

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

ФИЗИКА

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Методические указания
к лабораторным работам

Новосибирск 2013

УДК 57 (075)
ББК 22.171

Кафедра теоретической и прикладной физики

Составители: канд. техн. наук, доц. *В. Я. Чечуев*;
доц. *С. Г. Штейн*;
доц. *И. М. Дзю*;
канд. с-х. наук, доц. *Л. А. Митина*;
ст. преп. *М. Г. Алешкевич*

Рецензент д-р техн. наук, проф. *П. М. Плетнев* (СГУПС)

Физика. Электричество и магнетизм: метод. указания / Новосибир. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т.; сост.: В. Я. Чечуев, С. Г. Штейн, И. М. Дзю, Л. А. Митина, М. Г. Алешкевич. – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2013. – 38 с.

Методические указания подготовлены в соответствии с программой и предназначены для аудиторной и самостоятельной подготовки к лабораторным работам. С целью улучшения усвоения материала в конце лабораторной работы даны контрольные вопросы и задачи. Предназначены для студентов всех форм обучения и направлений подготовки, реализуемых в НГАУ.

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института (протокол № 9 от 9 октября 2012 г.).

© Новосибирский государственный
аграрный университет, 2013

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторно-практические занятия по физике направлены на формирование компетенций в соответствии с ФГОС.

Предварительное изучение содержания лабораторных работ по физике является необходимым условием их последующего выполнения в лаборатории.

Каждому студенту необходимо иметь тетрадь отчетов по проведенным лабораторным работам. Готовность студентов к выполнению лабораторных работ проверяется преподавателем. Неподготовленные студенты к выполнению лабораторных работ не допускаются. Отчет по проведенной работе студент приносит на каждое последующее занятие.

При измерениях и вычислениях, встречающихся в лабораторных работах, допускается использовать только международно признанную систему единиц измерения СИ.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Содержание отчёта

1. Название лабораторной работы и фамилия исполнителя.
2. Краткая формулировка цели лабораторной работы, включающая названия измеряемых физических величин и изучаемых физических законов.
3. Перечисление используемых в лабораторной работе приборов и принадлежностей.
4. Теоретическая часть отчёта по лабораторной работе. Включает описание основных формул и законов физики, используемых при выполнении лабораторной работы.
5. Схемы размещения и соединения различных приборов и устройств, включая общий вид всей установки.
6. Таблицы с результатами измерений и вычисленных промежуточных и основных величин.
7. Расчеты искомых величин по описанным ранее формулам.
8. Графики зависимостей одних физических величин от других.
9. Выводы.

Обработка результатов измерений

Учебный физический эксперимент проводится с целью изучения законов физики. В основе физического эксперимента лежат прямые или косвенные измерения.

При прямых измерениях значение искомой величины находят непосредственно по шкале прямо показывающих приборов (линейка, секундомер, вольтметр и т.п.). При кос-

венных измерениях значение физической величины находят на основании известной зависимости (формулы) между ней и другими величинами, значения которых получаются в результате прямых измерений.

Измерить физическую величину абсолютно точно невозможно, так как всякое измерение с помощью приборов сопровождается той или иной ошибкой или погрешностью, т.е. отклонением результата, полученного на опыте, от истинного значения измеряемой величины.

Все погрешности, получаемые при измерениях, подразделяют на систематические, случайные и промахи. Систематическими называются погрешности, которые изменяют результат в одну определенную сторону (уменьшая или увеличивая результат) и на определенную величину. Они проявляются, когда в процессе измерения не учтены причины, односторонне влияющие на результат измерений. Например, при измерении сопротивления резисторов пренебрегли сопротивлением вспомогательных проводников или сместили нуль шкалы термометра. В лабораторных работах мы этой погрешностью обычно пренебрегаем.

Случайные погрешности обусловлены причинами, искажающими результаты измерений не в определенную сторону, а беспорядочно, от случая к случаю, как в сторону завышения, так и в сторону занижения. Они появляются, например, из-за непостоянства измеряемой величины в процессе измерений (температуры, напряжения источников тока и т.п.).

Промахи – это большие по величине погрешности, сильно искажающие результат измерения. Они могут являться следствием неправильной записи, неверного отсчета, непонимания шкалы измерений и т.п. Например, вместо отсчета на шкале «23» экспериментатор записал «28» или записал «23 В», но не заметил, что шкала допускает значения измеренных величин в пределах от нуля до 100 мВ.

При оформлении **таблицы** необходимо придерживаться следующих указаний:

- столбцы таблицы сверху должны быть озаглавлены и в них через запятую необходимо указать размерности физических величин в столбце;

- таблица заполняется только численными значениями величин;

- общий множитель (особенно множитель 10 в любой степени) чисел данного столбца можно вынести в заголовок столбца и поставить перед единицей измерения (например, 10 мА).

Графики выполняют на линованной бумаге или тетради в клетку. Выбирают масштаб каждого деления таким образом, чтобы в пределах листа и выбранного для нанесения графика прямоугольника можно было указать максимальное и минимальное значение измеренной или вычисленной величины, наносимой на график.

Кривые должны занимать практически все поле чертежа. Через каждые 20–40 мм наносят масштабные деления на координатных осях. Около этих меток проставляют значения данной физической величины, кратные 1, 2, 5, 10 и т.д.

Около каждой оси наносят обозначение физической величины и через запятую ее размерность. Множитель 10 в любой степени, на который умножается физическая величина, может быть вынесен в обозначение оси.

Экспериментальные точки наносят в виде маленьких точек (или вертикальных линий в случае показа ошибок измерений). Затем с помощью линейки или лекала между экспериментальными точками проводят прямую или кривую таким образом, чтобы количество точек и расстояния до них как с одной, так и с другой стороны были примерно одинаковыми.

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Цель работы: изучить экспериментальные способы измерения напряженности электрического поля, построение эквипотенциальных и силовых линий электрического поля.

Материалы и оборудование: электролитическая ванна с жидкостью, электроды, зонд, осциллограф, потенциометр, понижающий трансформатор.

Теоретическое обоснование лабораторной работы

Электрическое поле создается заряженными телами. Фундаментальными характеристиками электрического поля являются силовая характеристика – вектор E , т.е. напряженность электрического поля, и энергетическая характеристика – потенциал.

В данной работе моделируем его распределение в пространстве с помощью влажной электролитической ванны, заполненной песком. В ванну погружаем любое число электродов произвольной формы, соединяя их при необходимости друг с другом. На некоторое время на эти электроды подадим переменное напряжение от понижающего трансформатора b (рисунок).

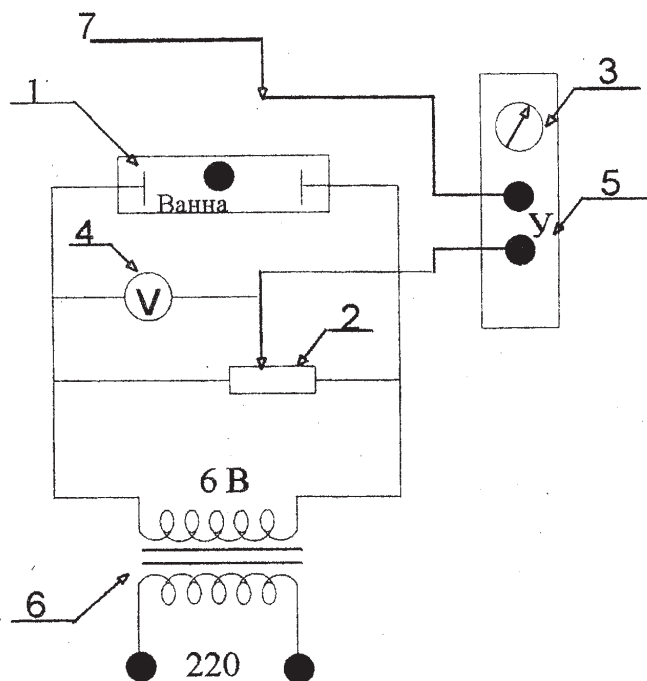


Схема лабораторной установки для измерения потенциала и напряженности электрического поля

1 – ванна с жидкостью с неизвестным распределением потенциалов электрического поля; 2 – реостат, с помощью которого изменяется электрический потенциал, подаваемый на зонд; 3 – экран осциллографа, фиксирующий в виде светящейся вертикальной линии величину электрического тока, протекающего через зонд; 4 – вольтметр, измеряющий потенциал или напряжение, подаваемое на электрический зонд; 5 – обкладки конденсатора, задающие потенциал зонда и обеспечивающие вертикальное отклонение электронного луча осциллографа; 6 – понижающий напряжение трансформатор; 7 – электрический зонд с заданным электрическим потенциалом, через который может проходить электрический ток.

В пространстве между электродами появляется электрическое поле с потенциалом φ . Для измерения этого потенциала мы будем использовать измерительный зонд 7, на который подаем собственный потенциал φ_3 , соединив его через клемму Y осциллографа 3 с регулятором потенциометра 2. При совпадении φ_3 зонда и φ произвольной точки ванны на

отклоняющие пластины осциллографа поступает ненулевое напряжение и на экране осциллографа появляется яркая отклоняющая полоса от бегающего электронного луча осциллографа. Высота светлой полоски пропорциональна разности потенциалов $(\varphi - \varphi_3)$. Зануление этой разности можно осуществить поиском такой точки в ванне, когда на экране осциллографа вертикальные прямые линии стягиваются в точку при равной нулю разности $(\varphi - \varphi_3)$. Потенциал точки равен потенциалу φ_3 зонда, а последний мы отсчитываем по показанию вольтметра, если отсчет разности потенциалов вести от левой пластины ванны. Другой способ зануления $(\varphi - \varphi_3)$ состоит в изменении φ_3 при помощи движка 2 потенциометра до исчезновения светлой полосы в любой фиксированной зондом точке электролитической ванны.

Указанным способом легко отстроить эквипотенциальные линии, зафиксировав одно из φ_3 и находя зондом множество точек с одинаковым $\varphi = \varphi_3$. Линии, перпендикулярные к касательным эквипотенциальных линий, являются силовыми, вдоль которых будут двигаться заряженные частицы. Напряженность электрического поля вдоль эквипотенциальных линий, очевидно, равна нулю, а вдоль силовых линий может быть вычислена по приближенной формуле

$$E = -\frac{(\varphi_2 - \varphi_1)}{\Delta d} = -\frac{\Delta \varphi}{\Delta d}, \quad (1)$$

где Δd – расстояние вдоль силовой линии между двумя близкими эквипотенциальными линиями с потенциалами φ_2 и φ_1 . Если $\Delta \varphi > 0$, то вектор напряженности электрического поля направлен вдоль линии от точки с потенциалом φ_1 к точке с потенциалом φ_2 . При $\Delta \varphi < 0$ вектор E будет направлен в противоположную сторону.

Значение вектора E напряженности электрического поля однозначно определяет вектор F силы, действующей на заряженную частицу с зарядом Z :

$$F = ZE . \quad (2)$$

Тем самым, используя второй закон Ньютона для вычисления импульса P -частицы:

$$\frac{dP}{dt} = f , \quad (3)$$

можно рассчитать вектор скорости заряда с массой покоя по формуле

$$V = \frac{P}{m} . \quad (4)$$

Далее можно найти координаты радиуса вектора X -частицы в любой будущий момент времени t при известном ее местонахождении X_0 в начальный момент времени:

$$\frac{dx}{dt} = V, \quad X_{t=0} = X_0 . \quad (5)$$

Представляет интерес изучение распределения потенциала φ от сферического объекта с зарядом q . Теоретически известно, что φ точечного заряда изменяется с расстоянием R по закону

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot R} , \quad (6)$$

здесь ϵ – диэлектрическая проницаемость среды, в которой происходит измерение электрического потенциала, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая константа.

Напряженность электрического поля в соответствии с определением градиента оказывается направленной по перпендикуляру к поверхности заряженного металлического тела:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot R^2} . \quad (7)$$

Очевидно, что по направлению E можно однозначно установить знак заряда q . Если силовые линии направлены от электрического заряда, то такой заряд является положительным. Для отрицательного заряда силовые линии направлены к электрическому заряду. Поэтому сила f , создаваемая электрическим полем E заряда q и действующая на другой сферический заряд Z , вычисляется по формуле (закон Кулона)

$$f = ZE = \frac{Zq}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot R^2} , \quad (8)$$

где R есть расстояние между двумя зарядами. Наконец, полезным является значение и проверка в данной работе принципа суперпозиции, по которому, например, потенциал от двух зарядов равен сумме потенциалов от каждого из зарядов по отдельности.

Порядок выполнения работы

1. Соберите (при необходимости) электрическую цепь, согласно рисунку, не включая её в сеть 220 В.

2. Задайте произвольное распределение электродов различной формы в электролитической ванне I .

3. Установите зонд в произвольную точку электролитической ванны и включите электрическую цепь по рисунку в сеть.

4. Найдите потенциал φ фиксированной точки ванны, передвигая движок 2 потенциометра в такое положение, при котором вертикальная светлая полоса на экране осциллографа превращается в размытую светящуюся точку.

5. Переставьте зонд в ближайшую точку ванны, не допуская появления на экране светящейся полосы.

6. Повторите п. 5 несколько раз и соедините в ванне плавной линией точки равного φ потенциала. Эту линию будем называть эквипотенциальной линией.

7. Запишите в таблицу значение φ потенциала и расстояние R от точки до создающего φ электрода.

№ п/п	R , м	φ , В	$\Delta\varphi$, В	Δd_1 , м	E_1 , $\frac{В}{м}$	Δd_2 , м	E_2 , $\frac{В}{м}$	Δd_3 , м	E_3 , $\frac{В}{м}$	f_3 , Н
1										
2										
3										

8. Повторите п. 3–8 не менее 3 раз.

9. Выберите на одной из эквипотенциальных линий произвольную точку в ванне и измерьте расстояние Δd по перпендикуляру до соседней эквипотенциальной линии. Запишите разность потенциалов $\Delta\varphi$ и очередное значение $\Delta d_{1,2,3}$ в таблицу.

10. Вычислите очередное значение $\Delta d_{1,2,3}$, запишите его в таблицу и укажите стрелкой направление E в очередной точке эквипотенциальной линии.

11. Повторите п. 9–10 не менее 3 раз для одной и той же эквипотенциальной линии.

12. Повторите п. 9–10 не менее 3 раз для различных эквипотенциальных линий.

13. Зарисуйте в отчет копии эквипотенциальных и силовых линий, отметьте точки с наибольшим значением напряженности электрического поля.

14. Нарисуйте график зависимости потенциала φ от расстояния R при наличии одного сферического электрода.

15. Постройте график произведения φR от расстояния R для проверки закона Кулона.

16. Проверьте выполнение принципа суперпозиции для потенциалов, измеряя потенциалы в одной и той же точ-

ке ванны от одного зонда φ_1 , затем от другого φ_2 и, наконец, φ при наличии двух включенных зондов, а также возможное отличие экспериментальных данных от ожидаемого равенства $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$.

17. Повторите п. 2–16 при необходимости в присутствии посторонних и диэлектрических тел.

Контрольные вопросы

1. Какое поле называется электростатическим?
2. Что называется напряженностью и потенциалом электрического поля?
3. Графическое изображение поля. Силовые и эквипотенциальные линии.
4. Связь между напряженностью и разностью потенциалов. Градиент потенциала.
5. Как находят эквипотенциальные линии и линии напряженности опытным путем?
6. Какое влияние оказывают электростатические поля на живые организмы? Средства защиты от них.
7. Почему на экране осциллографа возникает светлая вертикальная полоса при подаче на зонд потенциала?
8. Вычислите и занесите в таблицу величину f_3 силы, действующей на электрон с зарядом $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл и массой $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.
9. Вычислите начальное значение ускорения в начале неподвижного электрона под действием силы f_3 .
10. Вычислите путь и направление движения электрона в течение малого времени τ между двумя столкновениями. Задайте τ по интуиции.
11. Оцените величину заряда на сферическом электроде по данным эксперимента и в соответствии с законом распределения потенциала, создаваемого точечным зарядом.
12. Выразите величину суммарного значения тока в амперах.

Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА С ПОМОЩЬЮ МОСТА УИТСТОНА

Цель работы: изучить метод измерения сопротивлений мостом Уитстона.

Материалы и оборудование: мост Уитстона, соединительные провода.

Теоретическое обоснование лабораторной работы

Сопротивление какого-либо проводника можно измерить наиболее просто при помощи амперметра и вольтметра, рассчитав его по закону Ома для участка цепи. Точность этого метода невелика (порядка 1 %). Поэтому для более точного определения сопротивлений применяют *метод сравнения* сопротивлений, не требующий измерения тока и напряжения. Это осуществляется по схеме моста Уитстона (рис. 1). Здесь R_1, R_2, R_3, R_4 – четыре сопротивления, одно из которых неизвестно (R_x); G – чувствительный гальванометр, включенный в диагональ моста. Для выражения неизвестного сопротивления R_x через известные сопротивления R_1, R_2, R_3 воспользуемся правилами Кирхгофа, одно из которых относится к узлам, а другое – к контурам электрической цепи. Узлом электрической цепи называется любая её точка, в которой сходится не менее трех проводников. Контуром электрической цепи называется любой её замкнутый участок, не содержащий разветвлений.

Первое правило Кирхгофа заключается в том, что алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

$$\sum_{i=1}^{i=n} I_i = 0. \quad (1)$$

Если при составлении алгебраической суммы токов для узла условиться считать токи, подходящие к узлу, положительными, то токи, отходящие от узла, нужно считать отрицательными. Так как направления токов на отдельных участках цепи обычно неизвестны, то эти направления, как правило, выбирают произвольно. При таком произвольном выборе направлений токов можно следить за тем, чтобы в цепи не оказалось таких узлов, к которым все токи только подходят, либо таких узлов, от которых все токи только отходят. Если число узлов цепей равно n , то число независимых уравнений, которые можно составить для узлов, равно $n-1$.

Второе правило Кирхгофа заключается в том, что алгебраическая сумма падения напряжений в контуре равна алгебраической сумме всех ЭДС, действующих в этом контуре:

$$\sum_{i=1}^{i=n} Li Ri = \sum_{i=1}^{i=k} Ei. \quad (2)$$

ЭДС численно равна сумме падений напряжений на внутреннем и внешнем участках цепи. Для составления алгебраических сумм падения напряжения ЭДС, кроме произвольного выбора направлений токов, нужно произвольно выбрать направления обходов контуров в процессе составления уравнений и их решения менять нельзя.

Для тех участков цепи, для которых выбранные направления тока и обхода контура совпадают, падение напряжения берется со знаком плюс, если же эти направления противоположны, то падение напряжения берется со знаком минус. ЭДС берется со знаком плюс, если она в выбранном направлении обхода контура повышает потенциал, если же она в этом направлении потенциал понижает, то она берется

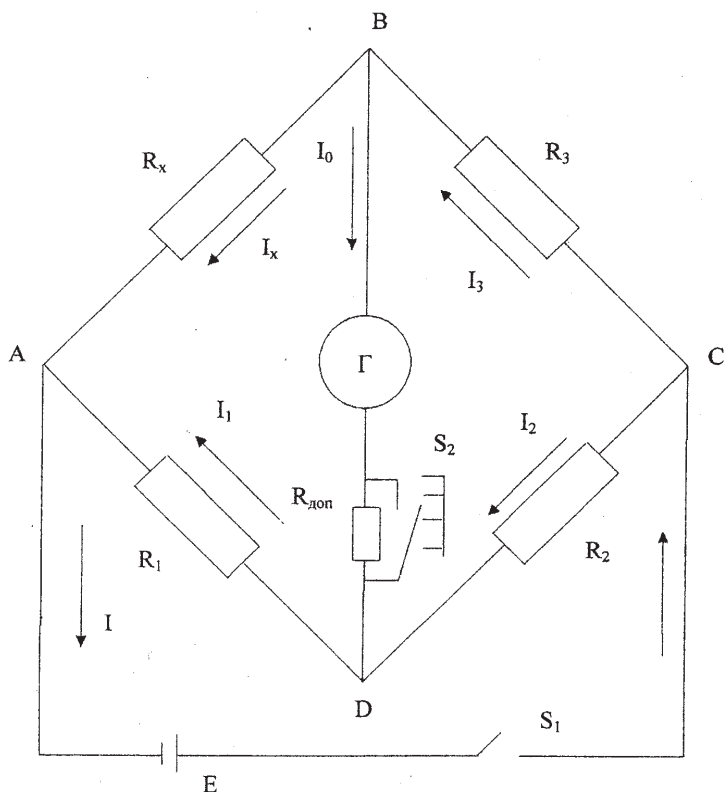


Рис. 1. Схема цепи Уинстона

со знаком минус. Если число контуров в цепи равно m , то число независимых уравнений, которые можно составить для контуров, равно $m-1$.

Уравнения для узлов и контуров образуют систему, решение которой позволяет определить точки на участках цепи.

Вывод рабочих формул

В цепи, изображенной на рис. 1, имеется четыре узла: A, B, C, D . Составим три независимых уравнения.

$$\text{Для узла } A: I_x + I_1 - I = 0 . \quad (3)$$

$$\text{Для узла } B: I_3 + I_0 - I_x = 0 . \quad (4)$$

$$\text{Для узла } D: I_0 + I_2 - I_1 = 0 . \quad (5)$$

По второму закону Кирхгофа, для контура $ABDA$

$$-I_x R_x + I_0 R_r + I_1 R_1 = 0 ; \quad (6)$$

для контура $BCDB$

$$-I_3 R_3 + I_2 R_2 + I R_r = 0 , \quad (7)$$

где R_r – сопротивление гальванометра.

Изменением сопротивления проводников, составляющих контуры, добиваемся и того, чтобы в диагонали BD тока не было (гальванометр показывает $I_r = 0$), т.е. чтобы потенциал V_b в точке B был равен потенциалу V_d в точке D ($V_b = V_d$). Тогда уравнения (4), (7) примут вид:

$$I_3 = I_x ; \quad (8)$$

$$I_2 = I_1 ; \quad (9)$$

$$I_1 \cdot R_1 = I_x \cdot R_x ; \quad (10)$$

$$I_2 \cdot R_2 = I_3 \cdot R_3 . \quad (11)$$

Уравнение (10) разделим на (11) с учетом (8) и (9). Тогда получим:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_3} ,$$

откуда

$$R_x \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}. \quad (12)$$

Уравновесить мост – это значит добиться нулевого показания гальванометра при постоянном отношении $\frac{R_1}{R_2}$ и при постоянном R_3 .

Точность измерений R_x будет выше тогда, когда отношения $\frac{R_1}{R_2}$ не сильно отличаются от единицы.

В заключение производят проверку полученных результатов по измерениям и по расчетным формулам для последовательного соединения

$$R_{\text{пол}} = R_{x1} + R_{x2}$$

и параллельного соединения

$$\frac{1}{R_{\text{пар}}} = \frac{1}{R_{x1}} + \frac{1}{R_{x2}}.$$

Описание установки

В данной работе сопротивление R_3 подбирается на магазине сопротивлений. Предел изменения сопротивления на магазине от 0 до 99999,9 Ом. Магазин сопротивлений (рис. 2) состоит из 6 декад (курбелей). На ручке каждой декады нанесены целые числа от 0 до 9. На верхней левой декаде устанавливаются десятки тысяч, на следующей тысячи ом и т.д. Например, на рис. 2 установлено сопротивление $R_3 = 1370,9$ Ом. Магазин сопротивления подключается в цепь через клеммы «0» и «99999,9» Ом. Сопротивления R_1 и R_2 устанавливаются на декадах с обозначениями « R_1 » и « R_2 ». Для предохранения гальванометра от токовых пере-

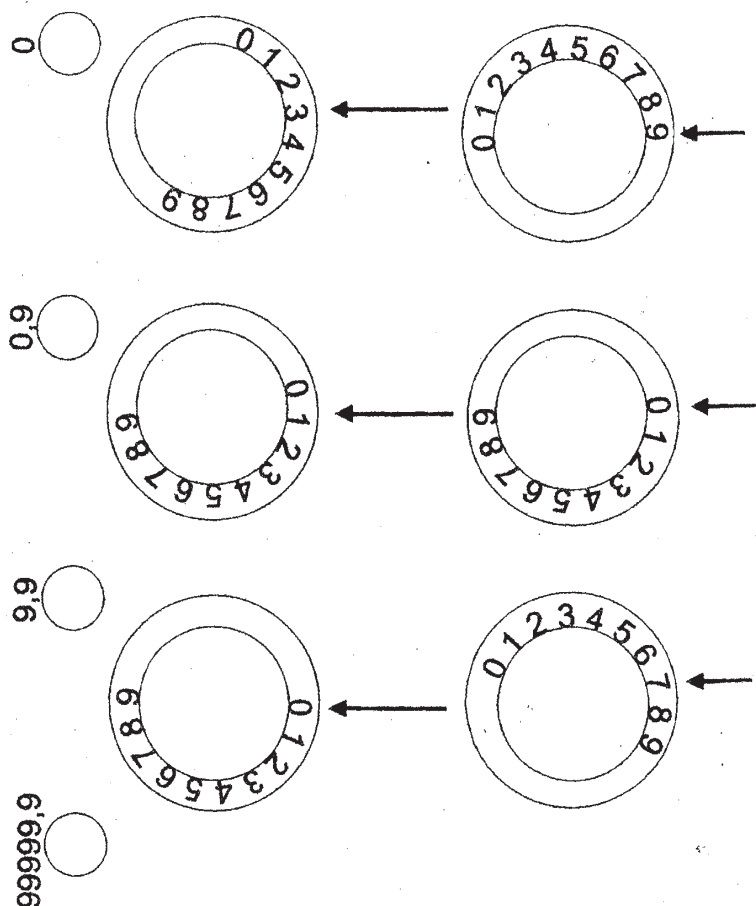


Рис. 2. Магазин сопротивлений

грузок при начальном подборе сопротивлений R_1, R_2 и R_3 в диагональ BD (см. рис. 1) включено дополнительное сопротивление $R_{\text{дон}}$. При точной балансировке места гальванометр включается без дополнительного сопротивления, что достигается нажатием кнопки S_2 . Питание моста осуществляется от выпрямителя.

Порядок выполнения работы

1. Подключите к мостовой схеме сопротивление R_x . Установите отношение плеч $\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{1}$. Включите в сеть тумблер S_1 . Подбирая R_3 , добейтесь нулевого положения гальванометра. Нажмите кнопку S_2 и проделайте более точные измерения. Аналогичные измерения проделайте для других отношений $\frac{R_1}{R_2}$ (например, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{1}$).
2. Подключите к мостовой схеме сопротивление R_{xl} и выполните все операции, которые указаны в п. 1.
3. Соедините R_{xl} и R_{x2} последовательно и измерьте $R_{посл}$.
4. Соедините R_{xl} и R_{x2} параллельно и измерьте $R_{пар}$.
5. По формулам последовательного и параллельного соединений произведите проверку полученных результатов.
6. Данные измерений и вычислений занесите в соответствующие таблицы.

Контрольные вопросы

1. Что называется электрическим током? Условия существования электрического тока.
2. Что принимают за направление электрического тока?
3. Что называют силой тока?
4. Закон Ома для однородного участка цепи.
5. Закон Ома для замкнутой цепи.
6. Сторонние силы и их роль в возникновении постоянного тока.
7. Определение ЭДС источника. Единицы ЭДС в СИ.
8. Формулировка первого и второго правил Кирхгофа.
9. Начертите схему моста Уинстона и объясните вывод соотношения (12).

Таблица 1

Определение R_{x1}

№ п/п	R_3 , Ом	$R_1 : R_2$	R_{x1} , Ом
		1 : 1	
		1 : 2	
Среднее $R_{x1} =$			

Таблица 2

Определение R_{x2}

№ п/п	R_3 , Ом	$R_1 : R_2$	R_{x2} , Ом
		1 : 1	
		1 : 2	
Среднее $R_{x2} =$			

Таблица 3

Последовательное соединение R_{x1} и R_{x1}

№ п/п	R_3 , Ом	$R_1 : R_2$	$R_{общ}$, Ом
		1 : 1	
		1 : 2	
Среднее $R_{общ} (R_{x1} + R_{x1}) =$			

Таблица 4

Параллельное соединение R_{x1} и R_{x2}

№ п/п	R_3 , Ом	$R_1 : R_2$	$R_{общ}$, Ом
		1 : 1	
		1 : 2	
Среднее $R_{общ}$ (парал.) =			

Лабораторная работа № 3

ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛ КИРХГОФА ДЛЯ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Цель работы: научиться пользоваться правилами Кирхгофа.

Материалы и оборудование: магазины сопротивлений, выключатели, источник тока, вольтметр, соединительные провода.

Теоретическое обоснование лабораторной работы

Электрическая схема, используемая для ознакомления с правилами Кирхгофа, представлена на рисунке. Здесь сопротивления резистора R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 могут быть заданы произвольно.

Разомкнув ключи K_1 и K_2 , можно вольтметром приблизительно измерить и полярность ЭДС E_1 и E_2 . Затем, замкнув оба ключа, тем же вольтметром измеряем падение напряжения и его полярность всех резисторов.

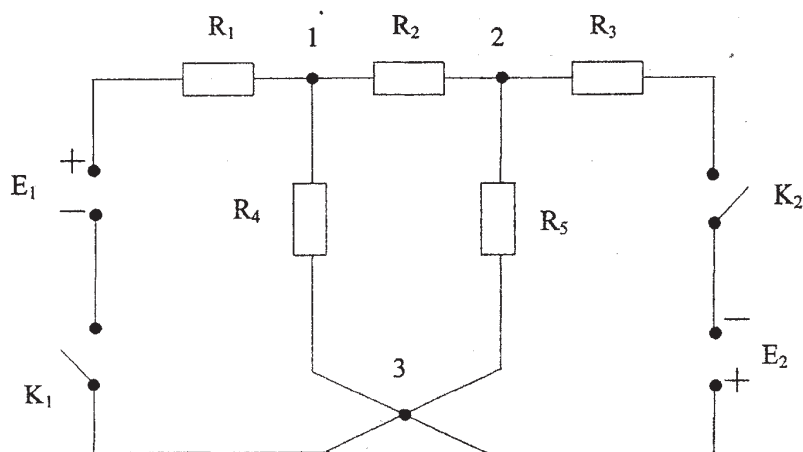
Для удобства значение падения напряжения U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 , электродвижущие силы и направления токов на резисторах и создаваемых ЭДС необходимо числами и стрелками отразить на рабочем рисунке.

Величины токов I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 измеряются последовательно включаемым в соответствующую ветвь амперметром. При его отсутствии можно воспользоваться законами Ома:

$$I_k = \frac{U_k}{R_k}; \quad k = 1 + 5.$$

Теперь нетрудно проверить выполнение первого правила Кирхгофа для узлов 1, 2, 3. Сумма входящих токов равна сумме выходящих токов в узлах соединения электрической цепи.

Второе правило Кирхгофа для замкнутого (обход по часовой стрелке) контура 1, 2, 3, 1, не содержащего ЭДС, записывается теперь следующим образом: $\pm U_2 \pm U_5 \pm U_4 = 0$.



Разветвленная электрическая схема

Здесь выбор знака перед величиной U_1 связан с направлением обхода и направления тока на данном участке. Падение напряжения берется со знаком (+), если направление обхода и направление тока на данном участке совпадают, а со знаком (-), если направление обхода и направление тока на данном участке не совпадают. Убедившись в выполнении правил Кирхгофа, можно приступить к его использованию для нахождения внутренних сопротивлений r_1 и r_2 у соответствующих ЭДС. Для этого записывается второе правило Кирхгофа для контура 1, 3, 1:

$$\pm U_1 \pm U_4 \pm L_1 r_1 = \pm E_1.$$

Здесь знаки перед U_1, U_4, L_1, E_1 выбираются по уже обсуждавшемуся правилу. Из этого соотношения находится r_1 , аналогично находится r_2 .

Порядок выполнения работы

1. Проверьте соответствие собранной схемы.
2. Задайте произвольные значения R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 и занесите их на рабочую схему.
3. При незамкнутых ключах K_1 и K_2 измерьте вольтметром E_1 и E_2 и занесите их значения на рабочую схему цепи, указав стрелкой направление тока через ЭДС.
4. Включите ключи K_1 и K_2 , измерьте и занесите на рабочую схему значения всех U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 , а также стрелкой укажите направления токов, проходящих через резисторы.
5. Измерьте или рассчитайте по закону Ома величины токов I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 и занесите их на рабочую схему.
6. Проверьте выполнение первого правила Кирхгофа для всех узлов.
7. Проверьте выполнение второго правила Кирхгофа для контура 1, 2, 3, 1.
8. Запишите с правильным набором знаков второе правило Кирхгофа для контуров 1, 3, 1 и 2, 3, 2 соответственно и вычислите r_1 и r_2 .

Контрольные вопросы

1. Закон Ома для участка цепи.
2. Первое правило Кирхгофа.
3. Второе правило Кирхгофа.
4. Физический смысл тока, текущего в заданном направлении.

5. Что произойдет с электрической цепью, если первое правило Кирхгофа нарушится?

6. Что произойдет, если нарушится второе правило Кирхгофа?

7. Сопротивления $R_1 = 3 \text{ Ом}$ и $R_2 = 5 \text{ Ом}$ соединены последовательно. Через них идет ток 1 А . Чему равно общее напряжение на этих сопротивлениях?

8. ЭДС батареи равняется 50 В , внутреннее сопротивление $r = 3 \text{ Ом}$. Найдите силу тока в цепи и напряжение, под которым находится внешняя цепь, если ее сопротивление $R = 17 \text{ Ом}$.

9. При контакте с проводом электроизгороди на корову действует прямоугольный импульс тока длительностью 5 мс при напряжении 60 В . Какой заряд проходит при этом через тело коровы, если сопротивление тела $1,5 \text{ кОм}$?

10. Аккумулятор с $\mathcal{E} = 6 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = 0,1 \text{ Ом}$ питает внешнюю цепь сопротивлением $R = 12,4 \text{ Ом}$. Какое количество теплоты выделится за время $t = 10 \text{ мин}$ во всей цепи?

Лабораторная работа № 4

ЗАКОН АМПЕРА

Цель работы: изучить закон Ампера на примере работы прибора магнитоэлектрической системы.

Материалы и оборудование: источник тока, гальванометр, вольтметр.

Теоретическое обоснование лабораторной работы

Закон Ампера лежит в основе работы многих электротехнических устройств.

К ним относятся электродвигатели, различные электроизмерительные приборы, в частности, приборы магнитоэлектрической системы. Последние состоят из постоянного магнита, создающего поле, в котором находится катушка в виде рамки, способная поворачиваться вокруг оси, когда по ней течет ток (рисунок).

К катушке прикреплена стрелка и спиральная пружина, создающая возвращающий момент M , пропорциональный углу поворота φ .

$$M = K \cdot \varphi, \quad (1)$$

где K – коэффициент упругости пружины.

Магнит и магнитопровод имеют такую форму, что поле в зазоре направлено по радиусу катушки и одинаковое для рамки при ее повороте в пределах угла. Поэтому со стороны катушки с током I действует постоянная касательная пара сил, создающих вращающий момент:

$$M = 2[r, F], \quad (2)$$

где $r = D/2$, D – размер катушки.

С учетом того, что угол между M и F в любом положении рамки равен 90° , принимая во внимание выражение (2) для модуля момента пары сил, получаем:

$$M = D \cdot F, \text{ но } F = I \cdot B \cdot l,$$

тогда
$$M = D \cdot F = D \cdot I \cdot l \cdot B. \quad (3)$$

Так как катушка содержит n витков, то уравнение (3) примет вид:

$$M = nD \cdot I \cdot l \cdot B. \quad (4)$$

При протекании постоянного тока через рамку поворот ее прекращается при условии равенства моментов. Поэтому, приравнявая (1) и (4), приходим к условию равновесия:

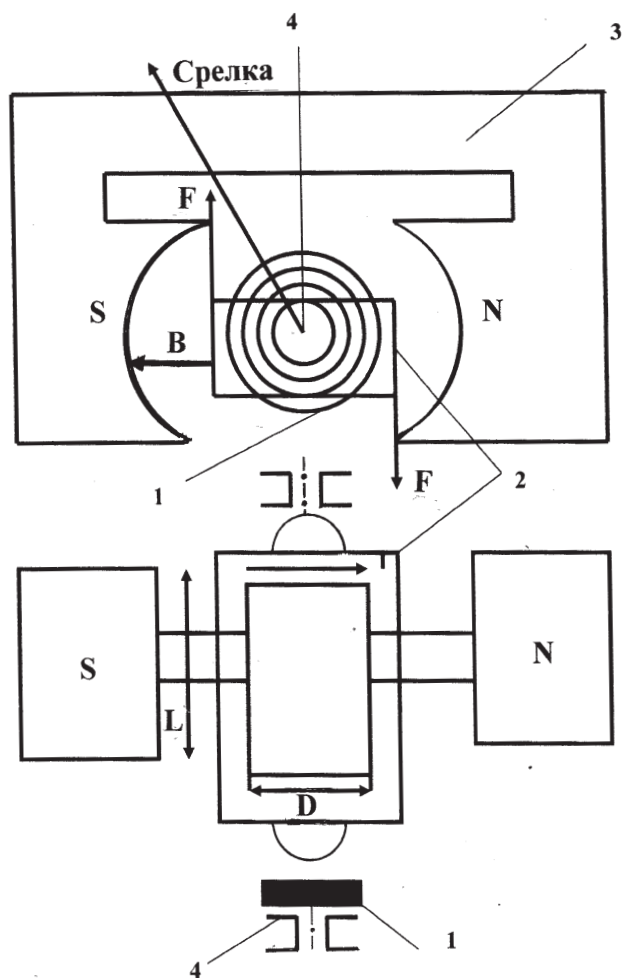
$$n \cdot D \cdot I \cdot l \cdot B = k \cdot \omega. \quad (5)$$

Разделив обе части (5) на произведение $n \cdot D$, получаем: слева силу Ампера, справа – соответствующее показание крутильных весов:

$$I \cdot l \cdot B = \frac{k}{nD} \cdot \varphi. \quad (6)$$

В данной работе ток измеряется внешним прибором большого класса точности. Приборы магнитно-электрической системы используются как крутильные весы, шкала которых проградуирована в градусах угла поворота. Сила, действующая на проводник с током, в них определяется согласно правой части уравнения (5) соотношением

$$F = \frac{k}{nD} \cdot \varphi. \quad (7)$$



Вид сбоку и спереди на механизм взаимодействия магнитного поля и рамки с током:

1 – спиралевидная пружина, создающая уравновешивающий вращательный момент; 2 – рамка с током; 3 – магнитопровод, создающий однородное поле для рамки с током; 4 – ось вращения рамки с током

Порядок выполнения работы

1. Поверните ручку регулировки напряжения до упора против часовой стрелки.

2. Включите установку.

3. Меняя напряжение питания схемы, измерьте величину тока и соответствующее ему значение угла в 5 точках шкалы.

4. Рассчитайте для измеренных I и φ силу Ампера и показание крутильных весов соответственно по закону Ампера и по формуле (7):

$$F = I \cdot l \cdot B, \quad F = \frac{k}{nD} \cdot \varphi.$$

1. Сравните полученные данные, результаты занесите в таблицу.

Результаты измерений и вычислений

I , А						
φ , град.						
F_A , Н						
F , Н						

2. Постройте график зависимости $I(\varphi)$. Сравните характер зависимости с выражением (5).

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон Ампера.

2. Как найти направление силы Ампера?

3. Проследите связь закона Ампера с выражением для силы Лоренца.

4. Как выглядит магнитное поле в зазоре магнитопровода прибора?

5. Как направлены и чему равны силы, действующие на рамку в приборе?

6. Какому закону соответствует выражение (1)?

7. При каком условии шкала прибора магнитно-электрической системы является линейной?

8. Что такое момент силы? Как направлен вектор M в приборе?

9. Сформулируйте условие устойчивого равновесия отклонения стрелки прибора при протекании постоянного тока. Все величины, входящие в (4), кроме I и φ , для конкретного прибора постоянные и мы их считаем известными. Таким образом, с одной стороны, прибор позволяет по измеренному току и известным параметрам (n, D, l, B) определять силу, действующую на проводник с током I длиной l , находящийся в магнитном поле B . С другой стороны, этот же прибор может использоваться как чувствительные крутильные весы для измерения этой силы.

Лабораторная работа № 5

ЗАКОН БИО – САВАРА – ЛАПЛАСА

Цель работы: изучить закон Био – Савара – Лапласа на примере определения горизонтальной составляющей напряжённости магнитного поля Земли при помощи тангенс-гальванометра.

Материалы и оборудование: тангенс-гальванометр, амперметр, реостат, источник постоянного тока, переключатель.

Теоретическое обоснование лабораторной работы

Земля окружена магнитным полем. Важной количественной характеристикой магнитного поля является напряженность. Напряженность – векторная величина. Она направлена по касательной к силовой линии магнитного поля.

Направление силовых линий магнитного поля схематично изображено на рис. 1.

Вектор напряженности магнитного поля Земли H_z образует угол с горизонтальной плоскостью, так как силовые линии земного поля в общем не параллельны земной поверхности.

Напряжённость H_z можно разложить на горизонтальную составляющую H_r и вертикальную составляющую H_v . Магнитная стрелка, которая может вращаться лишь в горизонтальной плоскости, будет отклоняться только под действием горизонтальной составляющей H_r и расположится по магнитному меридиану Земли. Это свойство стрелки используется для определения H_r с помощью тангенс-гальванометра.

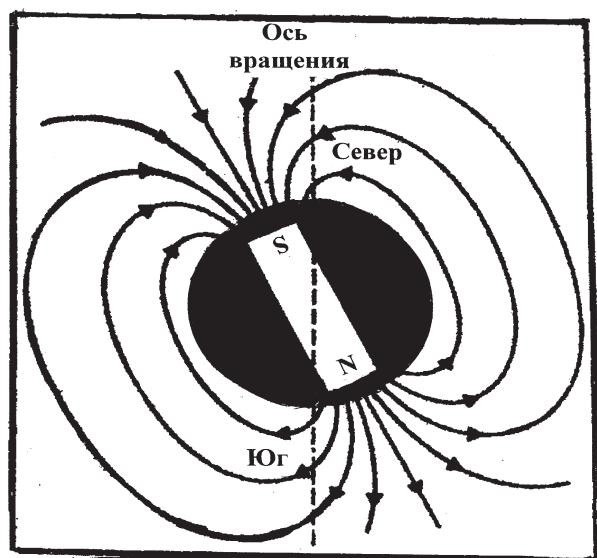


Рис. 1. Магнитное поле Земли

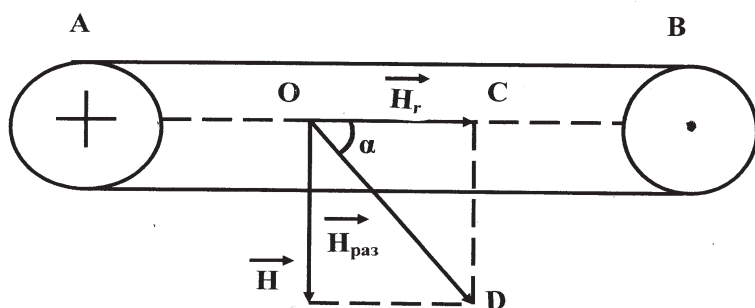


Рис. 2. Схема тангенс-гальванометра

Тангенс-гальванометр состоит из n витков проводника, намотанного на кольцо AB радиусом R , магнитной стрелки и круговой шкалы, расположенных в центре кольца AB (рис. 2). Кольцо AB при отсутствии тока в катушке поворачивается так, чтобы ось, проведённая через полюса

стрелки, лежала в плоскости кольца. В этом случае плоскость кольца совпадает с плоскостью магнитного меридиана Земли, магнитная стрелка также располагается по направлению магнитного меридиана.

Пусть по катушке постоянный ток. Магнитная стрелка повернется на некоторый угол α . Поворот стрелки вызывается магнитным полем кругового тока H . Вектор H в центре кольца направлен перпендикулярно плоскости кольца. Следовательно, на магнитную стрелку действуют два магнитных поля: магнитное поле кругового тока H и горизонтальная составляющая магнитного поля Земли H_r . Магнитная стрелка займёт положение равновесия под действием этих полей, её ось будет совпадать с направлением результирующей векторов H и H_r (см. рис. 2):

$$H_{рез} = H + H_r;$$

$$H = |H| = \frac{nJ}{2R}. \quad (1)$$

Из треугольника ОСД находим:

$$H_r = \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (2)$$

Отсюда следует, что для определения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли H_r нужно знать угол α и напряжённость магнитного поля в центре кругового тока H . Угол α отсчитывается по шкале прибора, величина H_r вычисляется по формуле (1).

Подставляя значение α из формулы (1) в выражение (2), получим расчетную формулу для вычисления горизонтальной составляющей магнитного поля Земли H_r :

$$H_r = \frac{nI}{(2R \operatorname{tg} \alpha)},$$

где I – сила тока, А;

R – радиус кольца, м;

n – число витков катушки

Порядок выполнения работы

1. Соберите установку по схеме рис. 3. На схеме обозначены:

ТГ – тангенс-гальванометр;

А – амперметр;

Е – источник постоянного тока;

Р – реостат, который во избежание помех должен быть расположен вдали от тангенс-гальванометра;

П – переключатель для изменения направления тока в приборе;

К – ключ для замыкания цепи.

2. Установите тангенс-гальванометр так, чтобы линия, проходящая через полюсы магнитной стрелки, совпадала с плоскостью кольца.

3. Замкните цепь переключателем. Установите реостатом ток I_1 , подождите, пока магнитная стрелка установится, и отсчитайте по круговой шкале угол α_1 .

4. Не меняя силу тока, измените направление тока тангенс-гальванометра на противоположное, отсчитайте угол отклонения стрелки α_2 в другую сторону от кольца.

5. Определите среднее значение угла отклонения магнитной стрелки α_1 при силе тока $I_1 : \alpha_{cp} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$.

6. При помощи реостата измените силу тока в цепи. Произведите измерения при нескольких других значениях силы тока (по указанию преподавателя).

7. Найдите по математическим таблицам значения $\operatorname{tg} \alpha$. Вычислите H_r для каждого измерения (для каждой силы тока) по формуле (3). Значения n и R указаны на тангенс-гальванометре.

8. По результатам всех измерений и вычислений найдите среднее значение H_r .

9. Данные измерений и расчетов занесите в таблицу.

Результаты измерений и вычислений

№ п/п	J, A	α_1	α_2	α_{cp}	$\operatorname{tg} \alpha$	$H_r, A/m$	$H_{z, cp}$

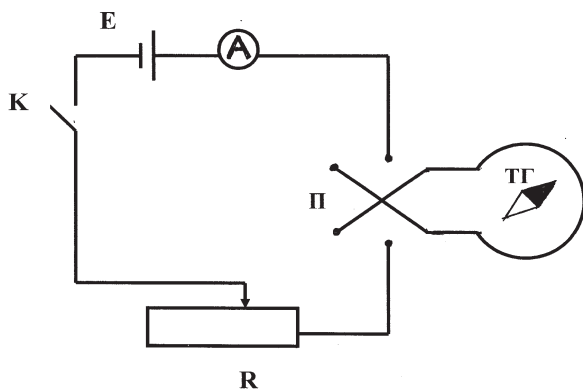


Рис. 3. Схема включения тангенс-гальванометра

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон Био – Савара – Лапласа.
2. Дайте вывод формулы для определения напряжённости магнитного поля в центре кругового тока.
3. Опишите устройство и действие тангенс-гальванометра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Трофимова Т. И.* Курс физики. – М.: Академия 2007. – 560 с.
2. *Савельев И. В.* Курс общей физики. – М.: Высш. шк., 1982. – Т 2. – 496 с.
3. *Грабовский Р. И.* Курс физики. – СПб.: Лань, 2007. – 608 с.
4. *Грибов Л. А.* Основы физики / Л. А. Грибов, Н. И. Прокофьев. – М.: Высш. шк., 1992. – 430 с.
5. *Сивухин Д. В.* Общий курс физики. – М.: Наука, 1977. – Т. 3. – 678 с.

Содержание

Введение	3
Раздел 1	7
Лабораторная работа № 1. Изучение электростатического поля.....	7
Лабораторная работа № 2. Изучение сопротивления проводника с помощью моста Уитстона.....	14
Лабораторная работа № 3. Применение правил Кирхгофа для разветвленных электрических цепей	22
Раздел 2	26
Лабораторная работа № 4. Закон Ампера	26
Лабораторная работа № 5. Закон Био – Савара – Лапласа.....	31
Библиографический список	36

Составители:
Чечуев Владимир Яковлевич
Штейн Сергей Георгиевич
Дзю Искра Михайловна
Митина Лилия Анатольевна
Алешкевич Марина Георгиевна

ФИЗИКА

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Методические указания
к лабораторным работам

Редактор Т. К. Коробкова
Компьютерная вёрстка Т. А. Измайлова

Подписано в печать 18 июня 2013 г. Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$.
Объем 1,8 уч.-изд. л., 2,4 усл. печ. л.
Тираж 100 экз. Изд. № 46. Заказ № 874

Отпечатано в Издательстве
Новосибирского государственного аграрного университета
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб. 106.
Тел./факс (383) 267–09–10. E-mail: 2134539@mail.ru