

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. В.П. Астафьева»
(КГПУ им. В.П. Астафьева)

Институт математики, физики и информатики
Кафедра физики и методики обучения физике

РАСПОПИНА ВАЛЕРИЯ ВИКТОРОВНА

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ОРГАНИЗАЦИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА ПО
ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ ДЛЯ УЧАЩИХСЯ СТАРШИХ КЛАССОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ

Направление подготовки 44.03.01 Педагогическое образование
Направленность (профиль) образовательной программы Физика

ДОПУСКАЮ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

профессор доктор педагогических наук

В. И. Тесля

«26» мая 2020

Научный руководитель:

к. ф-м. н., доцент кафедры ФИМОФ

А. С. Чиганов

«20» мая 2020

Дата защиты «30» июня 2020 г

Обучающийся: Распопина В. В.

«18» мая 2020

Оценка _____

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ТЕОРИЯ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ.....	6
1.1. Описание датчиков VERNIER и их преимущества	6
1.2. Теория по электродинамике.	11
Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	26
2.1. Лабораторная работа «Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока».....	26
2.2. Лабораторная работа «Построение вольт-амперной характеристики лампы накаливания, исследование зависимости температуры вольфрамовой нити от напряжения на лампе».....	30
2.3. Лабораторная работа «Измерение магнитного поля катушки с током».....	36
2.4. Лабораторная работа «Изучение законов зарядки и разрядки конденсатора».....	42
2.5. Лабораторная работа «Закон Фарадея. Влияние изменения магнитного потока движущегося магнита».....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	53

ВВЕДЕНИЕ

Физический эксперимент – это способ познания природы, заключающийся в изучении природных явлений в специально созданных условиях [33]. В силу своей значимости он занимает особое место в преподавании курса физики [2]. Он играет важнейшую роль в процессе обучения физики, позволяет более прочно укоренить полученные знания, а порой является единственным способом их приобретения.

В его разработку внесли существенный вклад очень многие ученые-методисты и практики. Фундаментальные труды в этой области принадлежат П.А. Знаменскому [8], А.А. Покровскому [23], а также В.А. Бурову и Ю.И. Дику [24].

Но каким он должен быть в наш информационный век технологий?

Научно-технический процесс не стоит на месте, появляются все более разнообразные приборы. Например, еще каких-то десять лет назад школы и университеты использовали только меловые доски, сейчас же мы имеем интерактивные. Именно поэтому в образовании требуются новые подходы к обучению, новые технологии [30]. На сегодняшний день актуальной методической задачей в обучении физике является задача применения в учебном процессе различных средств учебного физического эксперимента [21, 22].

Один из способов решения этой задачи может быть введение в школьную программу экспериментальную деятельность с использованием нового современного оборудования от компании Vernier. М.А. Петрова считает, что применение датчиков позволяет проводить ранее известные работы физического практикума на другом уровне, на уровне, соответствующем запросам современных физических исследований [20].

Таким образом, актуальность темы исследования подтверждается высокой потребностью современной школы в новых образовательных подходах в физическом эксперименте, в связи с возрастанием интереса к информационным технологиям. Именно комплексное введение в школьный курс физики лабораторных экспериментов с использованием современных датчиков приведет к явному улучшению понимания изучаемого материала, повысит познавательный интерес учащихся как к физике, так и к науке в целом.

Цель: Раскрыть основные особенности в устройстве современных датчиков и организовать физический практикум для учащихся старших классов с их применением, а именно с использованием программно-аппаратного комплекса Vernier.

Объект: Физический эксперимент с использованием современных датчиков в старшей школе.

Предмет: Процесс обучения физике в старшей школе с использованием современных датчиков на основе программно-аппаратного комплекса Vernier в физическом эксперименте.

Задачи:

- изучить методическую литературу по применению современных датчиков в обучении физики;
- описать датчики программно-аппаратного комплекса Vernier и выявить их преимущества;
- разработать лабораторный практикум по электродинамике с использованием датчиков Vernier в измерениях физических величин.

Методы исследования:

Теоретические: анализ, синтез и обобщение научно-методической и учебно-методической литературой по теме исследования

Эмпирические: описание и представление лабораторных работ по физике с использованием современных датчиков Vernier.

Структура выпускной квалификационной работы:

Введение, которое содержит в себе цель, объект, предмет и задачи исследования, а также методы исследования.

Первая глава представляет собой теоретические основы и включает в себя два параграфа. В первом параграфе раскрывается понятие современных датчиков, так же приводится описание датчиков Vernier и их преимущества. Во втором параграфе содержится теоретическая составляющая по разделу физики «электродинамика».

Вторая глава является практической частью работы. Она включает в себя ряд лабораторных работ с использованием современных датчиков, рекомендованных к использованию на занятиях по физике в старшей школе.

Применение данных лабораторных работ в школьной практике позволит учителям не только формировать естественнонаучное мышление в рамках лабораторных работ, но и развивать у учащихся творческий подход и инициативность. А разнообразие разработанных работ позволяет обеспечить системность и четкую структурированность полученных знаний.

В рамках разработанного цикла явно прослеживается интеграция информатики в процесс изучения физики в старшей школе. Учащиеся, в свою очередь, используя персональный компьютер и датчики Vernier, смогут более наглядно и доступно усвоить сложные понятия и физические законы по электродинамике.

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ТЕОРИЯ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

1.1. Описание датчиков VERNIER и их преимущества

Современные датчики VERNIER – это приборы обеспечивающие большую точность и достоверность измерения данных в физическом эксперименте. Использование такого оборудования позволяет вносить серьезную научную составляющую даже в простые лабораторные работы. Датчики позволяют диагностировать состояние исследуемого объекта. Данные эксперимента обрабатываются и выводятся на экран в реальном масштабе времени и в рациональной графической форме, в виде численных значений, диаграмм, графиков и таблиц [9].

На данный момент есть большое количество датчиков, которые могут помочь практически с любой области физики [7].

Датчик расстояния действуют подобно автоматическому определителю расстояния камеры Поляроид. Эти устройства изучают ультразвуковые импульсы с частотой от 10 до 50 раз в секунду. Время прохождения импульса до объекта и обратно используется для расчета расстояния, скорости и ускорения. Диапазон измеряемых расстояний – от 0,15 до 6 метров [31].



Рис. 1. Датчик расстояния

- частота колебаний: 50 кГц;
- разрешение: 1 мм;
- точность измерений: 2 мм;
- диапазон измерений: 0,15 – 6 м;
- скорость ультразвука, используемая для вычисления расстояния: 343 м/с;
- потребление тока во время работы: 51 мА.

Датчик звука размещен в трубке, на одном из концов которой находится электретный микрофон. Можно применять для исследования и отображения звуковых сигналов голоса человека, музыкальных инструментов и камертонов [31].



Рис. 2. Датчик звука (микрофон):

- диапазон частот: от 20 Гц до 16 кГц;
- тип электретный.

Датчик ускорения или акселерометр лучший выбор для большинства экспериментов по ускорению, включая второй закон Ньютона, простое гармоническое движение и соотношение между ускорением и силой. Он также может быть использован для изучения одномерного движения автомобиля (реального и игрушечного), лифта, маятника или поездки в парк развлечений. Диапазон измерения датчика $\pm 50 \text{ м/с}^2$ [31].



Рис. 3. Датчик ускорения (акселерометр):

- Мощность: 30 мА при 5 В постоянного тока
- Диапазон: $\pm 50 \text{ м / с}^2$ ($\pm 5 \text{ г}$)
- Точность: $\pm 0,5 \text{ м / с}^2$ ($\pm 0,05 \text{ г}$)
- Частотная характеристика: 0–100 Гц
- Типичное разрешение: $0,037 \text{ м / с}^2$

Датчик силы имеет два диапазона: от -10 до +10 и от -50 до +50 Н. Его можно легко смонтировать к лабораторному штативу или на подвижную тележку, а также может использоваться для замены пружинных весов. Можно применять для изучения трения, простого гармонического движения, импульса при столкновении или же центростремительной силы [28].



Рис. 4. Датчик силы (динамометр):

- диапазон измерений ± 10 Н; ± 50 Н;
- точность измерений: 0,01 Н в диапазоне ± 10 Н;
0,05 Н в диапазоне ± 50 Н.

Датчики тока и напряжения дифференцированного типа для контроля токов и напряжений в низковольтных цепях постоянного или переменного тока идеально подойдут для большинства схем с батарейками и лампочками или для анализа последовательных и параллельных цепей. Диапазон измерения дифференцированного напряжения составляет ± 6 В, а диапазон измерения тока варьируется в пределах $\pm 0,6$ А [28].



Рис. 5. Датчик напряжения дифференциального типа:

- диапазон измерений ± 6 В;
- точность измерений: 1,6 мВ.



Рис. 6. Датчик тока:

- диапазон измерений: $\pm 0,6$ А;
- точность измерений: 0,16 мА.

Оптоэлектрический датчик позволяет чрезвычайно точно определять время событий в рамках физических экспериментов, среди прочего, для изучения свободного падения, столкновений на воздушной трассе, периодов маятника, скорости катящегося объекта и т. п. Датчик легко устанавливается на лабораторный штатив [31].



Рис. 7. Оптоэлектрический датчик:

- Требуемое напряжение: 5 В пост. Тока при 40 мА
- Инфракрасный источник: пик при 880 нм
- Размер: ширина ворот 75 мм
- Выходной сигнал высокий и светодиод не горит для разблокированных ворот
- Низкий выход и светодиод для заблокированных ворот
- Луч около 9 мм от конца ворот.

Датчик магнитного поля использует эффект Холла и достаточно чувствителен, способен измерить даже магнитное поле Земли. Также может использоваться для изучения поля вокруг постоянных магнитов, катушек и электрических устройств [27].



Рис.8. Датчик магнитного поля:

- диапазон измерений 0,3 мТл (высокая чувствительность);
- 6,4 мТл (низкая чувствительность);
- точность измерений: 0,1 мкТл; 2 мкТл.

Датчик освещённости или люксметр имеет спектральную чувствительность, близкую к спектральной чувствительности глаза человека, и может использоваться в трех различных диапазонах освещенности, выбираемых с помощью простых переключений. Может применяться в экспериментах по изучению солнечной энергии или в экспериментах по изучению закона обратных квадратов [31].



Рис.9. Датчик освещённости
(люксметр):

- разрешение
 - 0–600 люкс: 0,2 люкс
 - 0–6 000 люкс: 2 люкс
 - 0–150 000 люкс: 50 люкс
- Длина волны: 400–800 нм.

Температурный датчик представляет собой точный, надежный и относительно не дорогой датчик для измерения температуры в объеме. Диапазон измерений от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+135\text{ }^{\circ}\text{C}$ [28].



Рис. 10. Датчик температуры:

- диапазон измерений: от -40 до $+135\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- точность измерений:
 - $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне от 0 до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - $\pm 0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$ в диапазоне от 100 до $130\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Очень полезным является датчик измерения температуры поверхности, представляет собой малоинерционный и надежный датчик для измерения температуры поверхности тел. Имеет открытый термистор, что приводит к чрезвычайно быстрому времени отклика. Такая конструкция допускает использование в воздухе и воде. Диапазон измерений от $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ [27].



Рис. 11. Датчик температуры поверхности:

- диапазон измерений от -25 до $125\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- точность измерений: $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Все датчики подключаются к системе сопряжения с компьютером Lab Quest mini или Sensor DAQ и далее к USB порту компьютера. Нужно отметить, что система Sensor DAQ позволяет реализовать более широкие возможности, чем Lab Quest mini в связи с самостоятельным программированием на языке Lab VIEW [7].



Рис. 12. Система сопряжения с компьютером Sensor DAQ.

Для передачи данных из LabQuest, графического калькулятора TI или карманного компьютера Palm в персональный компьютер потребуется программа Logger Pro. Проста в применении стоит лишь запустить программу с диска. В Logger Pro предусмотрено множество графических возможностей, таких как размещение надписей и единиц на осях, автоматическое масштабирование и изменение осей. С ним напечатанные графики будут иметь лучшее размещение и внешний вид, чем печатные копии экранов, перечисленных выше компьютеров. Таблицы данных могут выводиться на дисплей и печататься в виде колонок, расположенных рядом с друг другом. Logger Pro также обеспечивает расширенные возможности анализа, такие как аппроксимация данных, статистический анализ и табличные вычисления в колонках [15].

1.2. Теория по электродинамике.

Тела, способные после натирания притягивать легкие предметы, называют наэлектризованными. Электрические заряды всегда возникают при

тесном соприкосновении различных веществ. В некоторых телах электрические заряды могут свободно перемещаться между различными частями тела, в других же это не имеет места. Тела первого рода называются проводниками электричества, а тела второго рода – диэлектриками.

Несмотря на обилие различных веществ в природе, существует только два вида электрических зарядов: положительные и отрицательные заряды. Известно, что одноименные заряды отталкиваются, а разноименные притягиваются [1].

Начало количественного изучения электрических явлений относится к концу 18 века, когда Кулон (1785 г.) установил на опыте закон взаимодействия электрических зарядов: два точечных неподвижных электрических заряда взаимодействуют в вакууме с силой, пропорциональной произведению модулей этих зарядов и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними.

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}, \quad k = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0}, \quad [F] = 1 \text{Н.}$$

где k – коэффициент пропорциональности, а ϵ_0 – электрическая постоянная.

$$\epsilon_0 = 8,85 * 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} * \text{м}^2}.$$

Взаимодействие зарядов по закону Кулона является экспериментально установленным фактом. Однако математическое выражение закона взаимодействия зарядов не раскрывает физической картины самого процесса взаимодействия, не отвечает на вопрос, каким путем осуществляется действие одного заряда на другой [10].

Английский физик М. Фарадей дал факту взаимодействия электрических зарядов следующее объяснение: вокруг каждого электрического заряда всегда существует электрическое поле. Электрическое поле – материальный объект, непрерывный в пространстве и способный действовать на другие заряды. Согласно этим представлениям

взаимодействие электрических зарядов q_1 и q_2 есть результат действия поля заряда q_1 на заряд q_2 и соответственно поля заряда q_2 на заряд q_1 [13].

Физическая величина, равная отношению силы, с которой электрическое поле действует на пробный точечный заряд, к значению этого заряда, называется напряженностью электрического поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, [E] = 1 \frac{Н}{Кл} = 1 \frac{В}{м}$$

Зная напряженность электрического поля в данной точке, можно определить модуль и направление вектора силы, с которой электрическое поле будет действовать на любой электрический заряд в этой точке [4]:

$$\vec{F} = \vec{E}q.$$

Еще одна величина, характеризующая электрическое поле, - поток вектора напряженности. Элементарным потоком вектора напряженности через малую площадку называется произведение модуля вектора напряженности на величину площадки и косинус угла между вектором напряженности и нормалью к площадке [6]:

$$\Delta\Phi = E\Delta S \cos\alpha.$$

Если точечный заряд расположен внутри произвольной замкнутой поверхности, то полный поток вектора напряженности через эту поверхность равен:

$$\Phi = \frac{q}{\varepsilon_0}.$$

Если же внутри поверхности расположен не один точечный заряд, а их совокупность или если заряд распределен по некоторой поверхности или в некотором объеме, то

$$\Phi = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum q_{\text{внутр}}.$$

Это и есть теорема Гаусса: поток вектора напряжённости через произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме зарядов,

расположенных внутри этой поверхности, деленной на электрическую постоянную [10].

В электростатическом поле работа перемещения заряд между двумя точками не зависит от формы пути, соединяющего эти точки. При перемещении заряда по замкнутому контуру работа равна нулю [12].

Если заряд двигался по прямой, то работа электростатического поля равна:

$$A = Fscos\alpha = qEd$$

Потенциалом электрического поля в данной точке называется отношение потенциальной энергии, которой обладает пробный заряд, помещенный в данную точку поля, к этому заряду [16]:

$$\varphi = \frac{W_p}{q}.$$

Работа по перемещению электрического заряда между двумя точками поля равна произведению заряда на разность потенциалов начальной и конечной точек:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Поверхность, во всех точках которой потенциал электрического поля имеет одинаковые значения, называется эквипотенциальной поверхностью. [11]

Отношение работы сил электрического поля к электрическому заряду при его перемещении из одной точки в другую называется электрическим напряжением:

$$U = \frac{A}{q}.$$

В электростатическом поле разность потенциалов между двумя точками равна напряжению между ними [26]:

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2.$$

Заряд q пластины конденсатора пропорционален разности потенциалов U между пластинами конденсатора, или

$$U = \frac{q}{C},$$

Где C – коэффициент пропорциональности, известный как электрическая емкость [11].

Конденсатор – это система из двух проводников (обкладок), разделенных диэлектриком, толщина которого мала по сравнению с линейными размерами проводников. Так, например, две плоские металлические пластины, расположенные параллельно и разделенные слоем диэлектрика, образуют плоский конденсатор. Физическая величина, определяемая отношением заряда одной из пластин конденсатора к разности потенциалов между обкладками конденсатора, называется электроемкостью конденсатора [5]:

$$C = \frac{q}{(\varphi_1 - \varphi_2)}.$$

Ёмкость плоского конденсатора, состоящего из двух параллельных металлических пластин площадью S каждая, расположенных на расстоянии d друг от друга, в системе СИ выражается формулой:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$$

где ε — относительная диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами (в вакууме равна единице). Эта формула справедлива, лишь, когда d много меньше линейных размеров пластин [17].

Если конденсатор, имеющий электрическую емкость C (в фарадах) и заряженный до разности потенциалов U_0 (в Омах), ток разряда не будет течь в соответствии с законом Ома.

При прохождении через резистор электрического тока заряд конденсатора уменьшается, уменьшая тем самым напряжение между обкладками конденсатора, следовательно, и ток. Процесс разрядки конденсатора имеет экспоненциальный характер:

$$U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}.$$

Скорость уменьшения тока зависит от произведения RC – постоянной времени. Большее значение постоянной времени указывает на то, что конденсатор будет заряжаться довольно долго.

Если конденсатор заряжен, напряжение на нем при разрядке уменьшается экспоненциально:

$$U(t) = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right).$$

Одна и та же постоянная времени цепи, состоящей из резистора и конденсатора, показывает, как скорость заряда, так и скорость разряда [10].

Энергия электрического поля конденсатора электроёмкостью C можно представить в любом из следующих видов:

$$W_э = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2C} q^2 = \frac{1}{2} qU.$$

Упорядоченное движение электрически заряженных частиц называется электрическим током. Электрический ток называется постоянным, если сила тока и его направление не изменяются с течением времени. За направление тока условно выбрано направление движения положительных зарядов [25].

Для того чтобы ток был постоянным, необходимо, чтобы на концах проводника поддерживалась постоянная разность потенциалов, иными словами, чтобы в проводнике существовало неизменяющееся электрическое поле.

Для количественной характеристики электрического тока служат две основные величины: плотность тока и сила тока. Плотность тока равна заряду, проходящему в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной к линиям тока [3].

Сила тока в каком-либо проводнике равна заряду, проходящему в единицу времени через полное сечение проводника:

$$I = \frac{q}{t}.$$

Немецкий физик Г. Ом в 1826 г. Обнаружил, что сила тока в проводнике прямо пропорциональна разности потенциалов на этом участке:

$$I \sim (\varphi_1 - \varphi_2).$$

Другими словами, отношение разности потенциалов между концами проводника, являющегося участником электрической цепи, к силе тока в цепи есть величина постоянная:

$$\frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{I} = R = const.$$

Эта величина называется электрическим сопротивлением проводника. Электрическое сопротивление проводника зависит от вещества, длины и площади поперечного сечения:

$$R = p \frac{l}{S},$$

где p – удельное сопротивление вещества [18].

Для получения постоянного тока на заряды в электрической цепи должны действовать какие-либо силы, отличные от сил электрического поля. Такие силы получили общее название сторонних сил.

Отношение работы сторонних сил к значению положительного заряда, переносимого внутри источника от отрицательного полюса к положительному, называют электродвижущей силой источника (ЭДС). Из определения ЭДС следует:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}.$$

Закон Ома для полной цепи: сила тока в полной цепи равна электродвижущей силе источника, деленной на сумму сопротивлений внешнего и внутреннего участков цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r + R}.$$

Электрический ток совершает на любом участке цепи определенную работу. Пусть имеется произвольный участок цепи, между концами которого существует напряжение. По определению электрического напряжения работа, совершаемая при перемещении единицы заряда между точками равна U . Если сила тока в участке цепи равна I , то за время t пройдет заряд It , и поэтому работа электрического тока в этом участке будет:

$$A = UIt .$$

Мощность тока, т. е. работа в единицу времени, равна

$$P = \frac{A}{t} = UI.$$

Если проводник однороден и подчиняется закону Ома, то $U=IR$, где R -сопротивление проводника. В таком случае

$$A = RI^2t.$$

Этот закон был впервые установлен на опыте Э.Х. Ленцем и, независимо от него, Джоулем [18].

Притяжение или отталкивание электрически нейтральных проводников при пропускании через них электрического тока называют магнитным взаимодействием токов. Магнитное взаимодействие движущихся электрических зарядов, согласно представлениям теории поля, объясняется тем, что всякий движущийся электрический заряд создает в окружающем пространстве магнитное поле, способное действовать на другие движущиеся электрические заряды [19].

Сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током, называется силой Ампера. Сила Ампера пропорциональна силе тока в проводнике I и длине l той части проводника, которая находится в магнитном поле. Для максимального значения силы Ампера справедливо выражение

$$F_{max} = BIl,$$

где B – физическая величина, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля, называемой магнитной индукцией (или индукцией магнитного поля) [5].

Направление вектора индукции \vec{B} определяется правилом левой руки. Нужно расположить прямолинейный проводник в магнитном поле таким образом, чтобы сила Ампера имела максимальное значение. Раскрытую ладонь левой руки поместим в плоскости, проходящей через вектор силы Ампера и проводник с током. Четыре пальца руки расположим по направлению тока в проводнике, а большой палец, отогнутый в плоскости ладони под прямым углом к остальным четырем пальцам, - по направлению силы Ампера. Тогда вектор индукции будет входить перпендикулярно в плоскость ладони [10].

Если расположить проводник с током под углом к вектору магнитной индукции, то модуль силы Ампера определяется выражением

$$F_A = IBlsin\alpha.$$

Следовательно, на проводник с током, расположенный вдоль вектора магнитной индукции, сила Ампера не действует.

Произведение модуля вектора индукции на площадь участка поверхности, перпендикулярной вектору индукции, называется потоком вектора магнитной индукции или магнитным потоком. В случае расположения вектора индукции под углом к поверхности в однородном магнитном поле магнитный поток через плоскую площадку равен:

$$\Phi = BS\cos\alpha.$$

В одной и той же области пространства могут одновременно существовать электрическое и магнитное поля, их действия на заряженные частицы независимы. Сила, действующая на заряженные частицы со стороны электрического и магнитного полей, называется обобщенной силой Лоренца:

$$\vec{F}_L = \vec{F}_э + \vec{F}_M.$$

В частном случае, если напряженность электрического поля равна нулю, то сила Лоренца равна:

$$\vec{F}_L = qvBsin\alpha.$$

Электрические и магнитные поля порождаются одними и теми же источниками – электрическими зарядами. Поэтому можно было предположить, что между этими полями существует определенная связь. Это предположение нашло экспериментальное подтверждение в 1831 г. В опытах выдающегося английского физика М. Фарадея, в которых он открыл явление электромагнитной индукции. Электрический ток, возникающий в замкнутом контуре при изменениях магнитного потока, пронизывающего этот контур, называется индукционным током [19].

Дж. Максвелл показал, что исторически сложившиеся в физике представления об электрических и магнитных полях как самостоятельных сущностях не соответствует истине. В действительности существует лишь одно поле – электромагнитное поле как особая форма материи.

ЭДС индукции в контуре равна отношению изменения магнитного потока через контур к малому промежутку времени, за который произошло это изменение, взятому с противоположным знаком:

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

ЭДС индукции в контуре равна скорости изменения во времени магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой с противоположным знаком. Этот закон называют законом электромагнитной индукции или законом Фарадея [26].

Так же известно, что любое изменение магнитного потока, проходящего через замкнутый проводящий контур, создается в нем электрическое напряжение.

$$U(t) = -\frac{d\Phi}{dt}(t).$$

А интеграл напряжения по времени, т.е. импульс напряжения

$$\int_{t_1}^{t_2} U(t)dt = \Phi(t_1) - \Phi(t_2),$$

Соответствует разности между значениями магнитного потока в начале и в конце наблюдаемого процесса [10].

Э. Х. Ленц установил важный закон, позволяющий определить направление индукционного тока. В сжатой форме закон Ленца можно выразить так: индукционный ток во всех случаях направлен таким образом, что его действие противоположно действию причины, вызвавшей этот ток. Он применим и к случаям, когда проводники неподвижны, а изменяется магнитное поле (сила тока) [17].

Явление электромагнитной индукции наблюдается во всех случаях, когда изменяется магнитный поток, пронизывающий контур. В частности, этот поток может создаваться током, текущим в самом рассматриваемом контуре. Поэтому при всяком изменении силы тока в каком-либо контуре в нем возникает ЭДС индукции, которая вызывает дополнительный ток в контуре. Это явление называется самоиндукцией, а дополнительные токи, вызываемые ЭДС самоиндукции, - экстратоками самоиндукции [10].

Магнитный поток через контур прямо пропорционален силе тока в контуре:

$$\Phi = LI .$$

Физическая величина, равная отношению магнитного потока через контур к силе тока в контуре, называется индуктивностью этого контура:

$$L = \frac{\Phi}{I} .$$

Применяя к явлению самоиндукции основной закон электромагнитной индукции, мы получаем для ЭДС самоиндукции выражение

$$\mathcal{E}_L = -\Phi'(t) = -(LI(t))' = -LI'(t).$$

ЭДС самоиндукции пропорциональна производной тока по времени, т.е. быстроте изменения тока.

ЭДС самоиндукции при линейном законе убывания силы тока равна:

$$\mathcal{E}_L = \frac{LI}{\Delta t} .$$

Энергия магнитного поля, равна:

$$W_M = \frac{LI^2}{2}.$$

Свободные колебания могут возникать не только в механических системах, но и в электрических цепях. Для наблюдения свободных электромагнитных колебаний можно выполнить следующий опыт. Заряжают электрический конденсатор, отключают его обкладки от источника постоянного тока и соединяют их через гальванометр и резистор. При замыкании цепи стрелка гальванометра на короткое время отклонится в одну сторону, а затем возвратится к нулевому делению шкалы. Во время протекания тока в цепи происходит превращение энергии электрического поля конденсатора во внутреннюю энергию вещества резистора, нагреваемого электрическим током. Никаких колебаний в этом случае не наблюдается. Заменяют резистор проволочной катушкой с железным сердечником. Конденсатор и катушка при соединении в замкнутую электрическую цепь образуют электрический колебательный контур [29].

При отсутствии потерь на нагревание вещества и излучение электромагнитных волн максимальное значение энергии электрического поля конденсатора равно максимальному значению энергии магнитного поля катушки:

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}.$$

Собственная круговая частота контура определяется его параметрами – индуктивностью катушки и электроемкостью конденсатора

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}.$$

Период свободных электрических колебаний в контуре из катушки индуктивностью L и конденсатора электроемкостью C равен:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Данное уравнение, определяющее период свободных электрических колебаний в идеальном контуре, называется формулой Томсона [1].

Вынужденными электромагнитными колебаниями называют периодические изменения силы тока и напряжения в электрической цепи, происходящие под действием переменной ЭДС от внешнего источника.

Электрический ток, который с течением времени изменяется по величине и направлению или, в частном случае, изменяется по величине, сохраняя своё направление в электрической цепи неизменным, называют переменным током [11].

Для того чтобы формула для расчета мощности переменного тока совпадала по форме с аналогичной формулой для постоянного, вводятся понятия действующих значений силы тока и напряжения.

Действующим значением силы тока переменного электрического тока называют величину, в $\sqrt{2}$ раза меньшую ее амплитудного значения:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Действующее значение переменного напряжения в $\sqrt{2}$ раза меньше его амплитудного значения:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

Средняя мощность переменного тока при совпадении фаз колебаний силы тока и напряжения равна произведению действующих значений силы тока и напряжения:

$$P = IU.$$

Активным сопротивлением называется физическая величина, определяемая отношением среднего значения мощности переменного тока, поглощаемой на участке электрической цепи, к квадрату действующего значения силы электрического тока на этом участке:

$$R = \frac{P}{I^2}.$$

Отношение амплитуды колебаний напряжения на катушке к амплитуде колебаний силы тока в ней называется индуктивным сопротивлением:

$$X_L = \frac{U_m}{I_m} = L\omega .$$

Отношение амплитуды колебаний напряжения на конденсаторе к амплитуде колебаний силы тока называют емкостным сопротивлением конденсатора:

$$X_C = \frac{U_m}{I_m} = \frac{1}{L\omega} .$$

Емкостное сопротивление конденсатора, как и индуктивное сопротивление катушки, не является величиной постоянной. Оно обратно пропорционально частоте переменного тока. Поэтому амплитуда колебаний силы тока в цепи конденсатора при постоянной амплитуде колебаний напряжения на конденсаторе возрастает прямо пропорционально частоте [10].

Физическая величина Z , равная отношению амплитуды колебаний напряжения к амплитуде колебаний силы электрического тока, называется полным электрическим сопротивлением цепи переменному току:

$$Z = \frac{U_m}{I_m} .$$

Связь между амплитудами колебаний напряжения и силы тока в цепи переменного тока называется законом Ома для переменного тока

$$I_m = \frac{U_m}{Z} .$$

Полное электрическое сопротивление последовательной электрической цепи переменному току равно:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} .$$

Среднюю мощность переменного тока называют активной мощностью или просто мощностью переменного тока:

$$P = UI\cos\varphi,$$

где φ – сдвиг фазы между колебаниями силы электрического тока и напряжения. Величина $\cos\varphi$ называется коэффициентом мощности [5].

Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Лабораторная работа «Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока».

Цель работы: определить ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

Оборудование: источник постоянного тока, два резистора, датчик тока, датчик напряжения, соединительные провода, блок сбора данных, ноутбук, программное обеспечение для обработки данных LabVIEW.

Теоретическая часть:

Количественной мерой электрического тока служит сила тока I – скалярная физическая величина, равная отношению заряда Δq , переносимого через поперечное сечение проводника за интервал времени Δt , к этому интервалу времени:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Если сила тока и его направление не изменяются со временем, то такой ток называется постоянным [18].

Для существования постоянного тока необходимо наличие в электрической цепи устройства, способные создавать и поддерживать разности потенциалов на участках цепи за счет работы сил не электрического происхождения. Такие устройства называют источниками постоянного тока. Силы не электрического происхождения, действующие на свободные носители заряда со стороны источников тока, называют сторонними силами.

Физическая величина, равная отношению работы $A_{ст}$ сторонних сил при перемещении заряда q от отрицательного полюса источника тока к положительному к величине этого заряда, называется электродвижущей силой источника (ЭДС):

$$\text{ЭДС} = \varepsilon = \frac{A_{ст}}{q}$$

Таким образом, ЭДС определяется работой, совершаемой сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда. Электродвижущая сила, как и разность потенциалов, измеряется в вольтах (В) [12].

Согласно закону Ома для полной цепи ЭДС источника, его внутреннее сопротивление, сила тока в цепи и сопротивление внешней цепи связаны соотношением:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

Если к исследуемому источнику тока подключить поочередно два резистора с разными сопротивлениями, измеряя при этом силу тока в обоих случаях, можно записать два уравнения, из которых легко вычислить ЭДС и внутреннее сопротивление источника:

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + r} \text{ и } I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2 + r}$$

Решая совместно эти уравнения, получим:

$$I_1 * R_1 + I_1 * r = I_2 * R_2 + I_2 * r$$

$$r = \frac{I_2 * R_2 - I_1 * R_1}{I_1 - I_2}$$

$$\mathcal{E} = I_1 * (R_1 + r) \text{ или } \mathcal{E} = I_n * (R_n + r)$$

Методика измерений:

Измерим ток в цепи I_1 для внешнего сопротивление R , равного R_1 , и I_2 для внешнего сопротивление R , равного $R_1 + R_2$. Рассчитываем внутреннее сопротивление источника и его ЭДС. Измерим напрямую ЭДС источника тока (рис. 13).

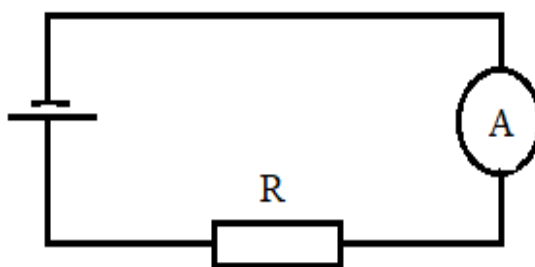


Рис. 13.

Повторим измерения тока при внешнем сопротивлении $R_2=33$ Ом и внешнем сопротивлении $R = R_1 + R_2$. Рассчитаем внутреннее сопротивление и ЭДС для второго случая. Найдем среднее значения и оценим точность измерений.

Общий вид установки представлен на рис. 14.



Рис. 14. Общий вид установки.

Ход работы:

1. Соберите электрическую цепь с резистором R (равным R_1) по схеме, представленной на рис. 15.

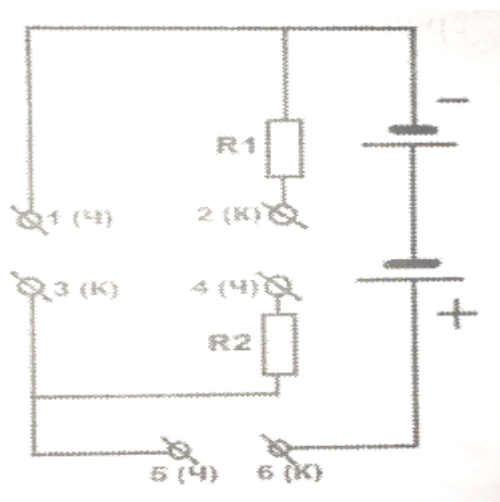


Рис. 15.

Для этого соедините вместе клеммы 2(К) и 3(К), к клеммам 5(Ч) и 6(К) присоедините измеритель тока (амперметр), соблюдая полярность, к клеммам 5(Ч) и 6(К). В этом случае внешнее сопротивление будет равно $R_1=27$ Ом.

2. Измерьте силу тока I_1 .
3. Рассоедините клеммы 2(К) и 3(К). Соедините клеммы 2(К) и 4(Ч), в этом случае внешнее сопротивление будет равно $R_1 + R_2 = 27$ Ом + 33 Ом = 60 Ом.
4. Измерьте новую силу тока I_2 .
5. Вычислите внутреннее сопротивление источника тока и его ЭДС.
6. Отключите от источника тока измеритель тока (амперметр), рассоедините клеммы 2(К) и 4(Ч).
7. Подключите к источнику тока измеритель напряжения (вольтметр), точки 1(Ч) и 6(К). Измерьте ЭДС источника.
8. Повторите все измерения, используя вместо сопротивления R_1 сопротивление R_2 . Рассчитайте внутреннее сопротивление и ЭДС во втором случае. Измерьте ЭДС для второго эксперимента.
9. Заполните отчетную таблицу 1 для двух экспериментов, определите среднее внутреннее сопротивление и среднюю ЭДС.

Таблица 1.

№	I_1, A	I_2, A	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$r_1,$ Ом	ЭДС, В	ЭДС _{из} , В	$\Delta r,$ Ом	$\Delta ЭДС$, В
1	0,1117	0,0522	27	60	1,95	3,234	3,2	0,53	0,034
2	0,0938	0,0522	33	60	0,88	3,175	3,2	0,54	0,025
3	Среднее				1,42	3,205	3,2	0,535	0,0295

Дополнительное задание:

1. Сделай вывод, согласуются ли между собой результаты вычисления ЭДС источника тока и результаты прямых измерений на выходе источника.
2. Оцените границы погрешности измерений.

2.2. Лабораторная работа «Построение вольт-амперной характеристики лампы накаливания, исследование зависимости температуры вольфрамовой нити от напряжения на лампе».

Цель работы: определить зависимость тока в лампе накаливания от напряжения на её зажимах. Исследовать зависимость температуры вольфрамовой нити от напряжения на её зажимах.

Оборудование: регулируемый источник постоянного напряжения GPA-30H 100, лампа накаливания мощностью 60 Вт с патроном, соединительные провода, ноутбук, программное обеспечение для обработки данных LabVIEW.

Теоретическая часть:

Работа электрического тока, совершаемая на однородном участке электрической цепи, равна

$$A = U * I * t,$$

где U -напряжение на участке цепи; I - сила тока, протекающего по цепи; t - время протекания.

Это соотношение выражает закон сохранения энергии участка цепи. Работа ΔA электрического тока I , протекающего по неподвижному проводнику с сопротивлением R , преобразуется в тепло ΔQ , выделяющееся на проводнике:

$$\Delta Q = \Delta A = R * I^2 * \Delta t$$

Закон преобразования работы тока в тепло был экспериментально установлен независимо друг от друга Джемсом Джоулем и Эмилием Ленцем и носит название «закон Джоуля-Ленца» [32].

Мощность электрического тока равна отношению работы тока ΔA к интервалу времени Δt , за которое эта работа была совершена:

$$P = \frac{\Delta A}{\Delta t} = U * I = I^2 * R = \frac{U^2}{R}$$

Работа электрического тока в СИ выражается в джоулях (Дж), мощность – в ваттах (Вт).

Проволочную спираль лампы накаливания можно рассматривать как резистор с определенным сопротивлением.

Электрический ток в металлах – это упорядоченное (направленное) движение свободных электронов под действием электрического поля. Опыты показывают, что при протекании тока по металлическому проводнику переноса вещества не происходит, следовательно, ионы металла не принимают участия в переносе электрического заряда [18].

Сопротивление спирали лампы вычисляют на основании закона Ома для однородного участка цепи:

$$R = \frac{U}{I}$$

Увеличение внутренней энергии спирали лампы приводит к повышению её температуры и сопротивления. Зависимость сопротивления проводника от температуры имеет вид:

$$R = R_0 * (1 + \alpha * T)$$

где R_0 - сопротивление проводника при 0 °С (будем считать его близким к R при 20°С); α - температурный коэффициент сопротивления материала, из которого изготовлен проводник. (Спираль лампы накаливания изготовлена из вольфрама, его $\alpha=0,0048\text{K}^{-1}$).

Зная сопротивление «нагретого» и «холодного» проводника, а также температурный коэффициент сопротивления материала, из которого он изготовлен, можно определить температуру проводника:

$$T = \frac{R - R_0}{\alpha * R_0}$$

Методика измерений:

Общий вид экспериментальной установки показан на рис. 16.

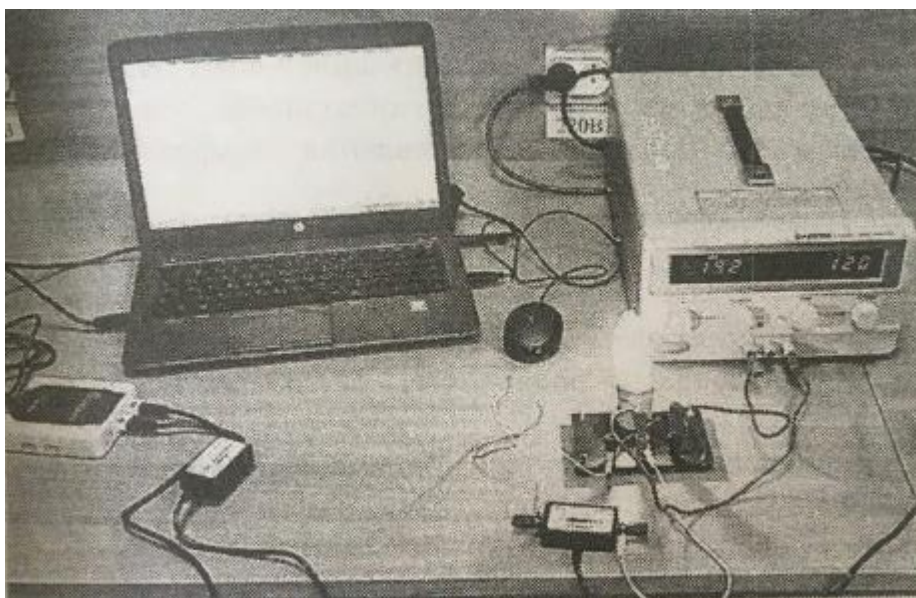


Рис. 16. Общий вид установки.

Принципиальная схема приведена на рис. 17.

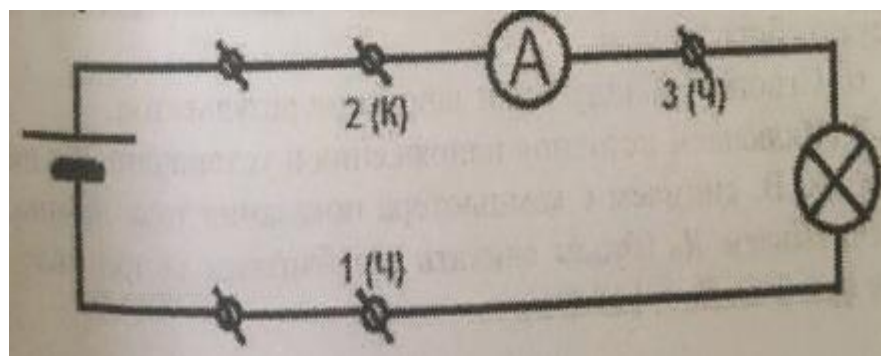


Рис. 17.

К входным гнездам источника постоянного напряжения подключаем электрическую цепь, составленную из соединенных последовательно лампы накаливания и измерителя тока (амперметра). Напряжение в цепи задается регуляторами «точно» и «грубо» (справа на передней панели прибора), а контроль и установку напряжения ведем с помощью цифрового табло источника напряжения (справа).

Измерения проводим следующим образом: выставляем регулятором «грубо» примерное напряжение на выходе источника и регулятором «точно» выставляем нужное напряжение. Снимаем показания тока с экрана ноутбука и заносим в таблицу 1 (перед фиксацией тока делаем временную выдержку 1-2 минуты, необходимую для нагрева спирали и установления сопротивления вольфрамовой нити лампы).

Ход работы:

1. Собираем электрическую схему измерения (согласно рис. 17), соблюдая полярность, подключаем измеритель тока.
2. Соединяем измеритель тока с блоком сбора данных Sensor DAQ и с ноутбуком.
3. Включаем ноутбук и запускаем программу LabVIEW.
4. Устанавливаем модули: сбора данных, вывода числовых данных (тока).
5. Подключаем режимы вывода числовых данных к модулю сбора данных.
6. Строим Таблицу 2 для занесения результатов.

7. Включаем источник напряжения и устанавливаем на табло 10 В, снимаем с ноутбука показания ток лампы, рассчитываем R_0 (будем считать его близким сопротивлению при 0 °С, $R_0=140$ Ом).
8. Последовательно устанавливаем на источнике тока необходимые напряжения (см. таблицу 2) и фиксируем значения тока. Рассчитываем мощность лампы, сопротивление и температуру нити и заносим данные в таблицу 2.
9. Строим вольт-амперную характеристику проводника из вольфрама в координатах $I(U)$ и температурную зависимость вольфрама в координатах $T(U)$.
10. Делаем выводы из расчетов, таблицы и графика.

Таблица 2

№	U, В	I, А	P, Вт	R, Ом	T, °С
1	10	0,0641	0,64	156,0	24,0
2	20	0,0840	1,68	238,1	146,0
3	40	0,1106	4,42	361,7	330,0
4	60	0,1341	8,05	447,4	457,4
5	80	0,1546	12,37	517,5	561,8
6	100	0,1736	17,36	576,0	648,8
7	120	0,1915	22,98	626,6	724,1
8	140	0,2085	29,19	671,5	790,9
9	160	0,2233	35,73	716,5	857,9
10	180	0,2378	42,80	756,9	918,0
11	200	0,2522	50,44	793,0	971,7
12	220	0,2652	58,34	829,6	1026,2

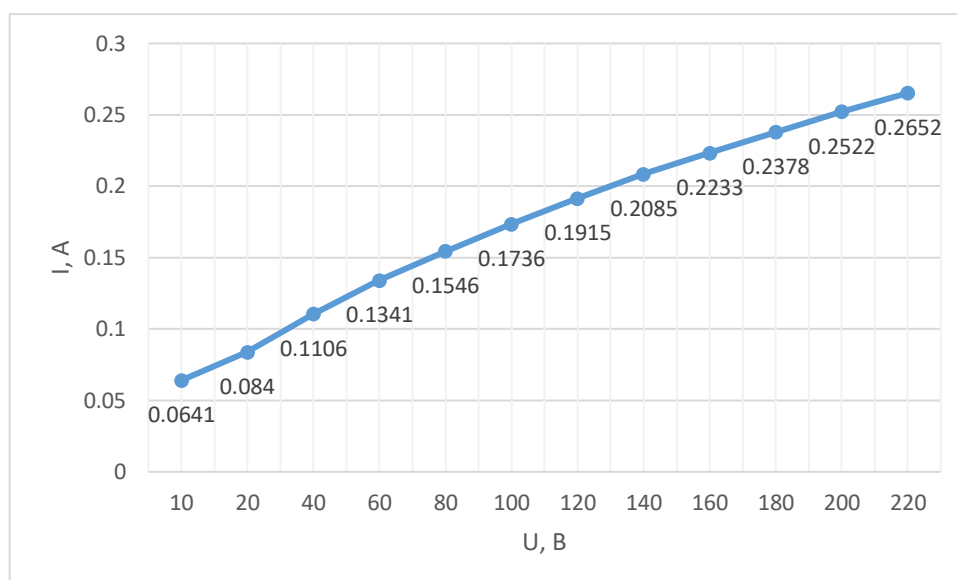


Рис. 18. Вольт-амперная характеристика лампы накаливания.

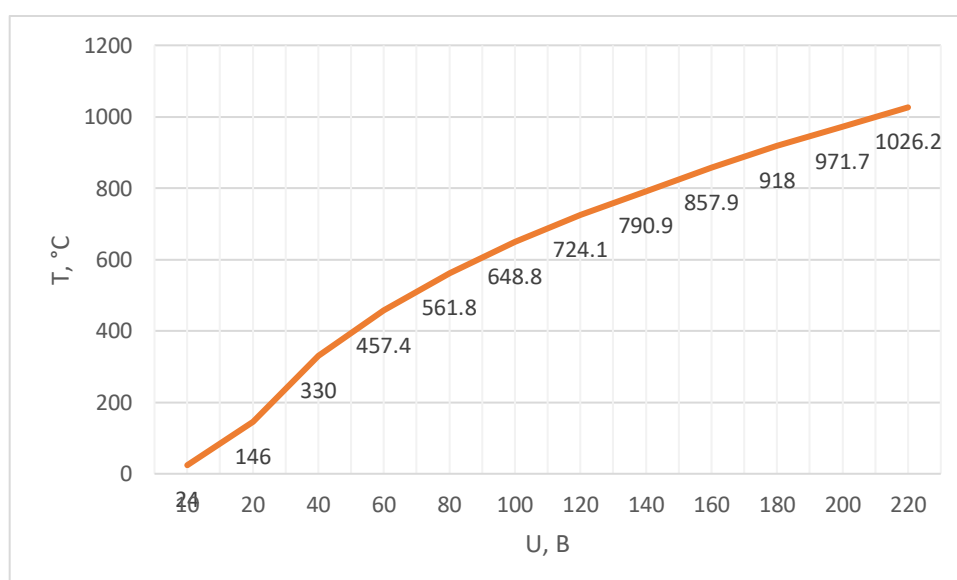


Рис. 19. Зависимость температуры вольфрамовой нити от напряжения.

Дополнительное задание:

1. Считая сопротивление $R_0=110$ Ом, вычислите температуру вольфрамовой нити.
2. Постройте график зависимости сопротивления от температуры нити лампы, проведите анализ полученной кривой, сделайте вывод.
3. Определите, соответствует ли номинальная мощность ее действительному значению.
4. Определите погрешность в определении номинальной мощности лампы накаливания.

5. Как вы считаете, является ли температура нити лампы оптимальной?

2.3. Лабораторная работа «Измерение магнитного поля катушки с током».

Цель работы: исследовать магнитное поле катушки, выявить зависимость индукции магнитного поля от количества витков катушки, а также от тока, проходящего по катушке.

Оборудование: прямоугольная рамка, датчик силы тока, переключатель, датчик магнитного поля, источник питания, магнитный компас, моток изолированного провод (минимум 12 м), блок сбора данных, ноутбук, программное обеспечение для обработки данных LabVIEW.

Теоретическая часть:

В начале XIX в. датский ученый Эрстед сделал важное открытие, обнаружив действие электрического тока на постоянные магниты. Он поместил длинный провод вблизи магнитной стрелки. При пропускании по проводу тока стрелка поворачивалась, стремясь расположиться перпендикулярно ему. Это можно было объяснить возникновением вокруг проводника магнитного поля [19].

Магнитное поле – это особый вид материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися заряженными частицами.

Силовой характеристикой магнитного поля служит магнитная индукция B , и чем она больше, тем сильнее магнитное поле.

Опытным путем было установлено, что на проводник с током в магнитном поле действует сила. В однородном поле прямолинейный

проводник длиной l , по которому течет ток, расположенный перпендикулярно вектору поля B , испытывает действие силы:

$$F = IlB.$$

Представленное выше уравнение позволяет дать количественную характеристику индукции магнитного поля:

$$B = \frac{F}{I * l}.$$

Модуль вектора магнитной индукции численно равен силе, действующей на расположенный перпендикулярно к нему проводник единичной длины, по которому течет ток силой один ампер [14].

Внутри катушки магнитное поле будет однородное, как в постоянном магните. Снаружи магнитные линии поля катушки с током можно обнаружить с помощью мелких металлических опилок. Линии магнитного поля замкнуты. По аналогии с магнитной стрелкой компаса, катушка с током имеет два полюса — южный и северный. Силовые линии выходят из северного полюса и заканчиваются в южном.

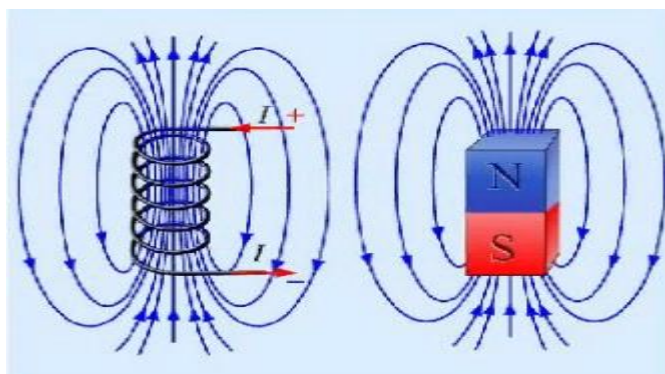


Рис. 20. Магнитное поле катушки и постоянного магнита.

В катушке с током запасается энергия от источника электропитания, которая тем больше, чем больше ток и величина, которая называется

индуктивностью. Энергия магнитного поля катушки с током W вычисляется с помощью формулы [26]:

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

Методика измерений:

В первой части эксперимента предстоит определить зависимость индукции магнитного поля в середине катушки от силы тока, проходящего по катушке. Во второй части эксперимента нужно определить зависимость магнитного поля в середине катушки от количества витков катушки.

Подключите датчик магнитного поля к каналу 1 интерфейса. Установите переключатель датчика на 0,3 мТл (высокое усиление).

Намотайте десять витков провода на рамку, чтобы получилась катушка. Подсоедините катушку, переключатель, датчик силы тока (амперметр) и источник питания, как показано на рисунке 21.

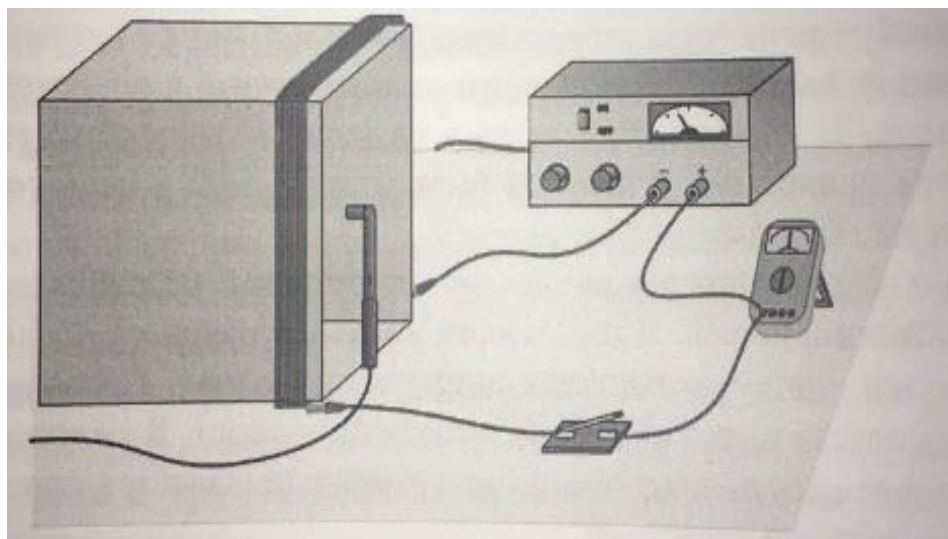


Рис.21.

Ход работы:

1. Установите ток источника питания таким образом, чтобы в момент замыкания цепи он составлял 3 А.

2. Расположите датчик магнитного поля в вертикальном положении так, чтобы его рабочий конец находился в середине катушки. Замкните цепь и поверните датчик вокруг вертикальной оси, следите за показаниями магнитного поля. Определите, в каком положении значение магнитного поля было наибольшим. Рабочий конец датчика должен находиться в одной плоскости с катушкой. На протяжении оставшегося времени держите датчик в том же положении.
3. Сначала, когда ток отсутствует, следует обнулить показания датчика, то есть исключить воздействие магнитного поля Земли и других предметов. Нажмите *Zero*, когда цепь еще не замкнута.
4. Нажмите *Collect* для начала сбора данных. Подождите несколько секунд, замкните цепь и держите переключатель в таком положении, пока сбор данных не будет завершен.
5. Определите среднее значение индукции магнитного поля в момент, когда ток проходил по проводам, нажав *Statistics*. Запишите среднее значение индукции магнитного поля и тока в катушке в таблицу данных 3.
6. Замкните цепь на короткий промежуток времени и уменьшите ток на 0,5 А, затем повторите шаги 4 и 5.
7. Повторяйте шаг 6 до тех пор, пока значение тока не станет равным 0,5 А.
8. Постройте график зависимости индукции магнитного поля от силы тока в катушке. Используйте программу *Logger Pro* либо другое графическое устройство.
9. Приступая ко второму этапу эксперимента, следует сначала обнулить показания датчика. Проведите шаг 3.
10. Установите ток источника питания на 3 А. Нажмите кнопку *Collect*. Подождите несколько секунд, замкните цепь и держите переключатель

в таком положении около 10 секунд, пока сбор данных не будет завершен.

11. Повторите шаг 5, вместо силы тока зафиксируйте количество витков катушки (10).
12. Снимите один виток и повторите шаги 10-11. Если при этом положение датчика было изменено, верните его в положение, в котором он находился в первой части эксперимента.
13. Повторяйте шаг 12 до тех пор, пока на катушке не останется один виток. Значение тока остаётся прежним – 3 А.
14. Постройте график зависимости индукции магнитного поля от количества витков катушки.
15. Делаем выводы исходя из таблицы и полученных графиков.

Таблица 3.

<i>I, А</i>	<i>B, мТл</i>
3,0	0,068
2,5	0,056
2,0	0,043
1,5	0,031
1,0	0,016
0,5	0,004
Количество витков	
10	0,0731
9	0,0671
8	0,0599
7	0,0552
6	0,0443
5	0,0383
4	0,0299
3	0,0213
2	0,0115
1	0,0087

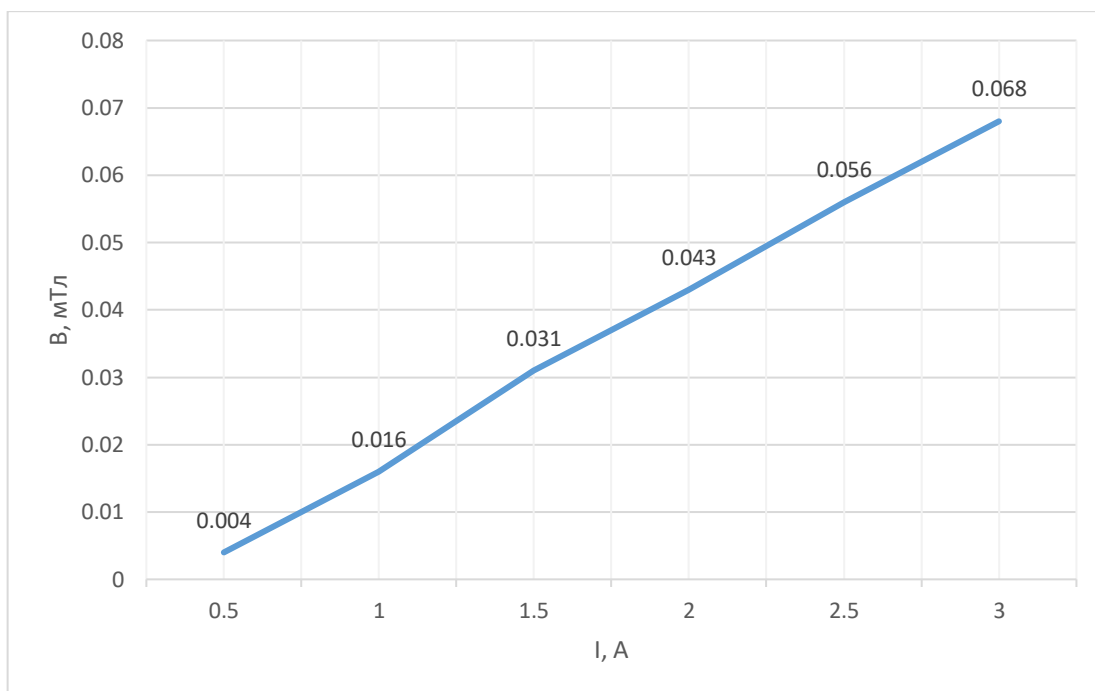


Рис. 22. Зависимость индукции магнитного поля катушки от силы тока.

По мере увеличения тока через катушку индукция магнитного поля увеличивается линейно.

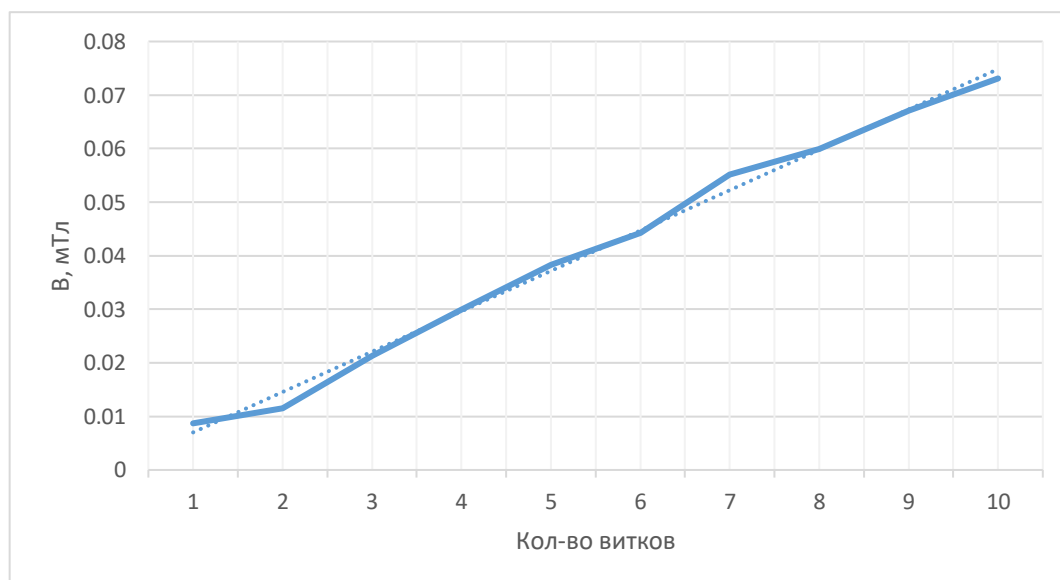


Рис. 23. Зависимость индукции магнитного поля катушки от количества витков катушки.

Индукция магнитного поля увеличивается пропорционально числу витков катушки

Дополнительное задание:

1. Какие взаимодействия называются магнитными?
2. Как ориентируются в однородном магнитном поле замкнутый контур с током, и магнитная стрелка?
3. Как определяется модуль вектора магнитной индукции?
4. Каким способом, имея данную установку, можно узнать зависимость индукции магнитного поля от диаметра витков катушки?

2.4. Лабораторная работа «Изучение законов зарядки и разрядки конденсатора».

Цель работы: определить постоянную времени цепи, состоящей из резистора и конденсатора и сравнить её с предполагаемым значением, полученным на основании значений сопротивления и емкости, измерить напряжение на обкладках конденсатора как функцию времени в процессе его зарядки и разрядки.

Оборудование: неполярный конденсатор емкостью 10мкФ, резисторы на 100 кОм и 47 кОм, датчик напряжения дифференциального типа, однополюсной переключатель на два направления, батарейка на 9 В с зажимами, соединительные провода, ноутбук, интерфейс сбора данных LabQuest.

Теоретическая часть:

Заряд q пластины конденсатора пропорционален разности потенциалов U между пластинами конденсатора, или

$$U = \frac{q}{C},$$

Где C – коэффициент пропорциональности, известный как электрическая емкость [11].

Если конденсатор, имеющий электрическую емкость C (в фарадах) и заряженный до разности потенциалов U_0 (в Омах), ток разряда не будет течь в соответствии с законом Ома. Это можно проследить и на приведенной ниже схеме (рис. 24), состоящей из последовательно соединенных резистора и конденсатора.

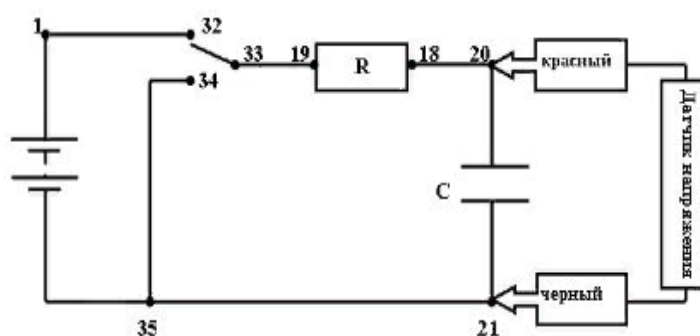


Рис. 24.

При прохождении через резистор электрического тока заряд конденсатора уменьшается, уменьшая тем самым напряжение между обкладками конденсатора, следовательно, и ток. Процесс разрядки конденсатора имеет экспоненциальный характер:

$$U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}.$$

Скорость уменьшения тока зависит от произведения RC – постоянной времени. Большее значение постоянной времени указывает на то, что конденсатор будет заряжаться довольно долго.

Если конденсатор заряжен, напряжение на нем при разрядке уменьшается экспоненциально:

$$U(t) = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right).$$

Одна и та же постоянная времени цепи, состоящей из резистора и конденсатора, показывает, как скорость заряда, так и скорость разряда [10].

Ход работы:

1. Соберите схему, как показано на рис. 24, используйте конденсатор емкостью 10 мкФ и резистор 100 кОм. Занесите данные о конденсаторе и резисторе в таблицу 4.
2. Подключите датчик напряжения к LabQuest и конденсатору, при этом красная (положительная) клемма должна быть подсоединена к конденсатору со стороны резистора. Черную клемму подсоедините с другой стороны конденсатора.
3. Время заряда конденсатора составляет примерно 30 секунд, при этом переключатель должен находиться в положении, изображенном на рис. 24. Значения напряжения отображаются внизу экрана, что позволяет контролировать его изменения на обкладках конденсатора. Дождитесь, пока напряжение станет постоянным.
4. Нажмите *Collect* для начала сбора данных. Как только начнется процесс построения графика, установите переключатель в положение, при котором начнет разряжаться. Сначала значения будут постоянными, а затем начнут уменьшаться.
5. Чтобы сравнить полученные вами данные с моделью, выберите только значения, полученные после уменьшения напряжения. Для этого проведите курсором по графику, пропустив участки графика, где значения напряжения оставались постоянными. Нажмите *Curve Fit* (подбор кривой) и в окне выбора функции выберите *Natural Exponent function* (стандартная экспоненциальная функция):

$$A * \exp(-Ct) + B.$$

Затем нажмите *OK*, чтобы вернуться в окно основного графика.

6. Запишите параметры в таблицу 4. Следует отметить, что параметр C , используемый при подборе кривой, и коэффициент пропорциональности C – это не одно и то же. Сравните уравнение подбора с математической моделью разряда конденсатора:

$$U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}.$$

Какое отношение имеет константа подбора C к постоянной времени цепи?

7. Перерисуйте график изменения напряжения на обкладках конденсатора от времени в нашу тетрадь. Сохраните файл с полученными результатами.
8. Теперь конденсатор разряжен. Для того чтобы проследить за процессом зарядки, нажмите *Collect*. Как только сбор данных начнется, установите переключатель в обратное положение. Проведите сбор данных.
9. Затем запишите параметры в таблицу 4 и сравните полученные данные с математической моделью заряда конденсатора:

$$U(t) = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right).$$

Для этого выберите данные, полученные после того, как напряжение начало увеличиваться, проведя курсором по графику. Нажмите *Curve Fit* (подбор кривой) и в окне выбора функции выберите *Inverse Exponent function* (обратная экспоненциальная функция):

$$A * (1 - \exp(-Ct)) + B.$$

Затем нажмите *OK*, чтобы вернуться в окно основного графика.

10. Перерисуйте график изменения напряжения на обкладках конденсатора от времени в нашу тетрадь. Сохраните файл с полученными результатами.

11. Повторите эксперимент с резистором меньшего сопротивления. Соберите цепь с резистором сопротивлением 47 кОм и повторите шаги 4 -10.
12. На основании данных таблицы рассчитайте постоянную времени цепи. Занесите полученный ответ в таблицу 4.
13. Рассчитайте и запишите в таблицу данных величину, обратную постоянной константе C по каждому эксперименту. Затем сравните значения с постоянной времени. Как можно охарактеризовать параметр A ?

Таблица 4.

Эксперимент	Параметры константы				Резистор R (Ом)	Конденсатор C (Ф)	Константа времени RC (с)
	A	B	C	1/C			
Разрядка 1	3,887	-0,027	0,91	1,099	$100 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^{-6}$	1,0
Зарядка 1	5,241	-2,409	0,91	1,099	$100 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^{-6}$	1,0
Разрядка 2	8,30	0,006	2,01	0,498	$47 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^{-6}$	0,47
Зарядка 2	11,2	-8,35	1,95	0,513	$47 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^{-6}$	0,47

Экспонентой в уравнении подбора выступает $-C t$, а в математической модели она выражена $-(1/RC)$; следовательно, подобранная константа C должна обозначаться $1/RC$, или величиной, обратной постоянной времени.

Величина, обратная подобранному параметру C примерно равна постоянной времени. Параметр подбора A соответствует напряжению на обкладках конденсатора при $t=0$.

Дополнительное задание:

1. Как отразилось уменьшение сопротивления резистора на разрядке конденсатора?

2. Используйте другие резисторы и конденсаторы и проанализируйте, как изменяется кривая разрядки конденсатора.
3. Подключите два конденсатора емкостью 10 мкФ последовательно. Попробуйте предугадать, как изменится постоянная времени. Повторите процедуру определения параметром разрядки и определите постоянную времени новой цепи, подобрав кривую.

2.5. Лабораторная работа «Закон Фарадея. Влияние изменения магнитного потока движущегося магнита».

Цель работы: исследовать влияние изменения потока, вызванного изменением магнитного поля, на поведение подвижных носителей заряда в проводящем контуре.

Оборудование: датчик магнитного поля, датчик напряжения, катушка-моток, полосовой магнит, трубка из ПВХ, держатель для трубки, штатив, линейка, ноутбук, интерфейс сбора данных LabQuest.

Теоретическая часть:

Как известно, поток магнитной индукции в замкнутом контуре является произведением вектора магнитной индукции \vec{B} на вектор площади \vec{S} . По модулю $\Phi = B * S * \cos\alpha$. Так же известно, что любое изменение магнитного потока, проходящего через замкнутый проводящий контур, создается в нем электрическое напряжение.

$$U(t) = -\frac{d\Phi}{dt}(t).$$

А интеграл напряжения по времени, т.е. импульс напряжения

$$\int_{t_1}^{t_2} U(t)dt = \Phi(t_1) - \Phi(t_2),$$

Соответствует разности между значениями магнитного потока в начале и в конце наблюдаемого процесса [10].

Ход работы:

1. Подключить датчик магнитного поля к LabQuest и запустите устройство;
2. Измерьте магнитную индукцию у северного полюса магнита;
3. Определите радиус катушки мотка и рассчитайте значение потока вектора магнитной индукции северного полюса магнита через катушку;
4. Соберите установку из трубки ПВХ, держателя и штатива (рис. 25). Установите катушку-маток так, чтобы она установилась на держателе;

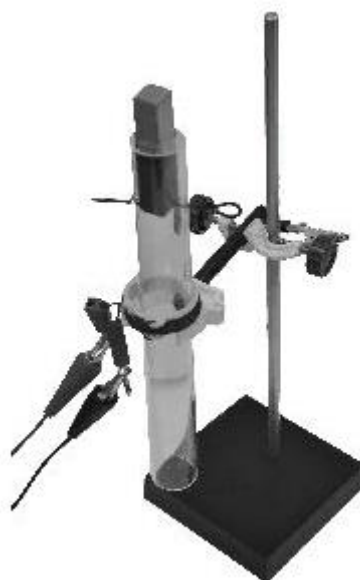


Рис. 25.

5. Отключите датчик магнитного поля и подключите датчик напряжения к LabQuest. Измените продолжительность сбора данных до 5 с, а частоту сбора данных – до 500Гц, после чего обнулите датчик;
6. Установите трубку вертикально. Запустите сбор данных, нажав кнопку *Collect*, подождите секунду и затем отпустите магнит. Сохраните сеанс регистрации.
7. Наклоните трубку под небольшим углом. Визуально убедитесь, что магнит движется по трубке плавно. Затем снова запустите сбор данных,

подложите секунду и после этого опустите магнит. Так же сохраните сеанс регистрации.

8. Увеличьте угол наклона трубки на некоторую величину и повторите шаг 7, однако подождите немного дольше перед тем, как отпустить магнит. Это гарантирует, что графики от циклов регистрации не перекроются, когда вы наблюдаете их всех сразу. Сохраните сеанс регистрации.
9. Для первого измерения выделите участок, который показывает изменение напряжения при прохождении магнита через катушку и при удалении от нее. Увеличьте этот участок графика, выбрав *Увеличить* из меню *График*.
10. Выберите первую часть кривой, когда магнит приближается к катушке, но еще не произошло резкой смены знака напряжения. Войдите в меню Анализ и выберите Интеграл для определения значения площади под этой частью кривой. Сравните величины этих площадей.
11. Повторите шаг 12 для других ваших измерений. Зависит ли площадь под каждым участком кривой от скорости, с которой магнит проходит через катушку?
12. Сравните значения потока, рассчитанного с помощью формулы:

$$\Phi = B * S * \cos\alpha$$

И полученного в результате интегрирования. Объясните их различие.

Дополнительное задание:

1. Изучите графики зависимости напряжения от времени для всех ваших сеансов. Чем эти графики схожи и чем они различаются?
2. Закон Ленца, который является частью закона Фарадея, гласит о том, что, направление ЭДС, индуцируемое в катушке, всегда порождает ток, магнитное поле которого противодействует изменению магнитного потока, породившего ЭДС. Изучите график любого из ваших сеансов.

Предскажите, что должно случиться с формой графика, если вы перевернете магнит, после чего сделайте это.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной мной работы, выполнена актуальная на сегодняшний день методическая задача в обучении физике, в учебном процессе применены различные средства учебного физического эксперимента.

В школьную программу 10-11 классов Школы № 24, г. Сочи введена экспериментальная деятельность с использованием нового современного оборудования от компании Vernier. Работы физического практикума проводятся на уровне, соответствующем запросам современных физических исследований.

В результате выполненной мной работы цель достигнута: раскрыты основные особенности в устройстве современных датчиков и организован физический практикум для учащихся старших классов с их применением, а именно с использованием программно-аппаратного комплекса Vernier.

В ходе работы выполнены следующие задачи исследования:

- изучена методическая литература по применению современных датчиков в обучении физике;
- описаны датчики программно-аппаратного комплекса Vernier и выявлены их преимущества;
- разработан лабораторный практикум по электродинамике с использованием датчиков Vernier в измерениях физических величин.

Актуальность темы моего исследования подтверждается высокой востребованностью разработанного мною практикума в старших классах школы № 24 и высоким интересом школьников, на которых проводилась апробация практикума, к физическому эксперименту и к возрастанию интереса к информационным технологиям. Введение в школьный курс физики комплексного лабораторного практикума с использованием

современных датчиков привело к улучшению понимания изучаемого материала, повысило познавательный интерес учащихся к физике, как к науке в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анциферов, Л.И. Физика. 11 кл. М.: Мнемозина, 2001. 383 с.
2. Арсланбеков, А. М. Совершенствование учебного физического эксперимента по разделу "Электродинамика": дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02: утв. 03. 07. 85. М., 1984. 217 с.
3. Бейзер А. Основные представления современной физики. М.: Атомиздат. 1973. 548 с.
4. Бутиков Е. И., Кондратьев А. С. Электродинамика. Оптика. М.: Физматлит. 2004. 336с.
5. Глазунов А. Т., Пинский А. А. Физика. 11 класс. М.: Просвещение, 2011. 416 с.
6. Генденштейн, Л.Э. Физика-10. М.: Илекса, 2004. 256 с.
7. Загидуллин Р. Ш. LabView в исследованиях и разработках. М.: Горячая линия-Телеком. 2005. 352 с.
8. Знаменский П. А. Лабораторные занятия по физике в средней школе. Ленинград: Государственное Учебно-педагогическое издательство Министерства просвещения РСФСР. 1955. 324 с.
9. Инфоурок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://infourok.ru/organizaciya-proektnoy-i-issledovatel'skoy-deyatelnosti-uchaschihsya-s-ispolzovaniem-datchikov-vernier-2863152.html> свободный. – (дата обращения: 25.04.2020).
10. Калашников, С.Г. Электричество. М.: ФИЗМАЛИТ, 2003. 624 с.
11. Кабардин О. Ф. Физика. М.: Просвещение. 1991. 367 с.
12. Кабардин О. Ф., Пинский А. А. Физика. 10 класс. М.: Просвещение, 2011. 424 с.
13. Касьянов В.А. Физика. 10 класс. М.: Дрофа, 2003. 416 с.
14. Кочергина Н.В. Технология обучения решению физических задач в условиях современной информационной среды // Мир науки, культуры, образования. 2017. № 5. С. 167 – 171.

15. Лозовенко С. В. Лабораторный практикум по физике с применением цифровой лаборатории Vernier. М.: Илекса, 2018. 135 с.
16. Мякишев Г.Я., Буховцев Б. Б. М.: Просвещение, 2004. 336 с.
17. Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б., Чаругин В. М. Физика 11 класс. М.: Просвещение, 2010. 399 с.
18. Перышкин А. В. Физика 8 класс. М.: Дрофа, 2013. 237 с.
19. Перышкин А. В., Гутник Е. М. Физика 9 класс. М.: Дрофа, 2014. 319 с.
20. Петрова М. А. Многообразие датчиковых систем для компьютеризованного физического эксперимента. Информационные компьютерные технологии в образовании // Вестник ПГПУ. 2009. № 5. С. 146 – 158.
21. Петрова М. А. Перспективы использования компьютеризированного эксперимента в общеобразовательной школе // «Информационные технологии в образовании»: материалы. 2008. С. 26 – 29.
22. Петрова М. А. Применение цифровых лабораторий в учебном физическом эксперименте в общеобразовательной школе. М.: 2008. 268с.
23. Покровский А. А. Физический эксперимент в школе: Электроника, полупроводники, автоматика. М.: Просвещение. 1964. 240 с.
24. Практикум по физике в средней школе / Л. И. Анциферов [и др.]. М.: Просвещение. 1987. 191 с.
25. Пурьшева Н. С. Фундаментальные эксперименты в физической науке. М.: Бином. 2005. 159с.
26. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Электричество. М.: Наука, 1977. 704 с.
27. Ситимедиа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sitimedia.ru/cifrovye_laboratorii свободный. – (дата обращения: 13.03.2020).

28. Физический практикум с использованием датчиков Vernier и технологий National Instruments / А. С. Чиганов, С. В. Бортновский, С. В. Латынцев, Н. В. Прокопьева. Красноярск: Изд-во КГПУ им. В. П. Астафьева, 2019. 78 с.
29. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики / Ю. И. Дик [и др.]. М.: Просвещение. 1993. 203 с.
30. Чудинский Р. М. К вопросу о компьютеризации учебного эксперимента // Наука и образование. 2006. № 6. С. 69 – 71.
31. Шаповалов А. А., Суранов А. Я. Физика с Vernier. М.: ПКГ Развитие образовательных систем, 2011. 338 с.
32. Шутов В. И., Сухов В. Г., Подлесный Д. В. Эксперимент в физике. М.: Физматлит. 2005. 184 с.
33. Шахмаев Н. М. Физический эксперимент в средней школе: Механика. Молекулярная физика. Электродинамика. М.: Просвещение. 1989. 255с.