

# Работа 334

## Изучение силы взаимодействия проводников с током

### Решаемые задачи

- Приобрести навыки сборки электрической схемы для изучения силы Ампера.
- Пронаблюдать зависимость величины и направления силы Ампера от силы тока, расстояния между проводниками и направления электрического тока в проводниках.
- На основании данных эксперимента рассчитать магнитную постоянную.

Бесконечно длинный проводник с током создает вокруг себя магнитное поле, индукция которого  $\mathbf{B}$  зависит от расстояния до проводника  $r$  и силы тока в проводнике  $I_1$ :

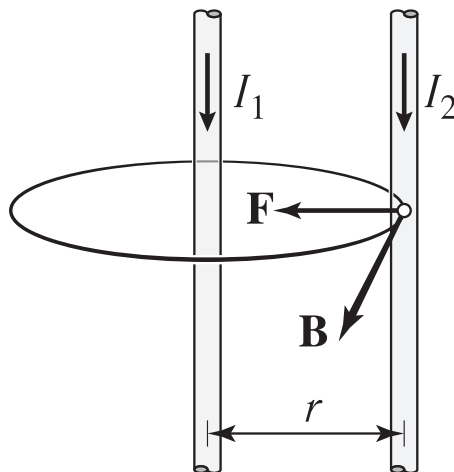
$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi \cdot r}, \quad (1)$$

где  $\mu_0$  — магнитная постоянная, коэффициент, который зависит от выбора системы единиц. Вектор магнитной индукции при этом расположен в плоскости перпендикулярной проводнику, так что силовые линии представляют собой концентрические окружности, так как это показано на рисунке.

Если на расстоянии  $r$  параллельно первому проводнику расположить второй проводник, то при протекании по нему электрического тока со стороны магнитного поля на него будет действовать сила Ампера, равная

$$F = I_2 \cdot l \cdot B = \mu_0 \cdot \frac{l}{2\pi} \frac{I_2 \cdot I_1}{r}, \quad (2)$$

где  $I_2$  — сила тока в проводнике,  $l$  — его длина. При этом направление силы определяется взаимным направлением токов  $I_1$  и  $I_2$ : параллельные токи притягиваются, антипараллельные — отталкиваются.



В системе СИ единица силы тока, ампер, является одной из основных единиц, и определя-

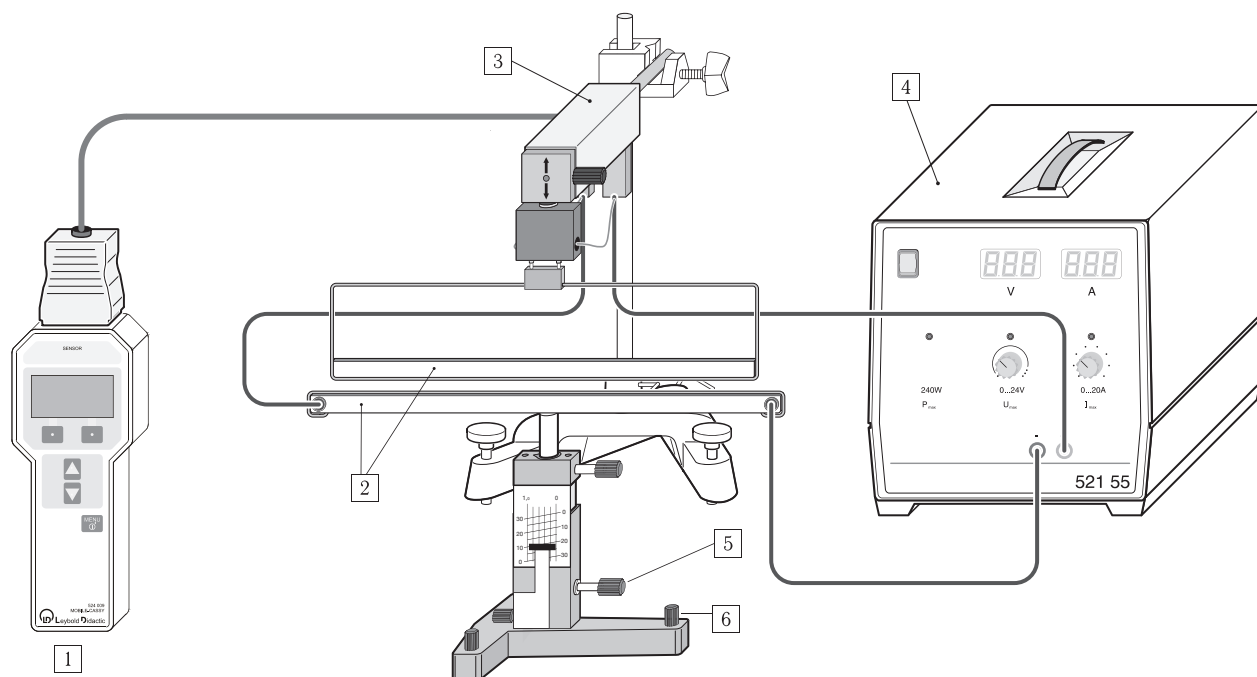


Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения силы взаимодействия между проводниками с током: 1) мобильный измеритель CASSY; 2) проволочные рамки; 3) электронный динамометр; 4) источник тока; 5) винт регулировки расстояния между рамками; 6) винты для выравнивания относительного положения рамок.

ется через магнитное взаимодействие параллельных токов. По определению, *ампер* — сила постоянного тока, который проходя по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого, вызывает на каждый метр длины проводника силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

Из этого определения и выражения (2) следует, что

$$2 \cdot 10^{-7} \text{ Н} = \mu_0 \cdot \frac{1 \text{ м} 1 \text{ А}^2}{2\pi 1 \text{ м}}, \quad (3)$$

откуда

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}. \quad (4)$$

В этой работе изучается взаимодействие между двумя проводниками длины  $l = 30$  см, расположенными на расстоянии несколько миллиметров друг от друга. Сила взаимодействия между проводниками измеряется с помощью электронного динамометра. Необходимо исследовать зависимость силы Ампера от расстояния между проводниками а также силы и направления тока в них.

Электронный динамометр состоит из двух параллельных гибких элементов и четырех датчиков деформации (тензодатчиков), соединенных в мостовую цепь. Электрическое сопротивление тензодатчиков изменяется под действием механических напряжений, при этом изменение сопротивления пропорционально действующей силе.

## Оборудование

Проволочные рамки	1 шт.	51633
Штатив переменной высоты	1 шт.	51631
Источник питания	1 шт.	52155
Mobile-CASSY	1 шт.	524009
Датчик силы, $\pm 1$ Н	1 шт.	524060
Соединительный провод 50 см синий	1 шт.	50126
Соединительный провод 100 см красный	1 шт.	50130
Соединительный провод 100 см синий	1 шт.	50131

## Подготовка эксперимента

Экспериментальная установка приведена на рис. 1. К электронному динамометру [3] прикреплена одна из проволочных рамок [2], вторая рамка установлена в неподвижном штативе. Два гнезда в нижней части динамометра предназначены для удержания медными ленточными проводниками, по которым к рамке подводится электрический ток. С помощью соединительных проводов верхнюю и нижнюю рамки можно подключать к источнику [4] тока так, чтобы токи в них были параллельны или антипараллельны. Расстояние между рамками можно изменять с помощью винта [5], контролируя перемещение с помощью отсчетного устройства на штативе.

Порядок сборки экспериментальной установки:

- Вставить штыри короткой рамки в гнездо датчика динамометра;
- Вставить однополюсные вилки с медными ленточными проводниками в гнезда на корпусе электронного динамометра;
- Закрепить длинную рамку на подвижном штативе;
- С помощью имеющихся проводников подключить рамки последовательно к источнику тока так, чтобы направление тока в обоих рамках было одинаковым;
- Подключить кабель электронного динамометра к входному разъему мобильного измерителя CASSY;
- Перемещая подвижный штатив по плоскости стола и регулируя его высоту винтами [6], добиться параллельного расположения рамок. Получение хороших результатов требует тщательной настройки взаимного расположения рамок.

*Внимание:* рамки не должны касаться друг друга! Минимальное расстояние между рамками 2 мм. Поскольку в рамках протекает значительный ток, измерения необходимо проводить быстро, чтобы не допустить перегрева проводников. После окончания любых измерений нужно сразу же установить ручку регулировки силы тока в источнике питания в крайнее левое положение.

Поскольку значения силы Ампера, достигаемой в этой работе очень малы (единицы миллиньютонов) измерения подвержены влиянию различных помех, поэтому необходимо избегать вибрации и колебаний температуры а также проводить все измерения не менее 5 раз с последующим усреднением результатов.

## Порядок выполнения работы

### Изучение направления вектора силы Ампера и его зависимости от силы тока

- Включить рамки таким образом, чтобы токи в них были противоположно направлены.
- Установить с помощью винта вертикального перемещения подвижного штатива (5 на рис. 1) зазор между рамками 2 мм. При этом расстояние между осями проводников составит  $r = 4$  мм.
- Убедиться, что ручка регулировки тока источника находится в крайнем левом положении.
- Включить источник тока.
- Включить мобильный измеритель CASSY.
- Провести зануление показаний электронного динамометра. Для этого с помощью кнопок  $\triangle$  и  $\nabla$  в меню «Properties» выбрать пункт «Compensate offset» и обнулить показания с помощью правой кнопки  $\square$ .
- Увеличивая ток в рамке через 2 А в диапазоне от 0 до 20 А измерить зависимость силы взаимодействия проводников от силы тока. Для каждого значения силы тока измерять силу взаимодействия проводников не менее пяти раз. Результаты измерений занести в таблицу. Поскольку в рамках протекает значительный ток, измерения необходимо проводить быстро, чтобы не допустить перегрева проводников.
- После измерения силы взаимодействия при токе 20 А, ручку регулировки тока установить в крайнее левое положение и выключить источник тока.
- Включить рамки таким образом, чтобы токи в них были сонаправлены. При переключении проводников необходимо не изменять взаимное расположение рамок и расстояние между ними.
- Повторить измерения зависимости силы взаимодействия между проводниками от силы тока.
- После измерений ручку регулировки тока установить в крайнее левое положение и выключить источник тока.

### Изучение зависимости силы Ампера от расстояния между проводниками

- Установить с помощью винта вертикального перемещения подвижного штатива установить зазор между рамками 2 мм. При этом расстояние между осями проводников составит  $r = 4$  мм.
- Убедиться, что ручка регулировки тока источника находится в крайнем левом положении.
- Включить источник тока.
- Включить мобильный измеритель CASSY.

- Провести зануление показаний электронного динамометра.
- Установите значение силы тока в рамке 15 А.
- Измерьте силу взаимодействия проводников (не менее пяти раз). Результаты измерений занести в таблицу. Поскольку в рамках протекает значительный ток, измерения необходимо проводить быстро, чтобы не допустить перегрева проводников.
- После измерений ручку регулировки тока установить в крайнее левое положение.
- Повторите измерения в диапазоне расстояний  $r = 4 \dots 16$  мм с шагом 1 мм, каждый раз изменяя расстояние между проводниками при помощи винта [5]. Перед каждым измерением при нулевом тока контролируйте показания динамометра, при необходимости проведите повторное зануление его показаний.
- После измерений ручку регулировки тока установить в крайнее левое положение и выключить источник тока.

## Обработка результатов

### Изучение направления вектора силы Ампера и его зависимости от силы тока

- Постройте графики зависимости силы  $F$  и от квадрата силы тока  $I^2$  в них для параллельного и антипараллельного направления токов. Полученную зависимость в каждом случае аппроксимировать прямой линией и определить тангенс угла наклона прямой. Используя выражение

$$F = \mu_0 \cdot \frac{l I^2}{2\pi r}, \quad (5)$$

найдите для каждого случая значение магнитной постоянной  $\mu_0$ .

- Сравните знаки сил взаимодействия для различных направлений тока в рамках и их модули. Сделайте выводы о зависимости модуля и направления силы Ампера от направления тока в проводниках.

### Изучение зависимости силы Ампера от расстояния между проводниками

- Построить график зависимости силы взаимодействия  $F$  от расстояния между ними  $r$ .
- Построить график  $F$  от обратного расстояния  $1/r$ . Полученную зависимость аппроксимировать прямой линией и определить тангенс угла наклона прямой. Используя выражение (5) найдите значение магнитной постоянной  $\mu_0$ .
- Сделайте выводы о характере зависимости силы взаимодействия между проводниками от силы тока в них и расстояния между ними.

## **Вопросы для подготовки**

1. Магнитное поле. Вектор магнитной индукции.
2. Силовые линии магнитного поля. Однородные и неоднородные поля.
3. Закон Био-Савара-Лапласа. Магнитное поле кругового тока.
4. Закон Ампера. Сила Ампера. Сила Лоренца.