

Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 2.2.6

ПРОВЕРКА ЗАКОНА АМПЕРА*

* Филимонова Л.В. Магнитное поле тока: Методические указания к выполнению лабораторных работ по физике / Л.В. Филимонова, Г.В. Яблоновский, Л.Ф. Степанова, Ю.В. Логинов, В.В. Некрасов. – Архангельск: РИО АЛТИ, 1981. – 44 с.

Описание установки и метода измерения

На линейный проводник с током I и длиной l действует в однородном магнитном поле сила F , определяемая законом Ампера:

$$\vec{F} = I[\vec{l} \times \vec{B}],$$

где \vec{B} – вектор магнитной индукции;

\vec{l} – элемент тока,

I – сила тока.

Установка для проверки закона Ампера состоит из физического маятника, помещенного между полюсами постоянного магнита (см. рисунок). Физический маятник представляет собой прямоугольную рамку, которая содержит 10 витков медного провода. К рамке прикреплена ось, вокруг которой она может вращаться. Активным элементом маятника является часть рамки – проводник ab .

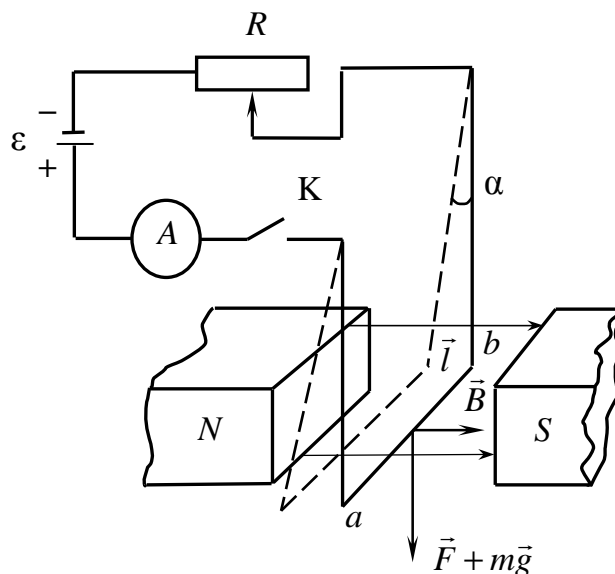


Рисунок 6.1 - Схема лабораторной установки

Сила тока в рамке может изменяться с помощью реостата R .

Абсолютное значение силы Ампера равно

$$F = IBl \sin(\hat{l}, \hat{B}).$$

Проводник ab при колебаниях маятника остается перпендикулярным силовым линиям. Отсюда формулу силы Ампера можно записать:

$$F = IBl, \text{ так как } \sin(\vec{l}, \vec{B}) = \sin 90^\circ = 1. \quad (6.1)$$

Индукция магнитного поля из формулы (6.1) может быть выражена:

$$B = \frac{F}{10Il}, \quad (6.1a)$$

учитывая, что рамка физического маятника состоит из 10 витков провода, по которому течет ток I .

Проверка соотношения (6.1a) основана на измерении периодов колебаний маятника, зависящих от тока I .

На выведенный из положения равновесия маятник действуют два момента сил:

$$\text{момент силы тяжести } M_1 = -mgr_1 \sin \alpha;$$

$$\text{момент силы Ампера } M_2 = -Fr_2 \sin \alpha,$$

где m – масса маятника;

r_1 – расстояние от горизонтальной линии подвеса до центра тяжести маятника;

r_2 – расстояние от линии подвеса до проводника;

α – угол отклонения маятника от положения равновесия.

Результирующий момент возвращающих сил ($M = M_1 + M_2$) согласно основному уравнению динамики вращательного движения равен

$$M = J\varepsilon,$$

где J – момент инерции маятника;

ε – угловое ускорение, $\varepsilon = \frac{d^2\alpha}{dt^2}$.

Тогда уравнение движения маятника имеет вид:

$$J \frac{d^2\alpha}{dt^2} = -m g r_1 \sin \alpha - F r_2 \sin \alpha.$$

Если угол α мал, то $\sin \alpha \approx \alpha$, уравнение движения маятника примет вид

$$J \frac{d^2\alpha}{dt^2} + (m g r_1 + F r_2) \alpha = 0. \quad (6.2)$$

Решением этого дифференциального уравнения является

$$\alpha = \alpha_0 \sin \omega t,$$

где ω – циклическая частота колебаний маятника.

$$\omega^2 = \frac{m g r_1 + F r_2}{J} = \frac{m g r_1}{J} + \frac{F r_2}{J}. \quad (6.3)$$

При выключенном токе $F = 0$, тогда

$$\omega_0^2 = \frac{m g r_1}{J}, \quad (6.4)$$

где ω_0 – собственная циклическая частота колебаний маятника при отсутствии сил трения (считаем трение пренебрежительно малым).

Заменив первое слагаемое в выражении циклической частоты (6.3) на ω_0^2 , получим:

$$\omega^2 - \omega_0^2 = \frac{F r_2}{J}. \quad (6.5)$$

Приняв во внимание, что $\omega = \frac{2\pi}{T}$, $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$, выразим значение силы Ампера:

$$F = \frac{4\pi^2 J}{r_2} \left(\frac{1}{T^2} - \frac{1}{T_0^2} \right). \quad (6.6)$$

С учетом формулы (6.6) выражение (6.1а) для индукции магнитного поля между полюсами постоянного магнита примет вид

$$B = \frac{4\pi^2 J}{10 I r_2 l} \left(\frac{1}{T^2} - \frac{1}{T_0^2} \right). \quad (6.7)$$

Так как в условиях опыта для однородного поля ($B = const$) постоянны J, l, r_2 , то проверка закона Ампера сводится к установлению того, что

$$\frac{1}{I} \left(\frac{1}{T^2} - \frac{1}{T_0^2} \right) = C_0 = const. \quad (6.8)$$

Порядок выполнения работы и обработки результатов измерений

1. Ознакомиться с установкой. Записать характеристики амперметра. Собрать электрическую цепь.
2. Записать значения r_1, r_2, m, l со стенда установки.
3. Отклонить маятник на малый угол ($\alpha < 5^\circ$), определить время $N=20$ полных колебаний маятника без тока и при различных токах. Получить не менее 5 значений, данные занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений

№ п/п	I, A	t, c	T, c	$C_0, A^{-1} \cdot c^{-2}$

4. Вычислив периоды колебания маятника T_0 и T для различных токов, установить справедливость соотношения (6.8).

Примечание. Можно производить измерения при направлении тока в проводнике ab , противоположном указанному на рисунке. В этом случае в формуле (6.8) периоды T_0 и T меняются местами.

Дополнительное задание

1. Пользуясь зависимостью периода колебаний физического маятника $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgr_1}}$, рассчитать момент инерции маятника $J = \frac{T_0^2 mgr_1}{4\pi^2}$.
2. Зная l, r_1, r_2 , по среднему значению $\langle C_0 \rangle$ найти значение магнитной индукции B по формуле

$$B = \frac{4\pi^2 J}{10r_2 l} \langle C_0 \rangle,$$

где l – длина проводника ab .

3. Вычислить абсолютную и относительную погрешность C_0 .

Контрольные вопросы

1. Сформулировать закон Ампера, правило левой руки.

2. Физический смысл индукции магнитного поля B . Единицы измерения.

3. Как направлены силы, действующие со стороны магнитного поля на вертикальные токопроводящие нити маятника? Сделать рисунок.

4. Как изменится направление силы Ампера при изменении направления тока в маятнике на противоположное?

5. Как изменится период колебаний маятника при изменении направления тока в нем на противоположное?

Литература

1. Грабовский Р.И. Курс физики. – М.: Высш.шк., 1980. – 607 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. – М.: Наука, 1978. – 480 с.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высш.шк., 1985. – 432 с.
4. Шубин А.С. Курс общей физики. – М.: Высш.шк., 1976. – 480 с.