

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Н.Э. БАУМАНА

И.Н. ФЕТИСОВ

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

*Методические указания к лабораторной работе Э-62
по курсу общей физики*

Под редакцией В.Н. Аникеева

Москва
МГТУ им. Н.Э. Баумана
2010

ВВЕДЕНИЕ

Магнитное поле - силовое поле, действующее на движущиеся электрические заряды, а также на тела, обладающие магнитным моментом. Источниками магнитного поля являются намагниченные тела, проводники с током и движущиеся электрически заряженные частицы. Природа этих источников едина - магнитное поле возникает в результате движения заряженных микрочастиц (электронов, протонов, ионов), а также благодаря наличию у элементарных частиц собственного (т. н. спинового) магнитного момента.

Переменное магнитное поле возникает также при изменении во времени электрического поля. В свою очередь, при изменении во времени магнитного поля возникает электрическое вихревое поле. Полное описание электрических и магнитных полей в их взаимосвязи дают уравнения Максвелла [1-3].

Цель работы - ознакомление с магнитным полем и электромагнитной индукцией; в экспериментальной части - изучение закона Ампера и измерение магнитной индукции двумя методами.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Силовое действие магнитного поля. Магнитная индукция.

Силы, действующие на заряд. Основными характеристиками электрического и магнитного полей служат напряженность электрического поля \mathbf{E} и магнитная индукция \mathbf{B} , которые определяются через силы, действующие на точечный положительный электрический заряд q , находящийся в данной точке поля:

$$\vec{F}_э = q\vec{E}; \quad (1)$$

$$\vec{F}_м = q[\vec{v}, \vec{B}]. \quad (2)$$

В отличие от электрического поля, в магнитном поле сила действует только на движущийся заряд (\vec{v} - скорость частицы). (Примечание: в работе векторы набраны полужирным кеглем.) Модуль магнитной силы равен $F_M = qvB \cdot \sin\alpha$, где α - угол между векторами \vec{v} и \vec{B} . Вектор \vec{F}_M перпендикулярен плоскости, образованной векторами \vec{v} и \vec{B} , а направление силы для положительного заряда задается правилом правого винта или левой руки (рис.1); для отрицательного заряда направление силы - противоположное.

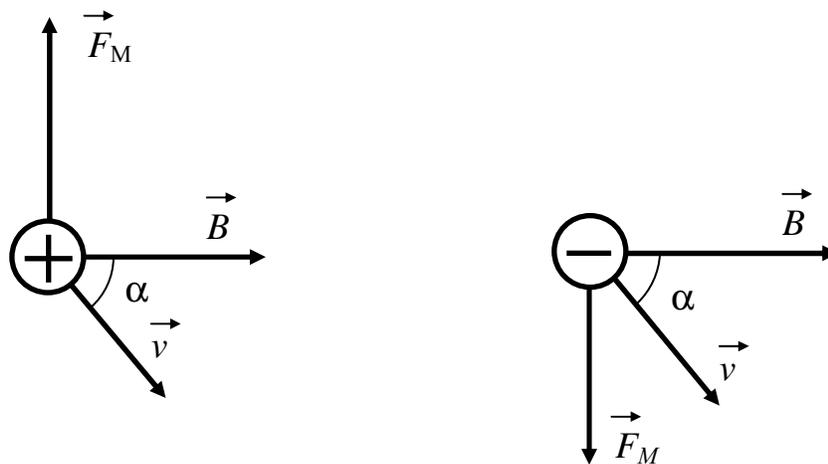


Рис. 1. Направление силы при движении заряда в магнитном поле

Единица магнитной индукции - тесла (Тл). В поле с индукцией 1 Тл на частицу с зарядом 1 Кл и скоростью 1 м/с действует максимальная (при $\sin\alpha = 1$) сила 1 Н.

Таким образом, напряженность электрического поля равна $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$, а модуль магнитной индукции $B = F / (qv \cdot \sin\alpha)$.

В электромагнитных полях движущаяся заряженная частица подвергается воздействию двух сил, одна из которых обусловлена электрическим, а вторая - магнитным полем (формулы (1) и (2)). Результирующая сила (сила Лоренца) равна их сумме

$$\vec{F} = q(\vec{E} + [\vec{v}, \vec{B}]).$$

Сила, действующая на проводник с током. В металлическом проводнике с током заряды движутся не только хаотически во всех направлениях, но также в определенном направлении. На каждый из этих зарядов действует магнитная сила (2), которая через взаимодействие электронов проводимости с кристаллической решеткой металла передается проводнику. Сумма всех сил от хаотического движения равна нулю, а сумма сил от направленного движения называется силой Ампера. На прямой проводник длиной l , по которому протекает ток силой I , в однородном поле магнитной индукции B действует сила Ампера:

$$F_A = I [l, B]. \quad (3)$$

Формула (3) выражает закон Ампера. Направление вектора \mathbf{l} совпадает с направлением тока, за которое принято направление движения положительных зарядов. Направление силы \mathbf{F}_A такое же, как силы \mathbf{F}_M , если заменить вектор \mathbf{v} на вектор \mathbf{l} (рис.2). Модуль силы Ампера равен

$$F_A = I l B \sin\alpha. \quad (4)$$

Магнитный момент. Контур с током в магнитном поле. Во многих случаях имеют дело с замкнутыми токами. Например, ток силой I протекает по тонкому проводнику, который лежит в плоскости и ограничивает площадь S (рис.3). Для

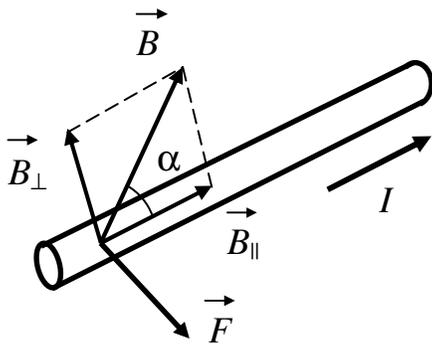


Рис. 2. Направление силы Ампера

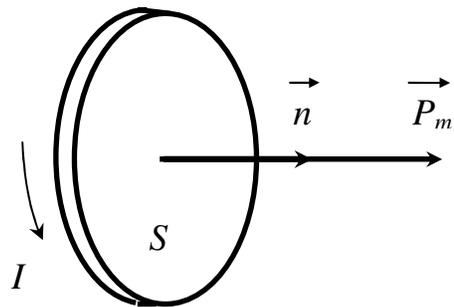


Рис. 3. Магнитный момент контура с током

контура с током физический смысл имеет векторная величина \vec{p}_m , называемая магнитным моментом контура с током:

$$\vec{p}_m = IS\vec{n}.$$

Направление магнитного момента совпадает с направлением единичного вектора \mathbf{n} , перпендикулярного плоскости контура; направление \mathbf{n} связано с направлением тока правилом правого винта. Единица магнитного момента - ампер на метр квадратный (А·м²).

В однородном поле магнитной индукции B на контур с током с магнитным моментом p_m действует момент сил, равный

$$\vec{M} = [\vec{p}_m, \vec{B}]. \quad (5)$$

Отметим, что магнитная индукция B определяется не только соотношением (2), но и вытекающими из него формулами (3) и (5).

2. Магнитное поле, создаваемое электрическими токами

Электрический ток создает магнитное поле, методика расчета которого опирается на экспериментально установленные закон Био-Савара и принцип суперпозиции магнитных полей.

Рассмотрим случай тонкого произвольного проводника в вакууме, по которому протекает ток силой I . Разобьем провод на малые элементы длины dl , направление которых совпадает с направлением тока ($I dl$ называют элементом тока). В точке P , положение которой относительно элемента тока определяется радиусом-вектором \mathbf{r} (рис.4), магнитная индукция $d\vec{B}$ от элемента тока равна (закон Био-Савара в векторной и скалярной формах):

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I [d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}$$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl \sin \alpha}{r^2}.$$

Здесь μ_0 - магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м (генри на метр), α - угол между векторами $d\mathbf{l}$ и \mathbf{r} .

Согласно принципу суперпозиции магнитных полей, полная магнитная индукция \mathbf{B} в данной точке поля равна векторной сумме полей $d\mathbf{B}_i$, от всех элементов тока:

$$\mathbf{B} = \Sigma d\mathbf{B}_i.$$

По данной схеме расчета получены следующие выражения для поля в вакууме, создаваемого током I в тонких проводниках :

- 1) на расстоянии r от бесконечно длинного прямого проводника $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$;
- 2) в центре кругового тока радиусом r индукция равна $B = \frac{\mu_0 I}{2r}$;
- 3) внутри длинного соленоида (катушки), в котором на единицу длины приходится n витков, $B = \mu_0 I \cdot n$.

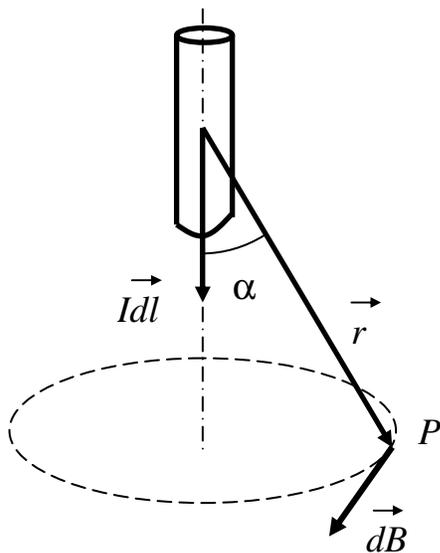


Рис. 4. К расчету магнитной индукции элемента тока

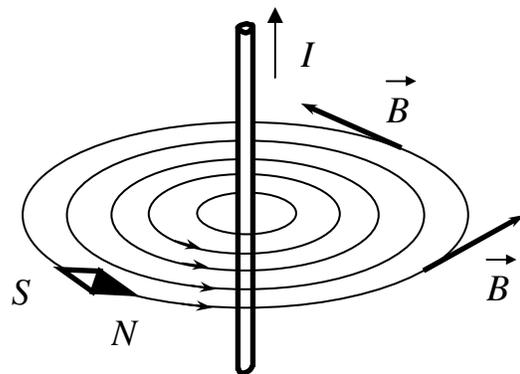


Рис. 5. Линии магнитной индукции прямого тока

3. Линии магнитной индукции

Магнитные поля изображают графически линиями магнитной индукции, касательные к которым совпадают с направлением вектора \mathbf{B} в данной точке поля. Линии магнитной индукции - непрерывные, замкнутые. Векторные поля, обладающие замкнутыми линиями, называются вихревыми полями. Магнитное поле есть *вихревое поле*. В этом заключается существенное отличие магнитного поля от электростатического (потенциального), в котором линии напряженности – не замкнуты. Например, они начинаются на положительных, а кончаются на отрицательных зарядах или уходят в бесконечность.

На рис. 5 показаны линии поля прямого тока, они представляют собой систему охватывающих провод концентрических окружностей.

4. Электромагнитная индукция

Электромагнитная индукция - возникновение электрического поля, электрического тока при изменении во времени магнитного поля или при движении вещества (в частности, проводника) в магнитном поле. Различают два типа эффектов электромагнитной индукции.

Один из них состоит в наведении (в вакууме или в веществе) вихревого электрического поля переменным магнитным полем. Силовые линии вихревого электрического поля - замкнутые. В таком поле работа по перемещению заряда по замкнутой линии не равна нулю.

Другой эффект связан с движением проводников в стационарном магнитном поле. На заряженные частицы в движущихся проводниках действует магнитная сила (2), приводящая к разделению зарядов противоположных знаков, к генерации электрических токов. Индуцируемые электрические поля при этом потенциальны.

Опытами М.Фарадея было показано, что для двух типов эффектов причиной появления в контуре т. н. индукционного тока является изменение магнитного потока через площадь, ограниченную контуром.

Магнитный поток. Рассмотрим плоскую площадку S , находящуюся в однородном поле индукции \mathbf{B} (рис.6, а). Магнитным потоком или потоком вектора магнитной индукции через площадку S называют величину

$$\Phi = BS \cos \alpha = B_n S. \quad (6)$$

Здесь $B_n = B \cos \alpha$ - проекция вектора \mathbf{B} на нормаль \mathbf{n} . Магнитный поток - скаляр. Для наглядности поток можно считать пропорциональным полному числу линий магнитной индукции, проходящих через данную поверхность.

Если магнитное поле неоднородно, а рассматриваемая поверхность не является плоской, то ее можно разбить на бесконечно малые элементы dS . Магнитный поток через элемент поверхности есть $d\Phi = B_n dS$, а полный магнитный поток через всю поверхность

$$\Phi = \int B_n dS .$$

Единица магнитного потока - вебер: $Вб = Тл \cdot м^2$.

Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея). Возникновение индукционного тока в контуре показывает, что при электромагнитной индукции в проводнике появляется ЭДС \mathcal{E}_i , пропорциональная скорости изменения магнитного потока через площадь, ограниченную контуром:

$$\mathcal{E}_i = - d\Phi/dt. \quad (7)$$

Если контур состоит из N последовательно соединенных витков (сложный контур), то ЭДС будет равна сумме индуцируемых в каждом из витков в отдельности ЭДС:

$$\mathcal{E}_i = - \Sigma d\Phi/dt = - d(\Sigma\Phi)/dt = - d\Psi/dt. \quad (8)$$

Величину $\Psi = \Sigma\Phi$ называют полным магнитным потоком или *потокосцеплением*. Если поток Φ , пронизывающий каждый из полного числа N витков, одинаков, то

$$\Psi = N \cdot \Phi.$$

Самоиндукция. Ток в контуре создает магнитное поле, пропорциональное силе тока (при отсутствии ферромагнетиков). Поэтому и полный магнитный поток через контур $\Psi = L \cdot I$.

Коэффициент пропорциональности L называется индуктивностью контура. Единица индуктивности - генри (Гн). Это индуктивность контура, в котором при токе 1 А полный магнитный поток равен 1 Вб.

Если ток изменяется, то изменяется и поток. Тогда по закону электромагнитной индукции (8) в контуре возникает ЭДС самоиндукции, равная

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}. \quad (9)$$

ЭДС самоиндукции в свою очередь влияет на ток.

Закон Ленца. Согласно закону Э.Х.Ленца, индуцированные токи всегда направлены так, чтобы препятствовать причине, вызывающей эти токи. Закон Ленца является следствием закона сохранения энергии [1,2]. Приведем примеры действия закона Ленца.

В магнитном поле находится неподвижный жесткий контур; при изменении магнитного потока порожденное индуцированным током магнитное поле противодействует этому изменению. Например, если поток возрастал, то индукционный ток уменьшит этот рост.

При движении контура, по которому течет индуцированный ток, действует сила, препятствующая движению. Это используют на практике для гашения колебаний платформы, на которой расположены чувствительные к тряске приборы. Для этого на платформе закрепляют массивные медные пластины, а рядом с ними, вне платформы, постоянные магниты.

Это явление можно продемонстрировать также с помощью гальванометра (см. задание 4).

Знак минус в формулах (8) и (9) соответствует закону Ленца, что поясним

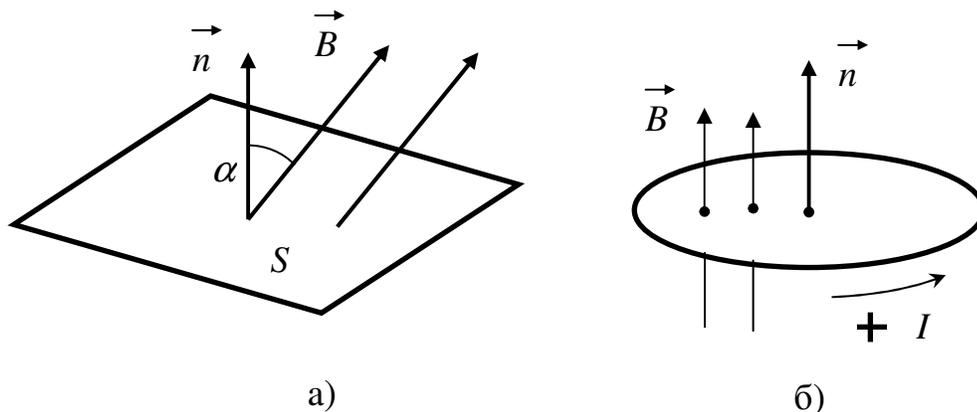


Рис. 6. Магнитный поток:

а – определение магнитного потока; *б* – правило Ленца

следующим примером. Пусть положительное направление нормали \mathbf{n} к контуру совпадает с направлением магнитной индукции (рис.6, б). Тогда поток сквозь контур будет положительным. Положительное направление тока определяется выбором направления нормали и правилом правого винта (см. рис.6, б). Если теперь магнитное поле увеличивается, т.е. $d\Phi/dt > 0$, то, согласно (8), $\mathcal{E} < 0$, а, следовательно, и $I < 0$. Это означает, что направление индукционного тока противоположно выбранному нами положительному направлению.

5. Измерение магнитной индукции

Известно несколько методов измерения магнитной индукции. В данной работе магнитную индукцию измеряют двумя классическими методами - путем измерения силы Ампера (см. формулу (3)) и с помощью явления электромагнитной индукции (метод баллистического гальванометра).

Баллистический гальванометр (БГ) – прибор для измерения прошедшего через него заряда в течение короткого времени. В измеряемое поле помещают небольшую

проволочную катушку, соединенную с БГ (рис.7). Плоскость катушки ориентируют

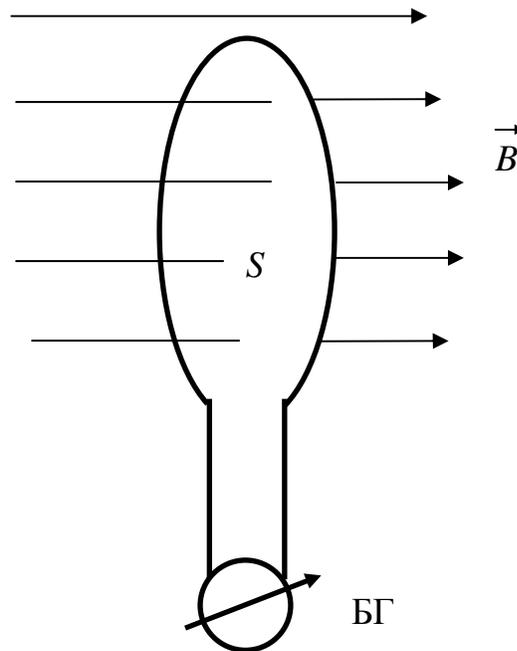


Рис. 7. Схема измерения магнитного поля баллистическим гальванометром

перпендикулярно к направлению магнитной индукции. Тогда магнитный поток через N витков площади S равен $\Psi = N B S$. Затем поток уменьшают до нуля, выдергивая катушку из области поля. При этом в катушке возникнет ЭДС $\mathcal{E} = -d\Psi/dt$ и ток силы $I = -(d\Psi/dt)/R$, где R - полное сопротивление контура, включающее сопротивления катушки и гальванометра.

Прошедший через гальванометр заряд равен

$$q = \int I dt = - (1 / R) \int d\Psi = N B S / R.$$

Отсюда получаем формулу для нахождения магнитной индукции

$$B = q R / (S N). \tag{10}$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Лабораторная установка состоит из отдельных станков, которые имеют номера. Работу выполняют одновременно и независимо две бригады, каждая из двух

человек. Последовательность выполнения заданий следующая. Первая бригада (раньше по списку) выполняет задания в естественном порядке, вторая - в последовательности: 3 - 6, 1,2. При необходимости порядок можно изменить.

Внимание! В работе используются сильные постоянные магниты, от которых необходимо держать подальше часы, дискеты, телефон и т. п.

Задание 1. Изучение линий магнитной индукции

Постоянный магнит, имеющий форму кольца с плоскими полюсами, закреплен на доске (установка №5). Линии индукции изображают на листе бумаги формата А4, который закрепляют на доске зажимами. На листе делают вырез под магнит. Линии строят с помощью магнитной стрелки компаса, которая располагается по касательной к линии индукции. Перемещая компас по бумаге, отмечают на ней положение концов стрелки. Затем через эти метки проводят плавную кривую. Стрелкой на кривой указывают направление вектора **V**, оно совпадает с направлением северного конца стрелки.

Получить компас у дежурного по лаборатории. Построить две-три линии от одного полюса магнита до другого.

Задание 2. Изучение закона Ампера

Схема опыта по проверке закона Ампера (3) представлена на рис. 8. Прямоугольная рамка 1, содержащая несколько десятков витков медного провода, опирается на платформу электронных весов 2, используемых для измерения силы Ампера. Верхняя часть рамки находится в зазоре между полюсами постоянного магнита (не показанного на рисунке), а нижняя часть - вне поля магнита. Линии магнитной индукции 3 перпендикулярны плоскости рамки. От источника питания ИП через рамку пропускают ток, который измеряют амперметром А.

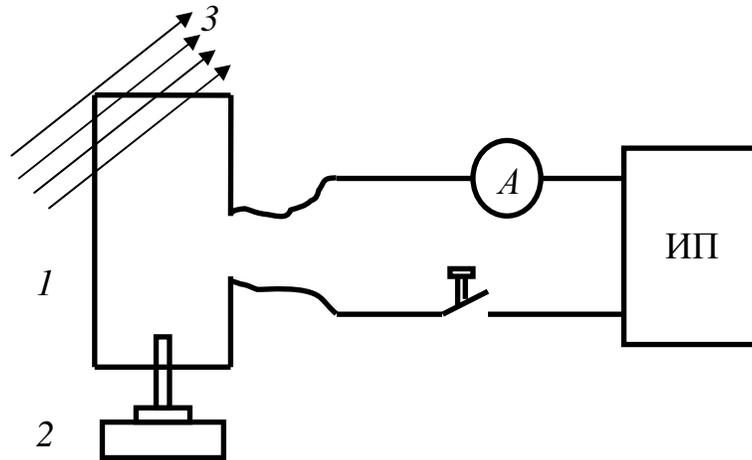


Рис. 8. Схема лабораторной установки для измерения силы Ампера:
 1 – рамка; 2 - весы; 3 – магнитное поле; 4 – выключатель; А – амперметр;
 ИП – источник питания

Порядок выполнения задания.

1. Ознакомьтесь с установкой №1 (рис. 9). В корпусе 1 находятся магнит, рамка и весы. Ток рамки включают кнопкой 2. Напряжение источника питания 4 регулируют ручками 3 «Грубо» и «Точно». Источник включают в сеть кнопкой 5. Ток измеряют

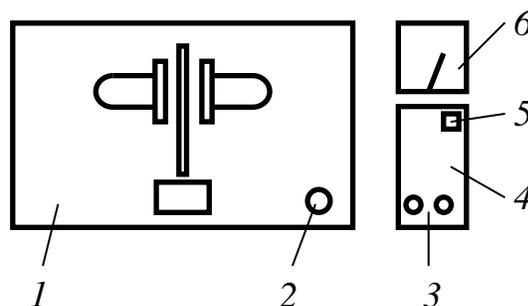


Рис. 9. Установка для измерения силы Ампера:
 1 – корпус с магнитом, рамкой и весами; 2 – кнопка включения тока рамки; 3 –
 ручки регулировки тока; 4 – источник питания; 5 – кнопка «СЕТЬ»; 6 – амперметр

амперметром 6, в качестве которого используется микроамперметр с шунтом; при этом току 1 А соответствует цифра 100 на шкале прибора. Основанием прибора должен быть устойчивый стол.

Включить источник питания рамки кнопкой 5 (см. рис. 9).

2. Ознакомиться с электронными весами с цифровым индикатором. Они предназначены для измерения малых масс, поэтому с ними надо обращаться бережно, не допуская ударов и перегрузок. Младший разряд весов показывает десятые доли грамма.

Включить весы нажатием правой клавиши весов. При этом на индикаторе весов появляются восьмерки. Через несколько секунд на индикаторе будут нули (или близкие к нулю значения). Это означает, что автоматика весов исключила собственный вес рамки (при обычных взвешиваниях происходит исключение веса тары). Если пропустить ток через рамку, появляется сила Ампера, которая дополнительно давит на весы. Сила Ампера выражается в граммах, как будто на весы положили груз массы m . Поэтому сила равна $F_A = m g$.

Весы выключают той же правой клавишей. Если с весами некоторое время не работают, они автоматически выключаются, и их снова надо включить.

3. На точность измерения силы Ампера влияют силы трения, действующие на рамку в направляющем устройстве. Более точные результаты можно получить при следующем порядке выполнения опыта.

Выключить весы. Установить ток рамки, для этого надо нажать и удерживать кнопку 2 включения тока (см. рис. 9) и ручками 3 «Грубо» и «Точно» источника установить ток (рекомендуемые значения тока приведены на установке). Выключить ток и включить весы. При этом весы исключают собственный вес рамки, а на индикаторе появляются нули. Включить ток и произвести отсчет веса. Результаты измерения m и I записать в табл. 1.

Примечание: рамка под действием тока нагревается, ее сопротивление возрастает, поэтому сила тока немного убывает.

4. Всю последовательность действий (см. п. 3) для каждого значения силы тока выполнить три раза и рассчитать среднее $\langle m \rangle$.

Измерение силы Ампера

Таблица 1

	Рамка содержит $N = \dots$ витков, ширина рамки $l = \dots$				
$I, \text{ A}$	Результаты измерения				$F_A = \langle m \rangle \text{ g, Н}$
	m	m	m	$\langle m \rangle$	

Примечание. В таблице должно быть 10 строк.

5. По результатам измерений вычислить силу Ампера $F_A = \langle m \rangle \text{ g}$, где масса берется в килограммах, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Результаты записать в табл. 1.

Задание 3. Демонстрация электромагнитной индукции

К катушке, содержащей большое число витков провода, подключен чувствительный к току прибор (установка №4). При отсутствии тока стрелка прибора расположена в середине шкалы и отклоняется в различные стороны в зависимости от направления тока. К установке прилагается постоянный магнит. Перемещая магнит около катушки, наблюдайте возникновение индукционного тока и его зависимость от скорости движения магнита, т.е. скорости изменения магнитного потока (см. (7)). Направление тока различно для различных знаков производной $d\Phi/dt$. Знак производной различен для случаев приближения и удаления магнита от катушки, а также от расположения полюсов магнита. Результаты опыта привести в отчете.

Задание 4. Измерение магнитной индукции методом баллистического гальванометра

Баллистический гальванометр (БГ) – прибор для измерения заряда, прошедшего по цепи в течение короткого импульса тока. БГ в принципе не

отличается от других приборов магнитоэлектрической системы, но должен иметь повышенную инерционность и малую силу вязкого трения при вращении рамки. Рассмотрим принцип действия БГ.

В случае обычных измерений постоянного тока на рамку гальванометра действует момент силы (см. формулу (5)), который поворачивает рамку, закручивая спиральную пружину, пока моменты двух сил, упругой и Ампера, не сравняются.

Если через гальванометр пропустить короткий импульс тока (заряд), то рамка получает начальную угловую скорость (толчок) и вращается по инерции, закручивая спираль. При этом стрелка прибора достигает наибольшего отклонения β и сразу возвращается назад (в некоторых приборах она может совершить несколько затухающих колебаний). Прошедший через гальванометр заряд q пропорционален

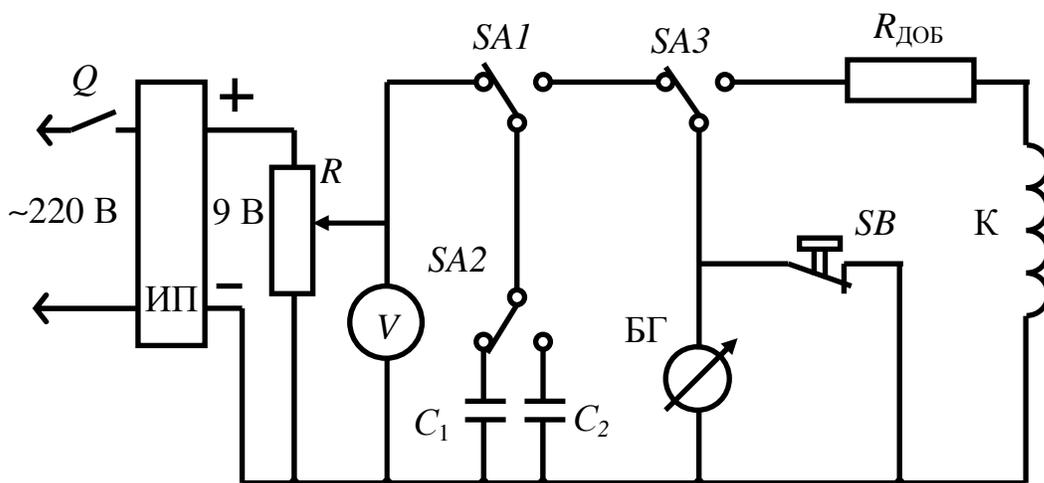


Рис. 10. Схема установки для измерения магнитной индукции и градуировки гальванометра

отклонению β в делениях шкалы:

$$q = b \beta, \quad (12)$$

где b - коэффициент пропорциональности, называемый баллистической постоянной гальванометра, который находят с помощью градуировки.

Схема установки №3 для измерения магнитной индукции и градуировки БГ показана на рис. 10. Прибор имеет два режима работы, устанавливаемые

переключателем SA3: в положении 1 – градуировка (левая часть схемы), в положении 2 - измерение магнитной индукции с помощью катушки К.

Баллистический гальванометр БГ постоянно замкнут накоротко с помощью кнопочного переключателя SB для защиты прибора от повреждения при толчках.

Перед каждым измерением кнопку SB нажать и удерживать для снятия короткого замыкания. В случае сильных полей чувствительность прибора уменьшают добавочным резистором $R_{доб}$.

Порядок выполнения задания:

1. Записать в табл. 2 параметры установки, приведенные на приборе: N - число витков, S - площадь витка, R_k - сопротивление катушки; R_g - сопротивление гальванометра, $R_{доб}$ - добавочное сопротивление и R - полное сопротивление (сумма всех трех). Баллистическая постоянная гальванометра b будет найдена при градуировке.

Параметры установки

Таблица 2.

N	$S, м^2$	$R_k, Ом$	$R_g, Ом$	$R_{доб}, Ом$	$R, Ом$	$b, Кл / дел$

2. Если в работе используется гальванометр с нулем в середине шкалы, рамка которого в разомкнутом состоянии может совершить несколько затухающих колебаний, то проделайте следующий опыт. Опыт состоит в том, что колебания исчезнут, если клеммы гальванометра замкнуть. Переключатели SA1 и SA3 установить в первое положение. При этом гальванометр БГ будет отключен от схемы. Нажать и удерживать кнопку SB, чтобы отключить короткое замыкание БГ. Если теперь легко толкнуть установку, то рамка гальванометра будет совершать колебания, затухающие вследствие трения в воздухе. Однако, если во время колебаний отпустить кнопку (замкнуть БГ накоротко), то колебания быстро прекращаются.

Проделать опыт и объяснить его на основе законов Фарадея и Ленца. Результат записать в отчет.

3. Измерить магнитную индукцию в зазоре большого постоянного магнита (установка №2). Для этого измерительную катушку вставить в зазор, нажать кнопку *SB* блокировки БГ, быстро выдернуть катушку и заметить максимальное отклонение β стрелки в делениях шкалы. Результат измерения β записать в табл. 3.

Измерение магнитной индукции

Таблица 3

β	β	β	β	β	Среднее $\langle\beta\rangle$	Заряд $q = b \langle\beta\rangle$

4. Для того же места зазора повторить измерение п. 3 четыре раза, результаты записать в табл. 3 и вычислить среднее $\langle\beta\rangle$. Заряд q , прошедший через гальванометр, можно вычислить после градуировки БГ.

Задание 5. Градуировка баллистического гальванометра

1. Включить питание установки №3 для градуировки гальванометра, при этом загорается световой индикатор источника питания.
2. Переключатель *SA3* установить в положение 1 («Градуировка»).
3. Переключателем *SA2* включить конденсатор емкости C_1 .
4. Переключатель *SA1* установить в положение 1 («Зарядка») и зарядить (практически мгновенно) конденсатор от источника тока ИП до напряжения $U = 1$ В, измеряемого вольтметром V . Напряжение изменять с помощью делителя напряжения R , поворачивая ручку «Изменение напряжения».
5. Баллистический гальванометр БГ постоянно замкнут накоротко с помощью кнопочного переключателя *SB* для защиты прибора от повреждения при толчках и быстрого успокоения колебаний рамки. Кнопку *SB* нажать и удерживать.

Переключатель $SA1$ установить в положение 2 («Разрядка»). При этом заряд q , равный CU , быстро проходит через БГ; измерить максимальное отклонение β стрелки прибора (в делениях шкалы). Результаты измерения U и β записать в табл. 4.

6. Получить в пределах всей шкалы БГ зависимость β от q , постепенно увеличивая напряжение на конденсаторе. Внимание! Не допускать перегрузки гальванометра.

7. Повторить измерения п. 4 – 6 с конденсатором большей емкости C_2 . Значения емкости, приведенные на схеме установки, записать в табл. 4.

Градуировка БГ

Таблица 4

C, Φ	$U, В$	$q = CU, Кл$	$\beta, дел$

Примечание. В таблице должно быть 10 строк.

Задание 6. Демонстрация силы Лоренца и определение знака заряда электрона

С помощью осциллографа и постоянного магнита наблюдать отклоняющее действие силы Лоренца на электроны, летящие в электронно-лучевой трубке. Трубка осциллографа схематически показана на рис.11. Электронная пушка 1 испускает

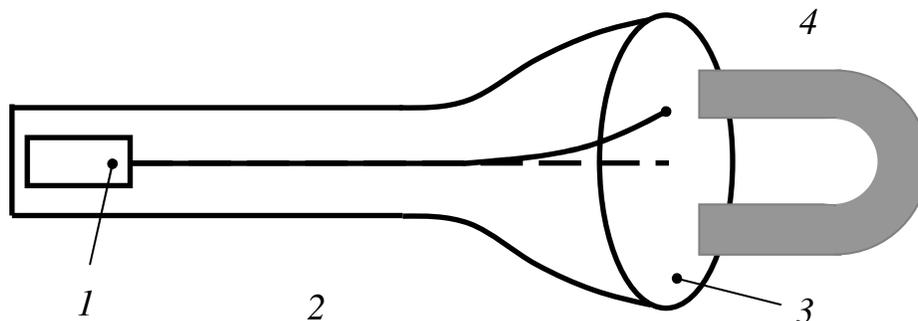


Рис. 11. Трубка осциллографа:

1 – электронная пушка; 2 – пучок электронов; 3 – экран; 4 - магнит

узкий пучок 2 быстрых электронов, которые в месте падения на люминесцентный экран 3 вызывают его свечение. Поднеся к экрану подковообразный магнит 4, можно наблюдать отклонение электронов.

Проделать данный опыт с осциллографом, имеющимся в лаборатории. При затруднениях обратиться к дежурному по лаборатории.

С помощью правила левой руки определить знак заряда электрона (вектор \mathbf{V} направлен от северного полюса магнита, обозначенного буквой N). Результаты представить в отчете.

Внимание! Подобный опыт нельзя проводить с цветной трубкой телевизора или монитора, так как при этом можно намагнитить детали трубки и вывести ее из строя.

Обработка результатов измерений

1. По результатам измерений (задание 2) построить графическую зависимость силы Ампера F_A от силы тока в рамке I . Через начало координат и экспериментальные точки провести наилучшую «на глаз» прямую. Сделать вывод, согласуются ли результаты измерений с линейной зависимостью (3).

2. Используя полученную зависимость F_A от силы тока, определить магнитную индукцию в зазоре магнита. Для этого необходимо взять значения F_A , N , и I , A , для какой-либо точки на проведенной прямой и вычислить индукцию с помощью формулы $F_A = N I l B$, где N – число витков рамки, l - ее ширина в метрах. Результаты расчета привести в таблице 5.

Результаты измерения магнитной индукции

Таблица 5

<i>По закону Ампера</i>	Методом БГ
$B = \dots$	$B = \dots$

3. По результатам градуировки БГ построить графическую зависимость β от q . Результаты измерений для различной емкости представить на графике различными значками. Через экспериментальные точки и начало координат провести наилучшую «на глаз» прямую. Сделать вывод, пропорционально ли отклонение стрелки гальванометра прошедшему заряду.
4. Используя полученный график и формулу (12), определить значение баллистической постоянной b . Результат записать в табл.2.

По результатам измерения магнитной индукции методом БГ вычислить среднее отклонение стрелки гальванометра $\langle\beta\rangle$, результат записать в табл. 3.

5. Вычислить среднее значение заряда при измерении магнитного поля методом БГ по формуле $q = b \langle\beta\rangle$. Результат записать в табл. 3.
6. Вычислить по формуле (10) магнитную индукцию. Результат записать в табл. 5.

Контрольные вопросы

1. Что такое магнитное поле?
2. Что является источниками магнитного поля?
3. Что понимают под магнитной индукцией в данной точке поля?
4. Чему равны силы Лоренца и Ампера?
5. Что такое линии магнитной индукции и каким свойством они обладают?
6. Как можно рассчитать магнитную индукцию по известным токам в проводниках?
7. Какому закону подчиняется явление электромагнитной индукции?
8. В чем заключается закон Ленца?
9. Что такое ЭДС самоиндукции и от чего она зависит?
10. Объяснить содержание метода измерения магнитной индукции баллистическим гальванометром.

Список литературы

1. Калашников С.Г. Электричество: Учебное пособие. -М.: Наука. 1985.-576с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. т.2.- М.: Наука. 1978.-480 с.

3. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. шк., 1983.-279 с.

ВВЕДЕНИЕ.....	1
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	1
1. Силовое действие магнитного поля. Магнитная индукция.....	1
2. Магнитное поле, создаваемое электрическими токами	4
3. Линии магнитной индукции.....	6
4. Электромагнитная индукция.....	6
5. Измерение магнитной индукции	9
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	10
Задание 1. Изучение линий магнитной индукции	11
Задание 2. Изучение закона Ампера.....	11
Задание 3. Демонстрация электромагнитной индукции	14
Задание 4. Измерение магнитной индукции методом баллистического гальванометра	14
Задание 5. Градуировка баллистического гальванометра.....	17
Задание 6. Демонстрация силы Лоренца и определение знака заряда электрона ...	18
Обработка результатов измерений	19
Контрольные вопросы.....	20
Список литературы	20