске рамки при ее повороте, необходимо поставить корпус прибора на левую боковую грань и измерить угол  $\beta$  отклонения груза от вертикали. По углу  $\beta$  можно определить коэффициент жесткости подвески  $k$ .

Так как  $M_y = k \beta$ , то при равновесии рамки с грузом момент силы тяжести равен моменту упругих сил:  
 $m g l \cos \beta = k \beta$ .

Отсюда

$$k = \frac{m g l \cos \beta}{\beta}.$$

С учетом момента упругих сил выражение (6) принимает вид

$$F_A a N = m g l \sin \alpha + k \alpha, \quad (8)$$

а выражение (7) –

$$F_A = \frac{m g l \sin \alpha}{a N} + \frac{m g l \cos \beta}{a N \beta} \alpha. \quad (9)$$

Из (2) и (9) получим выражение для расчета магнитной индукции:

$$B = \frac{mgl}{INab} \left( \sin(\alpha) + \frac{\alpha}{\beta} \cdot \cos(\alpha) \right) \quad (10)$$

### 3. Порядок выполнения работы.

1. Заполните табл. 1 спецификации измерительных приборов.
2. Измерьте зависимость угла  $\alpha$  отклонения груза (поворота рамки) от силы тока  $I$  в рамке:
  - подключите модуль лабораторной работы соединительным кабелем к источнику питания. Регулятор напряжения на источнике питания установите в крайнее левое положение;
  - к нижнему штекерному разъему модуля подсоедините прибор для измерения силы тока в рамке;
  - произведите измерение силы тока в рамке для углов отклонения от 5 до 45°. Результаты измерений запишите в табл. 2.
  - выключите электропитание. Положите модуль лабораторной работы на левую боковую грань и измерьте угол  $\beta$  отклонения груза от горизонтали, результат измерений запишите после табл. 2.

Таблица 1

Спецификация измерительных приборов

Название прибора и его тип	Пределы измерения	Цена деления	Инструментальная погрешность

Таблица 2

Зависимость угла отклонения от силы тока в рамке

№	$I, A$	$\alpha^\circ$	$F_A, H$

### 4. Обработка результатов измерений

1. По данным табл. 2 рассчитайте по формуле (9) значения силы Ампера и результаты запишите в ту же таблицу.
2. Постройте график зависимости силы Ампера от силы тока в рамке, проведя через экспериментальные точки прямую, выходящую из начала координат.
3. Используя выражение (2) найдите по тангенсу угла наклона прямой на графике значение магнитной индукции  $B$  в воздушном зазоре постоянного магнита.
4. Рассчитайте погрешность измерения  $\Delta F_A$  и  $\Delta B$ , запишите окончательный результат в стандартной форме.

### 5. Контрольные вопросы

1. Запишите закон Ампера для силы, действующей на проводник с током в магнитном поле.
2. Запишите условие равновесия рамки с учетом момента упругих сил.
3. Какова зависимость силы Ампера от силы тока в рамке?
4. Каким образом в данной лабораторной работе можно оценить работу сил Ампера?

**Лабораторная работа №11**  
**Изучение действия магнитного поля на проводник с током**

1. Состав работы:

- источник питания постоянного тока.....1 шт.
- лабораторный модуль.....1 шт.
- мультиметр.....1 шт.

2. Параметры работы:

- масса стрелки "m".....80 мг.
- расстояние от центра масс стрелки до оси вращения "r".....3 см.
- ширина рамки "a".....18 мм.
- длина рамки "b".....13 мм.
- число витков рамки N.....50
- предельный угол отклонения стрелки  $\alpha$ .....50°