

СОДЕРЖАНИЕ

ДОПУСК К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ	4
ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА ДЛЯ ДОПУСКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ ...	4
ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ К ЗАЧЕТУ	5
РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ. ОПТИКА	7
2_6. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ТОЧЕЧНЫХ ЗАРЯДОВ.....	7
2_2. ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА	15
2_7. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ	20
2_8. ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ФАРАДЕЯ.....	28
2_3. СВОБОДНЫЕ ЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ В RLC-КОНТУРЕ.....	33
2_4. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ.....	39

ДОПУСК К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Проводится преподавателем с персональным опросом каждого студента.
Для допуска:

- * каждый студент предварительно оформляет свой персональный отчет по данной лабораторной работе (см. соответствующие требования);
- * преподаватель проверяет оформление отчета у каждого студента и задает вопросы по теории, методике измерений, установке и обработке результатов;
- * студент отвечает на заданные вопросы (письменно в черновике отчета или устно);
- * преподаватель допускает студента к работе и ставит свою подпись в отчете студента (графа ДОПУСК в табличке на титульном листе).

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА ДЛЯ ДОПУСКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет для допуска к ЛР готовится заранее на двойных листах из школьной тетради в клетку (4-5 двойных листов в зависимости от почерка).

Первая страница (титульный лист):

Допуск	Измерения	Установка	Зачет

Лабораторная работа №__
Название:

Выполнил:
студент группы _____
ФИО _____
Дата выполнения: _____
Дата сдачи: _____

Следующие страницы:

<p>ЧЕРНОВИК</p> <p>(здесь и далее на этой стороне должны быть представлены все расчеты, включая расчетные формулы и подстановку числовых значений)</p>	<p><u>Цель работы:</u> (переписать полностью из описания).</p> <p><u>Краткая теория</u> (выписать основные формулы и пояснить каждый символ, входящий в формулу).</p> <p><u>Экспериментальная установка</u> (нарисовать чертеж и указать наименование элементов).</p> <p><u>Таблицы</u> (состав таблиц и их количество определяется в соответствии с методикой измерений и обработкой их результатов).</p> <p><u>Обработка результатов и оформление отчета</u> (переписать полностью из описания).</p>
---	--

Разделом "Вопросы и задания для самоконтроля" можно пользоваться для подготовки к допуску. Преподаватель может использовать для допуска все или часть данного материала. Он может также предъявлять свои требования по оформлению и при допуске задавать любые вопросы по своему усмотрению.

ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ К ЗАЧЕТУ

Полностью оформленная и подготовленная к зачету работа должна соответствовать следующим требованиям:

Должны быть выполнены все **пункты** раздела описания «Оформление отчета» (в черновике представлены все расчеты требуемых величин, заполнены чернилами (ручкой) все таблицы, построены все графики, сделаны выводы).

Графики должны удовлетворять всем требованиям, приведенным ниже.

Для всех величин **в таблицах** должна быть записана соответствующая **единица измерения**.

Выводы должны быть сделаны по каждому графику (см. ниже шаблон).

Количественный **результат** должен быть выписан в соответствии с установленной формой (см. ниже шаблон).

Если есть количественный результат выполнения работы, то надо записать соответствующие **выводы** (см. ниже шаблон).

Каждый преподаватель может предъявлять свои требования по оформлению отчета по лабораторной работе.

ГРАФИК (требования):

- размер не менее 1/2 тетрадного листа, на миллиметровке (листе в клетку);
- на графике: ОСИ декартовой системы, на концах осей – **СТРЕЛКИ**, **СИМВОЛЫ** характеристик и **ЕДИНИЦЫ** измерения;
- на каждой оси – **РАВНОМЕРНЫЙ МАСШТАБ** (РИСКИ через равные промежутки, ЧИСЛА через равное количество рисок);
- под (над) графиком – НАЗВАНИЕ графика **СЛОВАМИ** без сокращений;
- на графике – ярко изображаются экспериментальные и теоретические ТОЧКИ (без чисел), для разных линий разные символы на месте точек;
- ФОРМА графика соответствует **теоретической** зависимости (не ломаная).

ВЫВОД по ГРАФИКУ (шаблон):

Полученный экспериментально график зависимости _____ от _____
название функции словами
 _____ имеет вид (прямой; прямой, проходящей через начало координат;
название аргумента
 параболы; гиперболы; плавной кривой) и качественно совпадает с теоретической зависимостью между характеристиками, имеющей вид _____.
формула

РЕЗУЛЬТАТ: В результате измерений (и расчетов) получено значение _____,
название физической характеристики равное _____ = (_____ ± _____) · 10^{_____} .
символ среднее ошибка степень ед. измер

ВЫВОД по РЕЗУЛЬТАТУ (шаблон):

Полученное экспериментально значение характеристики _____,
полное название словами
 равное _____, с точностью до ошибки измерений,
число, единица измерения
 составляющей _____, (совпадает, не совпадает) с (табличным,
число, единица измерения
 теоретическим) значением этой характеристики, равным _____ .
число, единица измерения

Кроме абсолютной ошибки измерений по рекомендации преподавателя может быть рассчитана и относительная ошибка измерения.

Расчет ошибок измерений производится студентом с учетом указаний преподавателя, с использованием компьютерных программ обработки результатов измерений, например, методом наименьших квадратов, или других методических материалов, рекомендованных кафедрами.

РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ. ОПТИКА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

2.6. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ТОЧЕЧНЫХ ЗАРЯДОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Исследование на компьютерной модели закономерностей для электрического поля точечного заряда и электрического диполя (ЭД).
- Определение величины электрической постоянной.

ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Ознакомьтесь с конспектом лекций по данной теме. Изучите по учебнику соответствующий материал [1] – Гл.11, §§ 77-85. Кратко законспектируйте теорию. Рассмотрите изображение на рис. 1 и зарисуйте его в отчет по лабораторной работе. Подготовьте таблицы. Подготовьте ответы на вопросы и выполните задания для самоконтроля.

Получите допуск у преподавателя.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ (ЭМП) называется *особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрически заряженными телами (электромагнитное взаимодействие).*

ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ (ЭП) называется *частная форма ЭМП, проявляющаяся в том, что в некоторой области пространства на любой заряженный объект действует сила, независимая от скорости движения объектов и называемая электрической (кулоновской). Электростатическим полем (ЭСП) называется поле, создаваемое неподвижными заряженными объектами.*

ЗАРЯДОМ (электрическим) называется *особая характеристика объекта, определяющая его способность создавать ЭП и взаимодействовать с ЭП.* Часто для сокращения текста «зарядом» называют заряженную частицу, а «точечным зарядом» – материальную точку, имеющую электрический заряд.

Основные **СВОЙСТВА** электрического заряда (как характеристики объекта):

1. Заряд **ИНВАРИАНТЕН** – его величина одинакова при измерении в любой инерциальной системе отсчета.
2. Заряд **СОХРАНЯЕТСЯ** – суммарный заряд изолированной системы тел не изменяется.
3. Заряд **АДДИТИВЕН** – заряд системы тел равен сумме зарядов отдельных тел.

4. Заряд ДИСКРЕТЕН – заряд любого тела по величине кратен минимальному заряду, который обозначается символом e и равен $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.
5. Существуют заряды ДВУХ разных «сортов» (видов). Заряды одного «сорта» названы положительными, а другого «сорта» – отрицательными. Одноименные (одного «сорта») заряды отталкиваются, а разноименные – притягиваются.

Если вблизи одной заряженной частицы (далее называемой зарядом q_1), расположенной в вакууме, на расстоянии r будет находиться вторая заряженная частица (заряд q_2), то на второй заряд будет действовать электрическая (кулоновская) сила \vec{F} , определяемая законом Кулона:

$$\vec{F}(q_2) = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{e}_{12},$$

где q_1 и q_2 – значения зарядов, \vec{e}_{12} – единичный вектор, направленный от первого заряда ко второму, ϵ_0 – электрическая постоянная.

НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ – векторная характеристика силового воздействия ЭП на заряд, помещенный в это поле. Напряженность ЭП, создаваемого зарядом q_1 на расстоянии r , обозначается символом $\vec{E}(q_1)$, причем

$$\vec{E}(q_1) = \frac{\vec{F}}{q_2} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{e}_{12},$$

где \vec{F} – сила, действующая на заряд q_2 .

Величина (модуль вектора) напряженности ЭП точечного заряда

$$|\vec{E}| = E = \frac{|q_1|}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

Для анализа результатов измерений удобно использовать логарифм этого выражения

$$\lg E = \lg \frac{|q_1|}{4\pi\epsilon_0} - 2\lg(r) = b_1 - 2\lg(r), \quad (1)$$

где $b_1 = \lg \frac{|q_1|}{4\pi\epsilon_0}$ – зависит от величины заряда q_1 и не зависит от расстояния.

ЛИНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭП – линия, в любой точке которой вектор напряженности ЭП направлен по касательной к ней.

ЭП подчиняется ПРИНЦИПУ СУПЕРПОЗИЦИИ: напряженность ЭП от нескольких источников является суммой векторов напряженностей полей, создаваемых независимо каждым из этих источников:

$$\vec{E}_{\text{СУМ}} = \sum_i \vec{E}_i .$$

ЭЛЕМЕНТАРНЫМ ПОТОКОМ вектора напряженности ЭП $d\Phi_E$ через физически малый элемент поверхности площадью dS называется *скалярное произведение вектора напряженности ЭП \vec{E} на вектор нормали \vec{n} к данному элементу поверхности, умноженное на площадь dS* :

$$d\Phi_E = \vec{E} \cdot d\vec{S} = (\vec{E} \cdot \vec{n}) \cdot dS .$$

где вектор $d\vec{S} = \vec{n} \cdot dS$ направлен по нормали \vec{n} к элементу поверхности dS .

ПОТОКОМ вектора напряженности ЭП через *некоторую поверхность S* называется *интеграл по этой поверхности скалярного произведения напряженности ЭП на элемент поверхности*:

$$\Phi_E = \int_S \vec{E} d\vec{S} .$$

ЗАКОН (ТЕОРЕМА) ГАУССА ДЛЯ ЭП: ПОТОК вектора напряженности ЭП через замкнутую поверхность S_0 пропорционален алгебраической сумме ЗАРЯДОВ, расположенных внутри объема $V(S_0)$, ограниченного этой поверхностью S_0 :

$$\oint_{S_0} \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{j=1}^N q_j .$$

Линии напряженности электрического поля, созданного уединенным точечным зарядом, представляют собой прямые линии. Они идут от заряда, если он положительный, и к заряду, если он отрицательный.

ПОТЕНЦИАЛОМ ЭП в точке с координатой \vec{r} называется *скалярная характеристика ЭП, численно равная работе сил поля по перемещению единичного положительного (пробного) заряда из данной точки в другую фиксированную точку с координатой \vec{r}_0 , в которой потенциал принят за 0 (если возможно, то \vec{r}_0 полагают равным бесконечности)*:

$$\varphi(\vec{r}) = \int_{\vec{r}}^{\vec{r}_0} \vec{E} d\vec{r} .$$

Уравнение, выражающее напряженность через потенциал:

$$\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}(\varphi) ,$$

где оператор градиента

$$\vec{\text{grad}} = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}; \frac{\partial}{\partial y}; \frac{\partial}{\partial z} \right\} \equiv \vec{\nabla}.$$

ДИПОЛЬ это два одинаковых по величине, но противоположных по знаку точечных заряда q , расположенных на фиксированном расстоянии L (L называется плечом диполя).

ДИПОЛЬНЫЙ (ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ) МОМЕНТ есть произведение

$$\vec{p}_e = q\vec{L}.$$

Векторы \vec{L} и дипольного момента \vec{p}_e направлены от отрицательного к положительному заряду.

Напряженность ЭП диполя вычисляется с использованием принципа суперпозиции для ЭП.

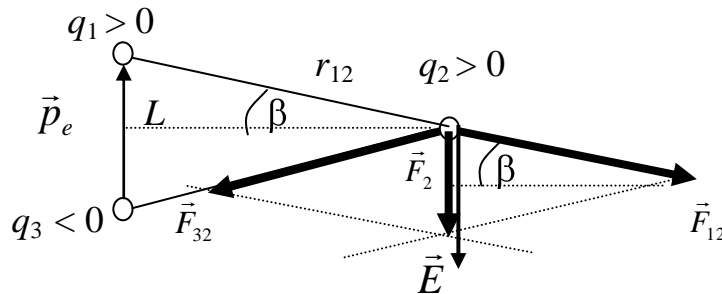


Рис.1. Схема формирования воздействия поля диполя на точечный заряд

Как видно из рис.1, $\sin \beta = \frac{L/2}{r_{12}}$, а для модуля суммарной силы, действующей на заряд q_2 со стороны диполя, получим

$$F_2 = 2F_{12} \sin \beta = F_{12} \frac{L}{r_{12}} = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 r_{12}^2} \frac{L}{r_{12}} = \frac{q_2}{4\pi \epsilon_0} \frac{q_1 L}{r_{12}^3} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q_2 p_e}{r_{12}^3}.$$

В векторном виде для точек на линии, проходящей через центр диполя, перпендикулярно электрическому моменту, и на большом расстоянии r от его центра:

$$\vec{F}_2 = q_2 \vec{E} = -\frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q_2 \vec{p}_e}{r^3}, \text{ отсюда}$$

$$\vec{E} = -\frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{\vec{p}_e}{r^3}.$$

Величина напряженности

$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{p_e}{r^3}.$$

Для анализа результатов измерений удобно использовать результат логарифмирования этого выражения

$$\lg E = \lg \frac{P_e}{4\pi\epsilon_0} - 3\lg(r) = b_2 - 3\lg(r), \text{ где } b_2 = \lg \frac{P_e}{4\pi\epsilon_0}. \quad (2)$$

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Запустите программу компьютерного моделирования. Выберите «Модель 1.1. Взаимодействие точечных зарядов». Рассмотрите внимательно рис.2 :

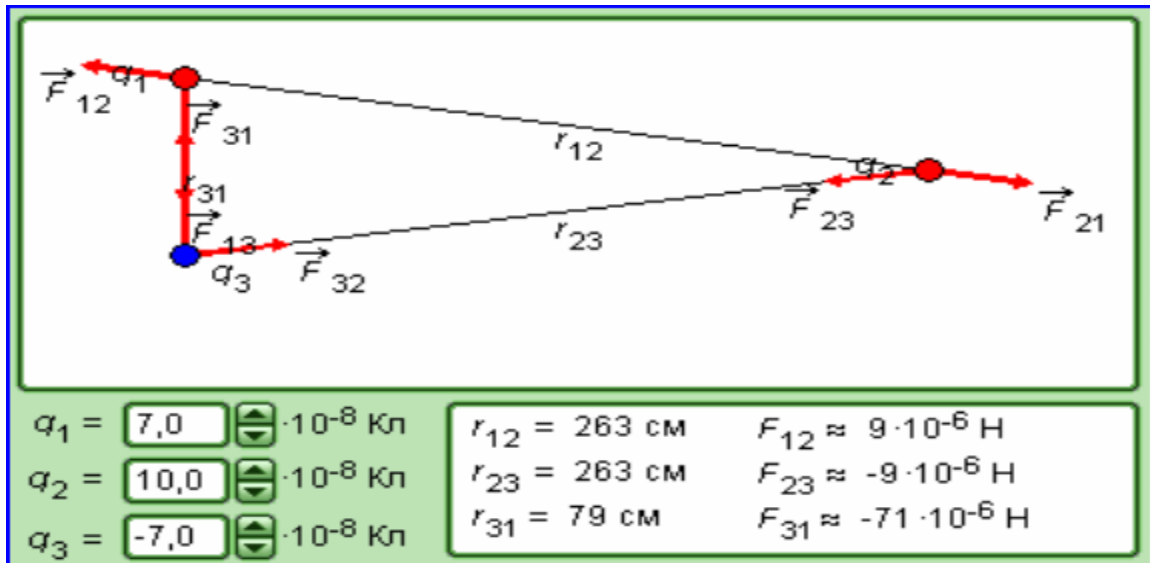


Рис.2. Модель взаимодействия диполя и точечного заряда

Таблица 1

Значения величины заряда q_1 (нКл) (не перерисовывать)

Бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
q_1	70	90	70	80	-70	-80	80	100
q_1^*	100	80	90	100	-90	-100	-100	-70

Таблица 2

Результаты измерений и расчетов для точечных зарядов
 $q_1 = \underline{\hspace{1cm}}, q_1^* = \underline{\hspace{1cm}},$ (нКл)

$r = r_{12}$ (м)	0.3	0.6	...	3.0
$lg(r)$				
$F_{21}, 10^{-3}$ Н				
$F_{21}^*, 10^{-3}$ Н				
$E_1, 10^4$ В/м				
$E_1^*, 10^4$ В/м				
lgE_1				
lgE_1^*				

Таблица 3

Результаты измерений и расчетов для диполя

$$p_1 = \underline{\hspace{1cm}}, p_1^* = \underline{\hspace{1cm}}, (\cdot 10^{-11} \text{ Кл}\cdot\text{м})$$

$r = r_{12}$ (м)	0.3	0.6	...	3.0
$lg(r)$				
$F_{21}, 10^{-3}$ Н				
$F_{21}^*, 10^{-3}$ Н				
$E, 10^4$ В/м				
$E^*, 10^4$ В/м				
lgE				
lgE^*				

ИЗМЕРЕНИЯ

ЭКСПЕРИМЕНТ 1. Исследование поля точечного заряда

1. Зацепив мышью (нажав и удерживая левую кнопку, когда маркер мыши находится над объектом), перемещайте заряд q_1 и зафиксируйте его вблизи левой границы экспериментального поля.
2. Нажимайте кнопку регулятора величины первого заряда и установите величину заряда q_1 , указанную в табл.1 для вашей бригады.
3. Заряд q_3 поместите под первым, а его величину установите равной 0. Заряд q_2 установите равным $10 \cdot 10^{-8}$ Кл (100 нКл).
4. Перемещайте, зацепив мышью, заряд q_2 вправо, устанавливая расстояния r_{12} до первого заряда, указанные в табл.2.
5. Измеренные в данных точках значения F_{21} и вычисленные величины

$$E_1 = \frac{F_{21}}{q_2}$$

занесите в соответствующую строку табл. 2.

6. Повторите измерения для других значений заряда $q_1 = q_1^*$ из табл. 1, записывая в табл.2 значения F_{21}^* и E_1^* .

ЭКСПЕРИМЕНТ 2. Исследование поля диполя

1. Щелкайте мышью кнопку регулятора величины второго заряда диполя (q_3) и зафиксируйте значение заряда $q_3 = -q_1$.
2. Переместите заряд q_3 так, чтобы электрический момент $\vec{p} = q_1 \cdot \vec{r}_{31}$ диполя был вертикальным, а плечо диполя ($L = r_{31}$) равнялось 10 см.
3. Перемещайте, зацепив мышью, заряд q_2 по линии, перпендикулярной оси диполя (горизонтально, при этом $r_{12} = r_{23} = r$).
4. На расстояниях r от оси диполя по перпендикуляру к оси измерьте и занесите значения F_{21} и $E = \frac{F_{21}}{q_2} \cdot \frac{L}{r_{12}}$ в табл.3.
5. Повторите измерения для других значений зарядов $q_1 = q_1^*$ и $q_3 = -q_1^*$ из табл. 1, записывая в табл. 3 значения F_{21}^* и E^* .

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Вычислите и запишите в табл. 2 и 3 значения всех приведенных там характеристик.
2. Постройте на одном листе графики (для каждого q_1) зависимости логарифма напряженности ЭП точечного заряда (2 графика) и диполя (2 графика) от логарифма расстояния.
3. По точке пересечения b_i (см. формулы 1 и 2) каждого графика с вертикальной осью (или, обработав точки на компьютере методом наименьших квадратов) определите электрическую постоянную, используя для поля точечного заряда формулу, полученную из (1),

$$\varepsilon_0 = \frac{|q_1|}{4\pi} 10^{-b_1}$$

и для поля диполя формулу, полученную из (2),

$$\varepsilon_0 = \frac{L|q_1|}{4\pi} 10^{-b_2}.$$

4. Проанализируйте графики, запишите выводы по графикам и результатам.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое электрическое поле (ЭП)?
2. Назовите источники ЭП.

3. Перечислите основные свойства заряда.
4. Поясните свойство инвариантности заряда.
5. Поясните свойство дискретности заряда.
6. Сформулируйте закон сохранения заряда.
7. Поясните свойство аддитивности заряда.
8. Какая сила действует между зарядами?
9. Дайте определение линии напряженности ЭП. Зачем их рисуют?
10. Запишите закон Кулона.
11. Что такое напряженность электрического поля?
12. Запишите формулу для напряженности поля точечного заряда.
13. Сформулируйте принцип суперпозиции для ЭП.
14. Дайте определение потока ЭП.
15. Сформулируйте и запишите закон Гаусса для ЭП.
16. Что такое электрический диполь?
17. Что такое ось диполя?
18. Что такое центр диполя?
19. Дайте определение дипольного (электрического) момента.
20. Запишите формулу для величины напряженности ЭП на линии, перпендикулярной оси диполя и проходящей через его центр.
21. Какую форму имеет линия поля, проходящая через центр диполя?

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высшая школа, 2004.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

2_2. ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Изучение цепей постоянного тока с использованием их компьютерных моделей.
- Применение законов Ома и Кирхгофа при анализе процессов в таких цепях.

ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Ознакомьтесь с конспектом лекций по данной теме. Изучите по учебнику соответствующий материал [1] – Гл.12. Кратко законспектируйте теорию в отчет. Подготовьте таблицы. Ответьте на вопросы и выполните задания для самоконтроля.

Получите допуск у преподавателя.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ТОКА

$$I = \frac{dq}{dt},$$

где dq – заряд, переносимый через поперечное сечение проводника за время dt .

ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ: сила тока, текущего по проводнику, пропорциональна падению напряжения U на проводнике

$$I = \frac{1}{R}U,$$

где R - сопротивление проводника.

РЕЗИСТОРОМ называется устройство, обладающее заданным сопротивлением.

НАПРЯЖЕНИЕ НА РЕЗИСТОРЕ: $U_R = IR$.

ЗАКОН ОМА ДЛЯ НЕОДНОРОДНОГО УЧАСТКА ЦЕПИ

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + E_{12}}{R},$$

где φ_1 и φ_2 - потенциалы концов участка, E_{12} – ЭДС, действующая на данном участке цепи.

ЗАКОН ОМА ДЛЯ ЗАМКНУТОЙ ЦЕПИ:

$$I = \frac{E}{R_{сум}},$$

где E - суммарная ЭДС, действующая в цепи, $R_{\text{СУМ}}$ – суммарное сопротивление всей цепи.

РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПЬЮ называется *электрическая цепь, имеющая узлы*.

УЗЛОМ называется *точка, в которой сходится более чем два проводника*. Ток, текущий к узлу, принято считать положительным, а ток, текущий от узла, считается отрицательным.

ПЕРВОЕ ПРАВИЛО КИРХГОФА: *алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю:*

$$\sum I_k = 0.$$

ВТОРОЕ ПРАВИЛО КИРХГОФА: *в каждом из замкнутых контуров, которые можно мысленно выделить в данной разветвленной цепи, алгебраическая сумма падений напряжения на элементах контура равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом выделенном замкнутом контуре:*

$$\sum I_k R_k = \sum E_k.$$

При анализе разветвленной цепи следует обозначать с одним индексом ток, протекающий по всем последовательно соединенным элементам от одного узла до другого. Направление каждого тока выбирается произвольно.

Перед составлением уравнений по второму правилу Кирхгофа необходимо выбрать (произвольно) **НАПРАВЛЕНИЕ ОБХОДА КАЖДОГО ЗАМКНУТОГО КОНТУРА**. Токам и ЭДС при составлении указанных уравнений нужно приписывать знаки в соответствии со следующими правилами:

- ток принято считать положительным, если он совпадает с направлением обхода, и отрицательным, если он направлен против этого направления;
- ЭДС считается положительной, если направление обхода совпадает с направлением от минуса к плюсу источника ЭДС.

КОЛИЧЕСТВО УРАВНЕНИЙ по первому правилу Кирхгофа должно быть на одно меньше количества узлов в данной цепи. Количество независимых уравнений по второму правилу Кирхгофа должно быть таким, чтобы общее количество уравнений в полученной системе уравнений оказалось равным количеству различных токов. Каждый новый контур при этом должен содержать хотя бы один участок цепи, не вошедший в уже рассмотренные контуры.

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Запустите программу компьютерного моделирования. Выберите «Модель 1.5. Цепи постоянного тока».

В данной лабораторной работе исследуется модель (рис.1) разветвленной электрической цепи, состоящей из трех источников ЭДС, имеющих внутренние

сопротивления и подключенных (рис.1) к одному резистору (нагрузке).

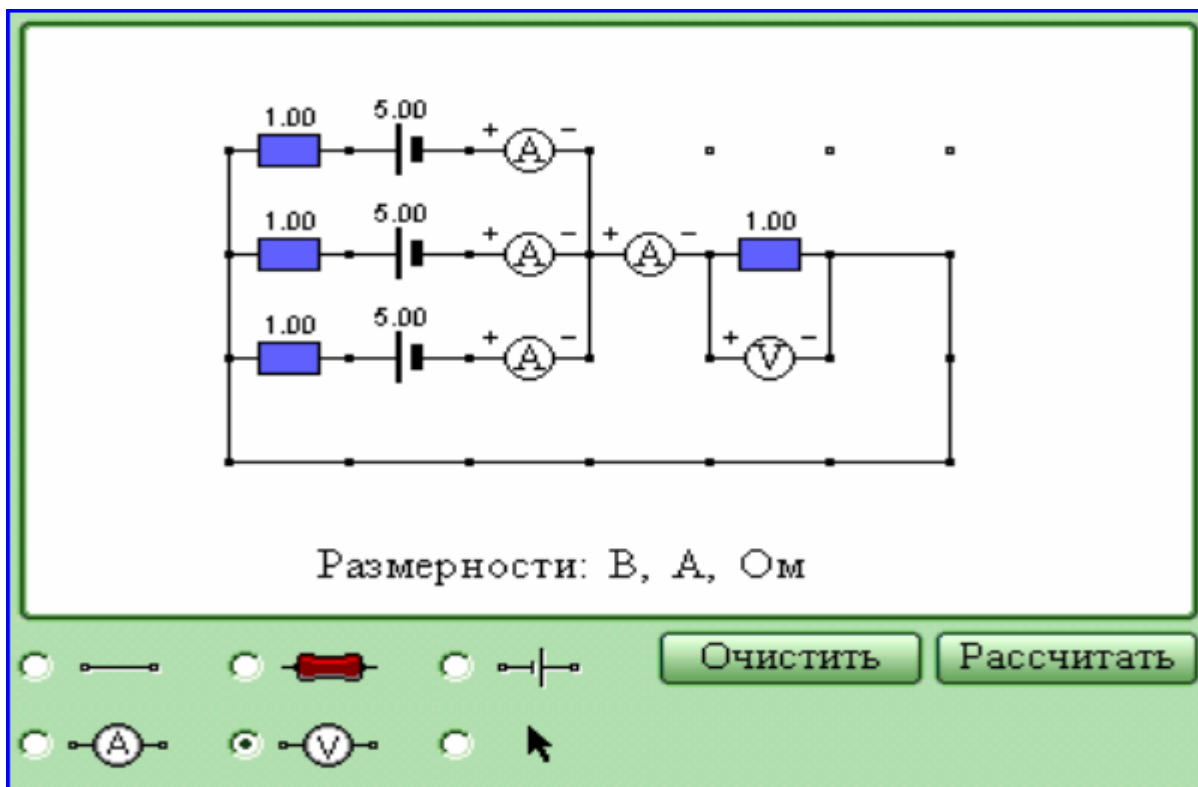


Рис.1. Эквивалентная схема электрической цепи постоянного тока

Внимательно рассмотрите рис.1, найдите все основные элементы. Нарисуйте в отчете эквивалентную схему цепи, расположив источники один под другим. С учетом задания для вашей бригады из табл. 1, укажите величины и знаки ЭДС, величины резисторов, направления токов в каждом участке и направления обхода каждого замкнутого контура. Составьте систему уравнений для нахождения токов в каждом участке.

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Соберите на экране заданную эквивалентную цепь. Для этого сначала щелкните левой кнопкой мыши над белой кнопкой около символа ЭДС в нижней части экрана (в ней появится черная точка). Переместите маркер мыши на рабочую часть экрана, где расположены точки. Щелкните левой кнопкой мыши в рабочей части экрана, там, где должен быть расположен первый источник ЭДС
2. Переместите маркер мыши вниз на одну клетку и снова щелкните левой кнопкой под тем местом, где расположился первый источник. Там появится второй источник ЭДС Аналогично разместите и третий источник.
3. Разместите последовательно с каждым источником резисторы (R_{i1} , R_{i2} и R_{i3}), изображающие внутреннее сопротивление каждого источника

(щелкнув предварительно над кнопкой около изображения резистора в нижней части экрана), и амперметр (кнопка около прибора A там же). Затем расположите резистор нагрузки и последовательно соединенный с ним амперметр. Под нагрузкой расположите вольтметр (прибор V), измеряющий напряжение на нагрузке.

4. Подключите соединительные провода. Для этого нажмите кнопку провода внизу экрана, после чего переместите маркер мыши в рабочую зону схемы. Щелкните левой кнопкой мыши в точке, где должен проходить провод.
5. Установите значения параметров для каждого элемента. Для этого щелкните левой кнопкой мыши на кнопке со стрелкой. Затем щелкните этой кнопкой на данном элементе. Подведите маркер мыши к кнопке появившегося регулятора, нажмите на левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом состоянии, меняйте величину параметра и установите числовое значение, равное взятому из табл. 1 для вашей бригады.
6. Измерьте значения всех токов и напряжения на нагрузке (щелкнув мышью по кнопке «Рассчитать») и запишите их в табл. 2.
7. Меняя сопротивление резистора нагрузки R , повторите измерения параметров и заполните табл. 2.

Таблица 1

Характеристики источников ЭДС (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$E_1, E_2, E_3, \text{В}$	3,7,-2	4,-3,-8	3,6,-4	3,-2,-8	-6,5,8	5,8,-4	-4,6,-7	8,-4,6
$R_{i1}, R_{i2}, R_{i3}, \text{Ом}$	2,1,1	1,3,1	2,1,2	1,1,2	2,1,1	1,2,1	1,1,2	1,3,1

Таблица 2

Результаты измерений

$R, \text{Ом}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$I_3, \text{А}$	$I, \text{А}$	$U, \text{В}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Таблица 3

Результаты расчета

$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$I_3, \text{А}$	$I, \text{А}$

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Запишите для вашей цепи решение системы уравнений для всех токов в общем виде.
2. Рассчитайте значения всех токов для каждого сопротивления нагрузки и запишите их в табл. 3.
3. Выведите, используя уравнения Кирхгофа, теоретическую зависимость

напряжения на нагрузке U от тока I через нее.

4. Постройте график экспериментальной зависимости падения напряжения на нагрузке U от тока I через нее.
5. Сформулируйте выводы по графику.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое электрический ток?
2. Дайте определение силы (величины) тока.
3. Дайте определение разности потенциалов (напряжения).
4. Напишите формулу, связывающую приращение потенциала и напряжение.
5. Что такое резистор?
6. Какое соединение элементов называется последовательным?
7. Какое соединение элементов называется параллельным?
8. Напишите формулу для сопротивления последовательно соединенных резисторов.
9. Напишите формулу для сопротивления параллельно соединенных резисторов.
10. Напишите закон Ома для однородного участка цепи. Сравните его с законом Ома в дифференциальной (локальной) форме.
11. Какой участок цепи называется неоднородным?
12. Запишите закон Ома для неоднородного участка цепи.
13. Какими характеристиками описывается источник ЭДС?
14. Как измерить ЭДС источника?
15. Что такое «короткое замыкание»?
16. Как определяется ток короткого замыкания?
17. Сформулируйте первый закон Кирхгофа.
18. Какое свойство заряда отражает первый закон (правило) Кирхгофа?
19. Запишите формулу для первого закона (правила) Кирхгофа.
20. Сформулируйте второй закон (правило) Кирхгофа.
21. Запишите формулу для второго закона (правила) Кирхгофа.
22. Что такое узел электрической цепи?
23. Какая электрическая цепь называется разветвленной?

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2004.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

2_7. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Наблюдение и исследование магнитного поля, созданного различными источниками.
- Исследование на компьютерной модели закономерностей для магнитного поля прямого провода и кругового витка (контура) с током.
- Определение величины магнитной постоянной.

ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Ознакомьтесь с конспектом лекций по данной теме. Изучите по учебнику соответствующий материал [1] – Гл.14, §§ 109-119. Кратко законспектируйте теорию. Рассмотрите изображение на рис. 1, 2 и 3 и зарисуйте их в отчет по лабораторной работе. Подготовьте таблицы. Подготовьте ответы на вопросы и выполните задания для самоконтроля.

Получите допуск у преподавателя.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ (МП) *есть частная форма проявления электромагнитного поля: в области пространства, в которой присутствует магнитное поле, на движущиеся заряды и объекты, обладающие магнитным моментом действует дополнительная сила.*

МП создают, в частности, движущиеся электрически заряженные объекты (заряды). При этом заряды создают также и электрическое поле.

Предположим, что вблизи одной движущейся заряженной частицы (заряда №1) находится вторая движущаяся с такой же по величине и направлению скоростью заряженная частица (заряд №2). Тогда на оба заряда будут действовать две силы: электрическая (кулоновская) $\vec{F}_{эл}$ и дополнительная сила со стороны

магнитного поля \vec{F}_M , которая будет меньше электрической в $\left(\frac{v}{c}\right)^2$ раз, где c – скорость света.

Для практически любых ПРОВОДНИКОВ с током выполняется ПРИНЦИП КВАЗИНЕЙТРАЛЬНОСТИ: *несмотря на наличие и движение заряженных частиц внутри проводника, любой (не слишком малый) его отрезок имеет нулевой суммарный электрический заряд.* Поэтому между обычными проводниками с током наблюдается только магнитное взаимодействие.

ИНДУКЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ *есть векторная характеристика си-*

ловой действия МП, обозначаемая символом \vec{B} . Она определяет магнитную часть силы Лоренца, которая действует на заряженную частицу, движущуюся со скоростью \vec{V} :

$$\vec{F}_{МАГ} = q[\vec{V}, \vec{B}].$$

ЛИНИИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ это линии, в любой точке которых вектор индукции МП направлен по касательной. Густота линий индукции пропорциональна величине индукции вблизи данной точки.

Анализ взаимодействия движущихся (в вакууме) зарядов дает выражение для расчета элементарной индукции $d\vec{B}$ МП, создаваемой элементарным отрезком $d\vec{L}$ с током I , (закон Био–Савара–Лапласа или Б–С–Л):

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} \left[\vec{L}, \vec{e}_r \right],$$

где \vec{r} – вектор, направленный от отрезка в точку наблюдения, \vec{e}_r – единичный вектор, направленный вдоль \vec{r} , μ_0 – магнитная постоянная.

МП подчиняется ПРИНЦИПУ СУПЕРПОЗИЦИИ: индукция МП в данной точке от нескольких источников является суммой индукций полей, создаваемых независимо каждым из источников:

$$\vec{B}_{СУМ} = \sum_i \vec{B}_i.$$

ЦИРКУЛЯЦИЕЙ МП называется интеграл по замкнутому контуру L_0 от скалярного произведения индукции МП на элемент контура:

$$C_{0B} = \oint_{L_0} \vec{B} \cdot d\vec{L}.$$

ТЕОРЕМА О ЦИРКУЛЯЦИИ МП: циркуляция МП по любому замкнутому контуру L_0 пропорциональна суммарному току, пронизывающему поверхность $S(L_0)$, ограниченную этим контуром L_0 :

$$C_{0B} = \oint_{L_0} \vec{B} \cdot d\vec{L} = \mu_0 \sum_j I_j.$$

Закон Б–С–Л и принцип суперпозиции МП позволяют получить многие другие закономерности, в частности, формулу для расчета величины индукции магнитного поля прямого бесконечно длинного проводника с током I в любой

точке пространства (вне провода) на расстоянии r от его оси:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}. \quad (1)$$

Линии магнитной индукции поля прямого проводника с током представляют собой концентрические окружности, лежащие в плоскостях, перпендикулярных проводнику, с центрами, расположенными на его оси. Направление линий индукции прямого провода определяется по правилу буравчика (рукоятка буравчика вращается по направлению линий, а его винт движется по направлению тока).

Формула для расчета индукции МП на оси кругового контура (витка) радиуса R с током I на расстоянии r от его центра выглядит так:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\vec{p}_m}{(R^2 + r^2)^{3/2}}, \quad (2)$$

где $\vec{p}_m = IS\vec{e}_n$ - МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ витка площадью S с током I , \vec{e}_n - единичный вектор нормали к плоскости витка (с учетом правила буравчика).

На больших по сравнению с радиусом витка R расстояниях индукция магнитного поля витка с током убывает обратно пропорционально кубу расстояния:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\vec{p}_m}{r^3}. \quad (3)$$

СОЛЕНОИДОМ называется прямая катушка с током, длина которой значительно превышает ее диаметр. Величина индукции МП в центральной части соленоида приближенно постоянна. Такое поле можно считать практически однородным.

Из теоремы о циркуляции МП можно получить формулу для величины индукции МП в центре соленоида $B = \mu_0 In$, где n – число витков, приходящихся на единицу длины соленоида.

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Запустите программу компьютерного моделирования. Выберите «Модель 1.10. Магнитное поле прямого тока», «Модель 1.9. Магнитное поле витка с током», а затем «Модель 1.11. Магнитное поле соленоида».

Рассмотрите рисунки.



Рис.1. Магнитное поле прямого бесконечно длинного провода с током

Таблица 1

Значения силы тока (не перерисовывать)

Бригады	I_1	I_2	I_3
1 и 5	5	10	15
2 и 6	-5	-10	-15
3 и 7	-15	-10	5
4 и 8	-20	-15	-10

Таблица 2

Магнитное поле прямого провода

$R, \text{ см} =$	2	3	...	10
$I/R, \text{ м}^{-1}$				
$B_1, \text{ Тл}$				
$B_2, \text{ Тл}$				
$B_3, \text{ Тл}$				

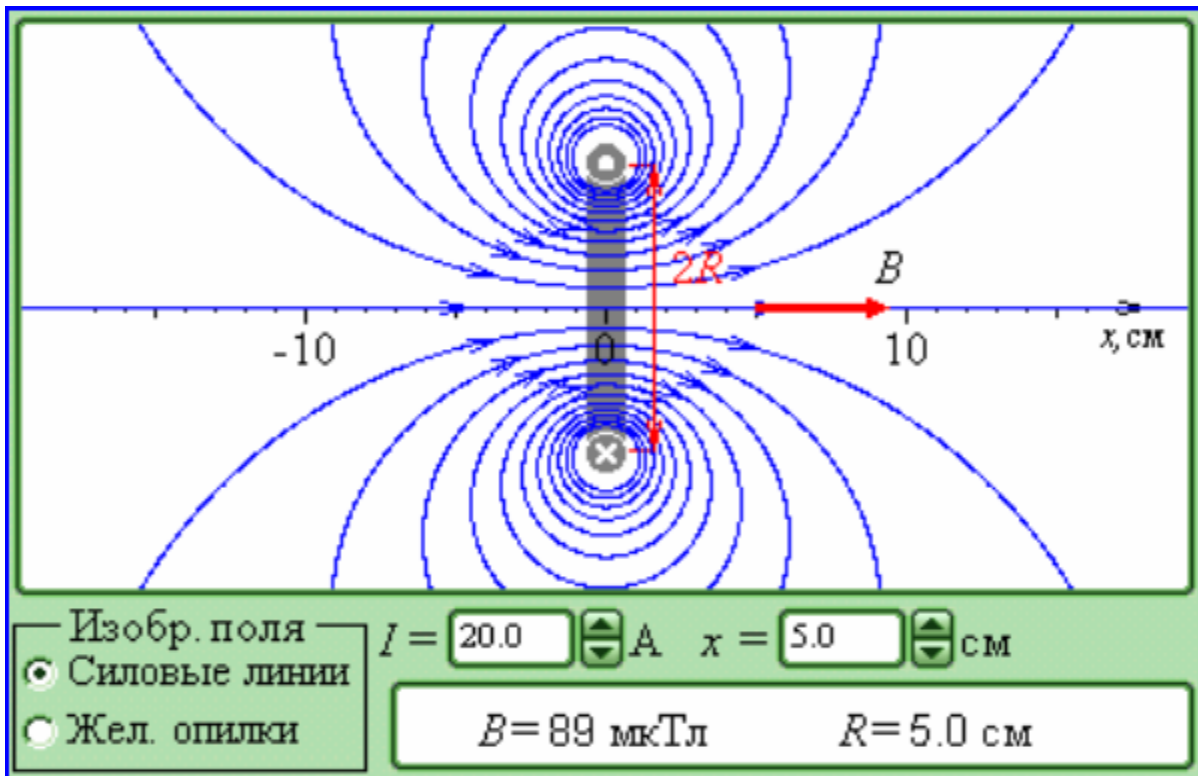


Рис.2. Магнитное поле кругового витка с током

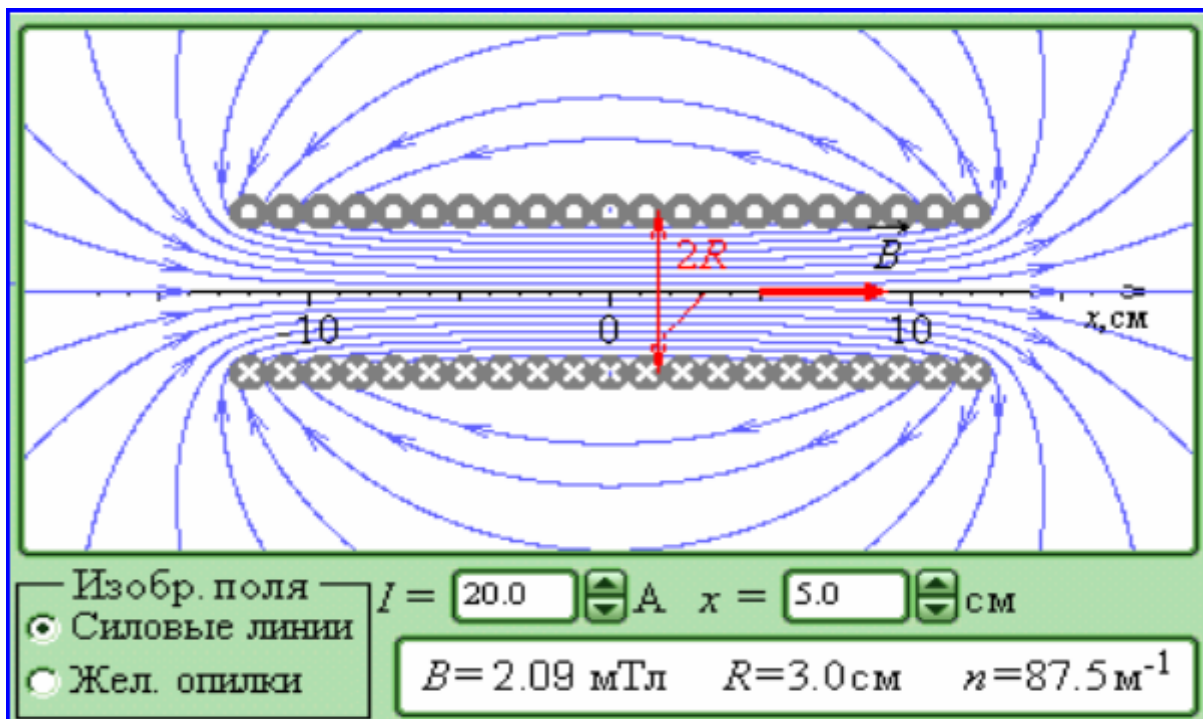


Рис.3. Магнитное поле соленоида

Таблица 3
Магнитное поле витка

x , см	2	3	...	10
$\frac{1}{x^3} \text{ м}^{-3}$				
B_1 , мкТл				
B_2 , мкТл				
B_3 , мкТл				

Таблица 4
Магнитное поле соленоида

x , см	0	3	4	...	10
B_1 , мкТл					
B_2 , мкТл					
B_3 , мкТл					

ЭКСПЕРИМЕНТ 1. Исследование магнитного поля прямого провода с током.

1. Запустите эксперимент «Модель 1.10. Магнитное поле прямого тока». Наблюдайте линии индукции МП прямого провода с током.
2. Щелкая мышью кнопку регулятора тока, установите величину тока, указанную в табл. 1 для вашей бригады.
3. Перемещая мышью «руку» вблизи провода, нажимайте левую кнопку мыши на расстояниях R до оси провода, указанных в табл. 1. Значения R и B занесите в табл. 2.
4. Повторите измерения для других значений тока из табл. 1.

ЭКСПЕРИМЕНТ 2. Исследование магнитного поля витка с током.

1. Закройте окно эксперимента 1, нажав кнопку в правом верхнем углу внутреннего окна. Запустите, дважды щелкнув мышью, эксперимент «Модель 1.9. Магнитное поле кругового витка с током». Наблюдайте линии индукции МП кругового витка (кольца).
2. Щелкая мышью кнопку регулятора тока, установите величину тока, указанную в табл. 1 для вашей бригады.
3. Перемещая мышью «руку» по оси витка, нажимайте левую кнопку мыши на расстояниях x до центра витка, указанных в табл. 1. Значения x и B занесите в табл. 3.
4. Повторите измерения для других значений тока из табл. 1.

ЭКСПЕРИМЕНТ 3. Исследование магнитного поля соленоида.

1. Закройте окно эксперимента 2, нажав кнопку в правом верхнем углу внутреннего окна. Запустите, дважды щелкнув мышью, следующий эксперимент «Модель 1.11. Магнитное поле соленоида». Наблюдайте линии индукции МП соленоида.
2. Щелкая мышью кнопку регулятора тока, установите величину тока, указанную в табл. 1 для вашей бригады.
3. Перемещая мышью «руку» по оси соленоида, нажимайте левую кнопку мыши на расстояниях r до центра соленоида, указанных в табл. 2. Значения x и B занесите в табл. 4.
4. Повторите измерения для других значений тока из табл.1.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Проведите вычисления и заполните вторые строки табл. 2 и 3.
2. Постройте на одном листе графики зависимости величины индукции МП прямого провода с током от обратного расстояния до оси провода $\left(\frac{1}{R}\right)$ при разных токах.
3. Постройте на втором листе графики зависимости величины индукции МП на оси витка с током от куба обратного расстояния x до центра витка $\left(\frac{1}{x^3}\right)$ при разных токах.
4. На третьем листе постройте графики зависимости величины индукции МП на оси соленоида от расстояния x до его центра при разных токах.
5. По коэффициенту наклона графиков (или, обработав точки на компьютере методом наименьших квадратов) на первых двух листах определите магнитную постоянную, используя для первого чертежа формулу

$$\mu_0 = \frac{2\pi}{I} \frac{\Delta B}{\Delta\left(\frac{1}{R}\right)} \quad \text{и} \quad \mu_0 = \frac{2}{IR^2} \frac{\Delta B}{\Delta\left(\frac{1}{x^3}\right)} - \text{ для второго чертежа.}$$

6. Для магнитного поля соленоида при каждом токе определите протяженность Δx области однородности МП, в пределах которой величина индукции отклоняется не более, чем на 10 % от максимальной..
7. Запишите ответы.
8. Проанализируйте ответы и графики.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое магнитное поле (МП)?
2. Назовите источники МП.
3. Какие силы действуют между движущимися зарядами?
4. Во сколько раз магнитная сила меньше электрической для двух параллельно движущихся одинаковых точечных электрических зарядов?
5. Сформулируйте определение квазинейтральности проводов с током.
6. Какие силы и почему действуют между проводами с током?
7. Дайте определение линий индукции МП. Зачем их рисуют?
8. Почему металлические опилки выстраиваются вдоль магнитных линий?
9. Запишите закон Био–Савара–Лапласа. В чем он похож на закон Кулона?
10. Сформулируйте принцип суперпозиции для МП.
11. Дайте определение циркуляции МП.
12. Сформулируйте и запишите теорему о циркуляции МП.
13. Сформулируйте и запишите формулу для индукции МП прямого провода с током.
14. Как выглядят линии индукции МП прямого провода с током?
15. Сформулируйте и запишите формулу для индукции МП на оси кругового витка (кольца) с током.
16. Что такое магнитный момент витка с током?
17. Какую форму имеет линия индукции, проходящая через центр витка с током перпендикулярно его плоскости?
18. Какую форму имеет линия индукции МП, проходящая вблизи проводника витка с током?
19. В каком месте на оси витка индукция МП максимальна?
20. В каком месте индукция МП витка с током максимальна?
21. Что такое соленоид и для чего он используется?
22. Чему равна индукция магнитного поля в центре соленоида?
23. Как выглядят линии индукции МП внутри соленоида?
24. Является ли МП внутри соленоида точно однородным?
25. Как определить протяженность области однородности МП внутри соленоида, если задано $\left(\frac{\Delta B}{B}\right)_{MAX}$ т.е. максимально возможное отклонение индукции ΔB от некоторого значения B ?
26. В каких единицах измеряется индукция МП?

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высшая школа, 2004.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

2_8. ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ФАРАДЕЯ**ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

- Изучение явления электромагнитной индукции (ЭМИ).
- Исследование с помощью компьютерной модели основных закономерностей ЭМИ.

ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Ознакомьтесь с конспектом лекций по данной теме. Изучите по учебнику соответствующий материал [1] – Гл.15. Кратко законспектируйте теорию. Рассмотрите изображение на рис. 1 и зарисуйте его в отчет по лабораторной работе. Подготовьте таблицы. Подготовьте ответы на вопросы и выполните задания для самоконтроля.

Получите допуск у преподавателя.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

ЭЛЕМЕНТАРНЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ $d\Phi_B$ через физически малый элемент поверхности площадью dS называется скалярное произведение вектора индукции магнитного поля \vec{B} на вектор нормали \vec{n} к данному элементу поверхности и на площадь dS :

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{S} = (\vec{B} \vec{n}) \cdot dS .$$

МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ Φ_B через поверхность площадью S называется сумма всех элементарных потоков через все элементы этой поверхности (интеграл по поверхности):

$$\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} .$$

Анализируя свойства интеграла в правой части данного соотношения, можем получить условия, при которых расчет потока упрощается.

ПРОСТЕЙШИЙ вариант: потока нет ($\Phi_B = 0$), если

- $B = 0$, или
- вектор магнитной индукции направлен по касательной к поверхности в любой ее точке ($\vec{B} \perp \vec{n}$).

ВТОРОЙ (тоже простой) вариант: поток есть произведение индукции на площадь ($\Phi_B = B \cdot S$), если $(\vec{B} \cdot \vec{n}) = const$.

Одним из частных случаев для второго варианта является одновременное

выполнение двух условий: вектор индукции направлен под постоянным углом к нормали и имеет одну и ту же величину в любой точке поверхности.

ЗАКОН ФАРАДЕЯ: ЭДС, индуцируемая в замкнутом проводящем контуре L_0 пропорциональна скорости изменения потока вектора индукции магнитного поля Φ_B через поверхность $S(L_0)$, ограниченную контуром L_0 . Математически:

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{d\Phi_B}{dt},$$

где знак «-» соответствует «правилу Ленца» (см. учебник).

Для неподвижного и не меняющего свою площадь контура

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = \oint_{L_0} \vec{E}_{\text{ВИХР}} d\vec{L},$$

где $\vec{E}_{\text{ВИХР}}$ - напряженность вихревого электрического поля, возникающего внутри проводящего контура при изменении магнитного потока через его площадь.

Если проводящий контур меняется, например, какая-либо его часть движется со скоростью \vec{V} , тогда в левой части уравнения к ЭДС, связанной с вихревым электрическим полем, добавляется магнитное воздействие на движущиеся заряды проводника

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = \oint_{L_0} \vec{E}_{\text{ВИХР}} d\vec{L} + \oint_{L_0} \vec{V}, \vec{B} \cdot d\vec{L} = -\frac{d}{dt} \left(\int_{S(L_0)} \vec{B} d\vec{S} \right) = - \int_{S(L_0)} \frac{d\vec{B}}{dt} d\vec{S} - \int_{S(L_0)} \frac{d\vec{S}}{dt} d\vec{B}.$$

Если магнитное поле не меняется, тогда

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = \oint_{L_0} \vec{V}, \vec{B} \cdot d\vec{L} = - \int_{S(L_0)} \frac{d\vec{S}}{dt} d\vec{B}.$$

Используя закон Ома для полной цепи, получим выражение для тока индукции:

$$i_{\text{инд}} = \mathcal{E}_{\text{инд}} / R,$$

где R – сопротивление контура.

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Запустите программу компьютерного моделирования. Выберите «Модель 1.15. Электромагнитная индукция».

В данной лабораторной работе используется компьютерная модель, в ко-

торой изменяющийся магнитный поток возникает в результате движения проводящей перемычки по параллельным проводникам, замкнутым с одной стороны. Эта система изображена на рис.1:

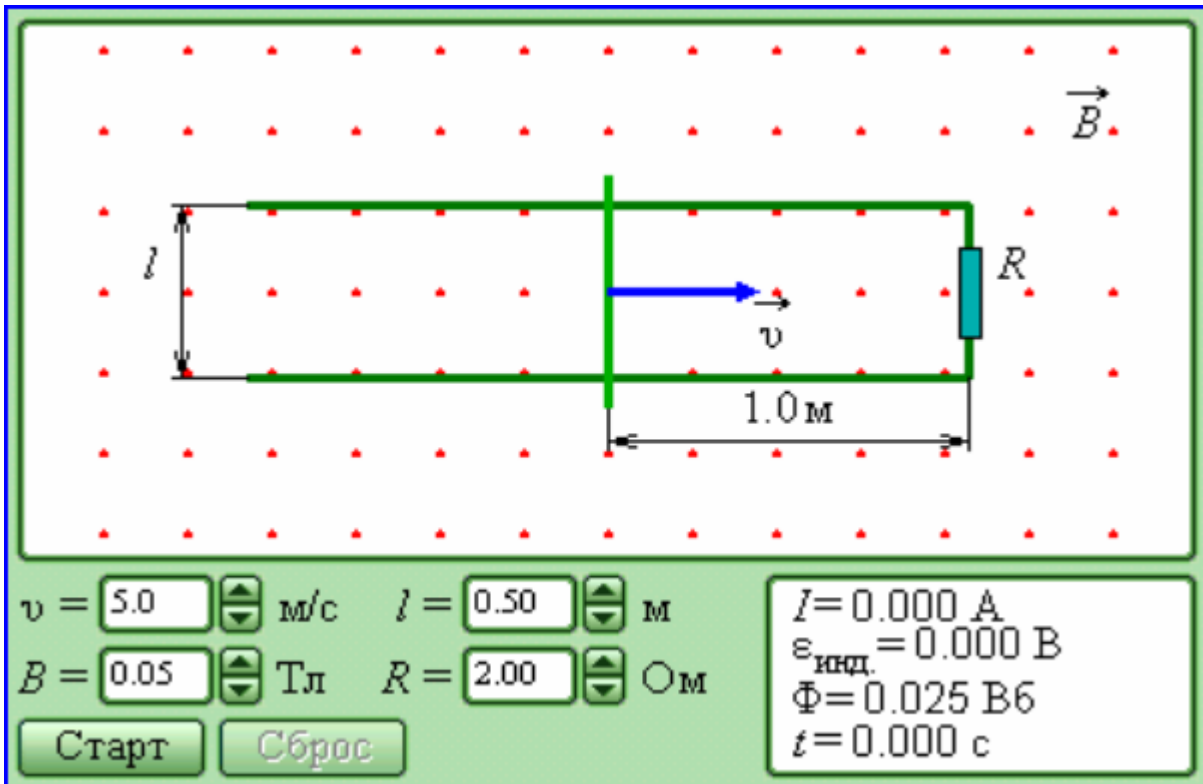


Рис.1. Модель проводящего контура с движущейся стороной

ЗАДАЧА:

Проводящая перемычка движется со скоростью V по параллельным проводкам, замкнутым с одной стороны. Система проводников расположена в однородном магнитном поле, индукция которого равна B и направлена перпендикулярно плоскости, в которой расположены проводники. Найти ток в перемычке, если ее сопротивление R , а сопротивлением проводников можно пренебречь.

Решив задачу в черновике отчета, получите уравнение для тока в общем виде.

Таблица 1

Значения характеристик (не перерисовывать)

Бригады	R , Ом	B_1 , мТл	B_2 , мТл	B_3 , мТл
1 или 5	1	-30	40	90
2 или 6	2	-40	20	80
3 или 7	1	-50	10	70
4 или 8	2	-60	-20	100

Для бригад 1–4 $L = 1$ м, для бригад 5–8 $L = 0,7$ м.

Таблица 2

Результаты измерений (12 столбцов). $B = \underline{\hspace{2cm}}$ мТл

$V, \text{ м/с} =$	-10	-8	...	10
ЭДС, В				
I, мА				

Подготовьте также табл.3 и 4, аналогичные табл.2.

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Закройте окно теории (если вы ее ранее вызывали), нажав кнопку в правом верхнем углу внутреннего окна. Запустите эксперимент, щелкнув мышью по кнопке «Старт». Наблюдайте движение переключки и изменение магнитного потока Φ (цифры внизу окна).
2. Зацепив мышью, перемещайте движки регуляторов
 - L – расстояния между проводами,
 - R – сопротивления переключки,
 - B_1 – величины индукции магнитного поля,
 и зафиксируйте значения, указанные в табл. 1 и под ней для вашей бригады.
3. Установив указанное в табл. 2 значение скорости движения переключки, щелкните левой кнопкой мыши по кнопке «Старт». Значения ЭДС и тока индукции занесите в табл. 2. Повторите измерения для других значений скорости из табл. 2.
4. Повторите измерения для двух других значений индукции магнитного поля, выбирая их из табл. 2. Полученные результаты запишите в табл. 3 и 4.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Постройте на одном листе графики зависимости тока индукции от скорости движения переключки при трех значениях индукции магнитного поля.
2. Для каждой прямой определите по графику (или, обработав точки на компьютере методом наименьших квадратов) коэффициент наклона по формуле

$$k = \frac{\Delta i}{\Delta V}.$$

3. Вычислите теоретическое значение коэффициент наклона для каждой прямой по формуле

$$k_{\text{ТЕОР}} = \frac{BL}{R}.$$

4. Заполните таблицу результатов измерений

Номер измерения	k , Ас/м	$k_{\text{ТЕОР}}$, Ас/м

5. Сделайте выводы по графикам и результатам измерений.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что называется элементарным магнитным потоком?
2. Что называется магнитным потоком через определенную поверхность?
3. Магнитный поток это векторная или скалярная характеристика МП?
4. При каких условиях магнитный поток через данную поверхность равен нулю?
5. При каких условиях магнитный поток равен произведению индукции магнитного поля на площадь поверхности?
6. Дайте определение циркуляции магнитного поля.
7. Циркуляция вектора индукции МП - это векторная или скалярная характеристика МП? Что такое элементарная циркуляция?
8. При каких условиях циркуляция некоторой векторной характеристики поля по замкнутому контуру равна 0?
9. При каких условиях циркуляция рассчитывается особенно просто?
10. Сформулируйте закон электромагнитной индукции в вакууме.
11. Какое поле является вихревым?
12. Чем отличается электрическое поле, созданное точечным зарядом, от электрического поля, появляющегося при наличии переменного магнитного поля?
13. Сформулируйте закон ЭМИ для замкнутого проводящего контура.
14. Опишите все способы создания переменного магнитного потока.
15. В результате чего изменяется со временем магнитный поток в данной работе?
16. Как выглядит поверхность, через которую формируется переменный магнитный поток в данной работе?
17. Какова зависимость магнитного потока от времени в данной работе?

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высшая школа, 2004.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

2_3. СВОБОДНЫЕ ЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ В RLC-КОНТУРЕ**ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

- Изучение процесса свободных затухающих колебаний в электрическом колебательном контуре и его компьютерное моделирование.
- Исследование на компьютерной модели закономерностей свободных затухающих колебаний.
- Определение величины индуктивности контура.

ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Ознакомьтесь с конспектом лекций по данной теме. Изучите по учебнику соответствующий материал [1] – Гл.18, §§ 143, 146. Кратко законспектируйте теорию. Рассмотрите изображение на рис. 1 и зарисуйте его в отчет по лабораторной работе. Подготовьте таблицы. Подготовьте ответы на вопросы и выполните задания для самоконтроля.

Получите допуск у преподавателя.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

КОЛЕБАТЕЛЬНЫМ RLC-КОНТУРОМ называется замкнутая цепь, содержащая катушку индуктивности с индуктивностью L , конденсатор с емкостью C и резистор с сопротивлением R .

НАПРЯЖЕНИЕ НА КОНДЕНСАТОРЕ: $U_c = \frac{Q}{C}$, (Q - заряд конденсатора).

ЭДС САМОИНДУКЦИИ В КАТУШКЕ: $\mathcal{E}_L = -L \frac{dI}{dt}$ (I – ток через катушку).

НАПРЯЖЕНИЕ НА идеальной (без потерь) КАТУШКЕ: $U_L = -\mathcal{E}_L$.

НАПРЯЖЕНИЕ НА РЕЗИСТОРЕ: $U_R = IR$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА: $I = \frac{dQ}{dt}$.

Если в цепи нет резистора (сопротивление $R = 0$), то в контуре возможны гармонические (незатухающие) колебания тока I , заряда конденсатора Q и напряжения на элементах. Такие колебания называются свободными незатухающими. При теоретическом исследовании процессов в колебательном контуре используется закон Ома и правила (законы) Кирхгофа для цепей переменного тока. В результате получают различные дифференциальные уравнения. Ниже приведены некоторые частные случаи.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ свободных незатухающих колебаний заряда на конденсаторе Q :

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} + \omega_0^2 Q = 0 ,$$

где $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ – СОБСТВЕННАЯ ЧАСТОТА колебаний в контуре.

Его решение

$$Q(t) = Q_{\text{MAX}} \cos(\omega_0 t + \alpha_0),$$

где α – начальная фаза, Q_{MAX} - амплитуда.

ПЕРИОД КОЛЕБАНИЙ: $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ свободных затухающих колебаний, имеющих место при наличии в контуре резистора с сопротивлением R

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} + 2\beta \frac{dQ}{dt} + \omega_0^2 Q = 0 ,$$

где $\beta = \frac{R}{2L}$ – коэффициент затухания.

Его решение:

$$Q(t) = Q_{\text{MAX}} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha_0), \quad (1)$$

где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ – частота затухающих колебаний.

ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ ЗАТУХАНИЯ в контуре τ есть время, за которое амплитуда колебаний уменьшается в $e = 2,73$ раз.

На графике зависимости амплитуды затухающих колебаний от времени (рис.1) касательная, проведенная к этому графику в начальный момент времени, пересекает ось времени в точке $t = \tau$.

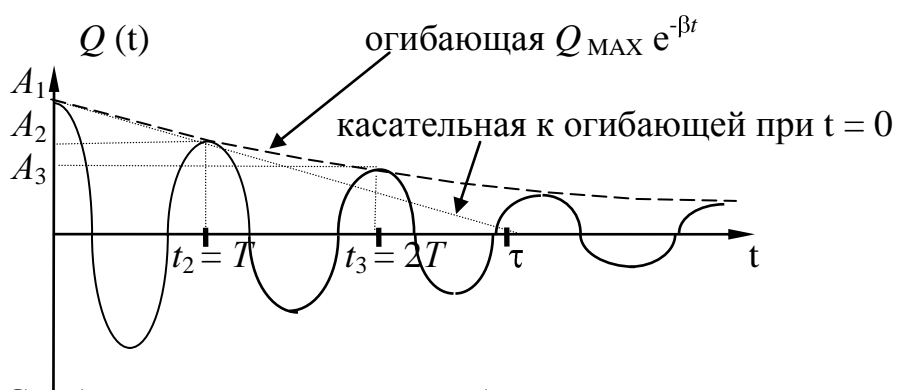


Рис.1. Свободные затухающие колебания заряда на конденсаторе в контуре

ЛОГАРИФМИЧЕСКИМ ДЕКРЕМЕНТОМ ЗАТУХАНИЯ называется величина, определяемая формулой

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T.$$

Для N -ой амплитуды, измеряемой в момент времени $N \cdot T$, где N – целое, положительное число

$$\ln \frac{A(t)}{A(t+NT)} = N\beta T = N\lambda. \quad (2)$$

ДОБРОТНОСТЬ контура равна $Q = \frac{\pi}{\lambda}$.

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Запустите программу компьютерного моделирования. Выберите «Модель 2.3. Свободные колебания в RLC -контуре».

Закройте окно теории, если вы его открывали. Внимательно рассмотрите рис.2, найдите все регуляторы и другие основные элементы.

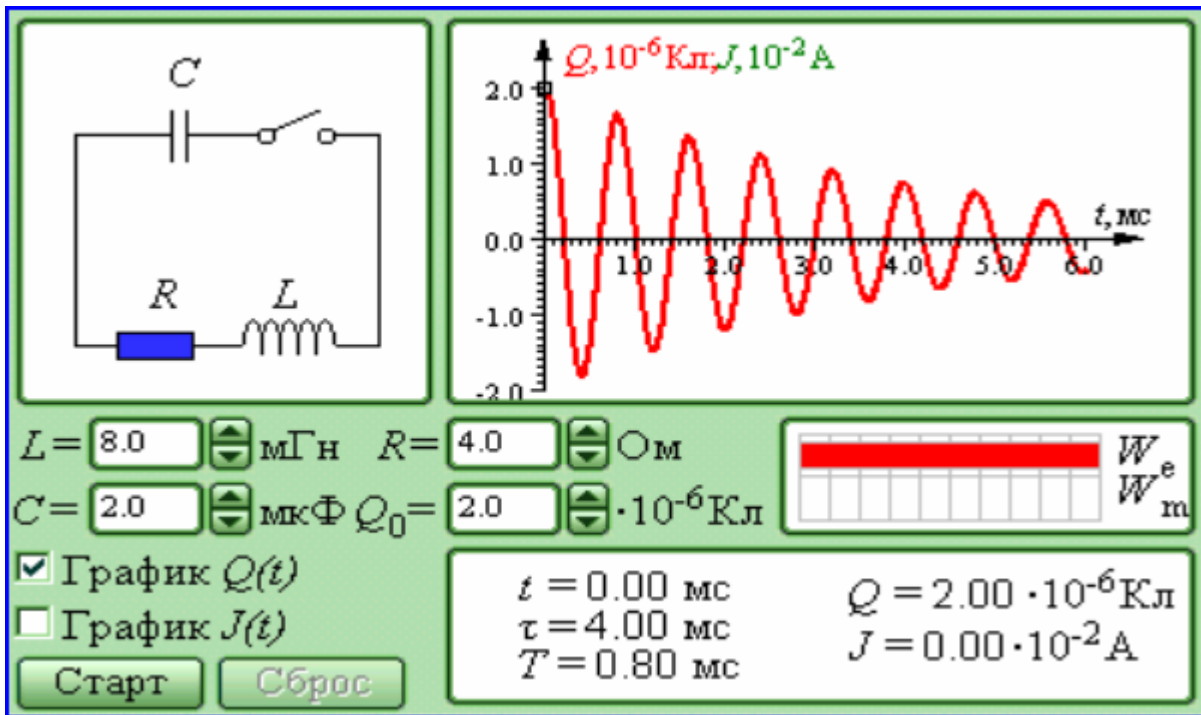


Рис.2. Модель колебательного контура с затуханием

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Нажмите мышью кнопку «Сброс». Подведите маркер мыши к кнопке регулятора величины емкости конденсатора C . Нажимая на левую кнопку мыши, меняйте величину емкости конденсатора и установите числовое значение, взятое из табл.1 для вашей бригады.
2. Аналогичным способом установите величину индуктивности в соответствии с табл. 1.
3. Установите значение сопротивления резистора $R = 1$ Ом. Нажав кнопку «Старт», наблюдайте график зависимости заряда конденсатора от времени.
4. Останавливая процесс кнопкой «Стоп», измерьте линейкой длины отрезков, соответствующих шести первым амплитудам колебания заряда и запишите их в табл.2.
5. После измерения снова запустите процесс кнопкой «Старт». Меняя сопротивление R , повторите измерения амплитуд и заполните табл.2.

Таблица 1

Значения емкости конденсатора и индуктивности катушки (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
C , мкФ	3	3	2,7	2,7	2,4	2,4	2	2
L , мГн	6	7	8	9	10	9	8	7

Таблица 2

Результаты измерений при $C = \underline{\hspace{1cm}}$ мкФ, $L = \underline{\hspace{1cm}}$ мГн, $T = \underline{\hspace{1cm}}$ мс

R Ом	A ₁ мм	A ₂ мм	A ₃ мм	A ₄ мм	A ₅ мм	A ₆ мм
1						
3						
5						
7						

Таблица 3

Результаты расчетов

R, Ом	1	3	5	7
N				
A(t)/A(t+NT)				
ln[A(t)/A(t+NT)]				
λ				
β , мс ⁻¹				
τ , мс				

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Рассчитайте значение периода свободных колебаний и запишите его в заголовке табл. 2.
2. Постройте на одном чертеже графики экспериментальных зависимостей амплитуды колебания A от времени (4 линии, соответствующие разным R).
3. Для каждого графика постройте касательную к нему в начальный момент времени.
4. Для каждого сопротивления определите максимальное количество полных колебаний N , наблюдаемых в эксперименте, и запишите результаты в табл.3.
5. Рассчитайте отношения соответствующих амплитуд, их логарифмы и внесите результаты в табл.3.
6. Рассчитайте величину логарифмического декремента затухания λ и коэффициента затухания β , используя формулу (2), и также внесите в табл.3.
7. Рассчитайте постоянную времени затухания $\tau = 1/\beta$ и запишите в табл.3.
8. Постройте график зависимости коэффициента затухания от сопротивления резистора.
9. Запишите ответ и сформулируйте выводы по результатам и графикам.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое колебательный контур?
2. Каковы электрические характеристики резистора, конденсатора, катушки?
3. Дайте определение гармонических колебаний.
4. Что такое период колебания?
5. Напишите формулу для напряжения на конденсаторе.
6. Напишите формулу для напряжения на катушке индуктивности.
7. Напишите формулу для напряжения на резисторе.
8. Какие законы выполняются для тока и напряжения на отдельных элементах в колебательном контуре?
9. Сформулируйте и запишите закон электромагнитной индукции в общем виде.
10. Сформулируйте и запишите закон самоиндукции.
11. Запишите дифференциальное уравнение для заряда на конденсаторе в контуре, где существуют свободные незатухающие гармонические колебания.
12. Запишите дифференциальное уравнение для заряда на конденсаторе в контуре, где существуют свободные затухающие колебания.
13. Напишите формулу циклической частоты свободных незатухающих колебаний в контуре.
14. Напишите формулу зависимости заряда на конденсаторе от времени при свободных незатухающих колебаниях в контуре.
15. Напишите формулу зависимости циклической частоты свободных затухающих колебаний в контуре от его параметров.
16. Напишите формулу зависимости заряда на конденсаторе от времени при свободных затухающих колебаниях в контуре.
17. Напишите формулу для коэффициента затухания.
18. Дайте определение постоянной времени затухания.
19. Напишите формулу логарифмического декремента затухания. Что он характеризует?
20. Напишите формулу связи логарифмического декремента затухания с коэффициентом затухания.
21. Изобразите зависимость заряда на конденсаторе от времени при свободных затухающих колебаниях в контуре. Покажите на рисунке, как определяется графически постоянная времени затухания.
22. Докажите, что касательная к графику зависимости $Q(t)$ в точке $t = 0$ пересекает ось времени в точке $t = \tau$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высшая школа, 2004.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

2_4. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Изучение процесса сложения когерентных электромагнитных волн, распространяющихся в вакууме или воздухе.
- Исследование на компьютерной модели закономерностей взаимодействия световых волн от двух источников (щелей).

ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Ознакомьтесь с конспектом лекций по данной теме. Изучите по учебнику соответствующий материал [1] – Гл.19, §§ 154, 156, Гл.22, §§ 171-173. Кратко законспектируйте теорию. Рассмотрите изображение на рис. 1 и зарисуйте его в отчет по лабораторной работе. Подготовьте таблицы. Подготовьте ответы на вопросы и выполните задания для самоконтроля.

Получите допуск у преподавателя.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

ВОЛНОЙ называется *возмущение физической характеристики, форма которого определяется источником, распространяющееся в пространстве при сохранении формы этого возмущения (незатухающая волна) или при изменении этой формы по определенному закону (например, затухающая волна).*

В общем случае для незатухающей волны, распространяющейся со скоростью v вдоль некоторой оси X , зависимость возмущения характеристики A от координаты и времени должна иметь вид

$$A(x, t) = f(x - vt). \quad (1)$$

Вид функции f определяется источником волны, а скорость распространения волны будет связана с характеристиками среды, в которой волна распространяется, и с характеристиками волны.

ГАРМОНИЧЕСКОЙ называется *волна, в которой возмущение физической характеристики изменяется в пространстве и во времени по закону синуса или косинуса.* Уравнение плоской гармонической волны физической характеристики A при распространении волны в положительном направлении оси X имеет вид

$$A(x, t) = A_{MAX} \sin(\omega t - kx), \quad (2)$$

где A_{MAX} – это амплитуда волны (определяется ее источником), ω есть цикличе-

ская частота (тоже определяется источником), k - волновое число, связанное с длиной волны соотношением

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}.$$

Длиной волны называется минимальное расстояние, через которое зависимость возмущения от времени и координаты полностью повторяется:

$$\lambda = V \cdot T = \frac{V}{\nu} = 2\pi \frac{V}{\omega},$$

где V – скорость распространения, T – период, $\nu = \frac{\omega}{2\pi}$ - частота гармонической волны.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ волной называется *волна, распространяющаяся в электромагнитном поле*. Световыми называют ЭМВ, *видимые человеческим глазом*. Они имеют длины волн от 0,3 мкм до 0,7 мкм.

МОНОХРОМАТИЧЕСКИМИ (в переводе «одного цвета») называют *волны, которые человеческий глаз воспринимает, как световые лучи одного цвета*. Такой свет получают, например, при разложении белого света в призмах или с помощью световых фильтров. Довольно часто монохроматические волны отождествляют с гармоническими. Однако такие волны не являются строго гармоническими, поскольку имеют ограниченную длину (см. [1]-§171).

КОГЕРЕНТНОСТЬЮ называется *согласованное протекание нескольких колебательных или волновых процессов*.

КОГЕРЕНТНЫМИ называются *волны, для которых разность фаз возбуждаемых ими колебаний остается постоянной во времени*. В частности, когерентными являются гармонические волны с одинаковыми частотами.

ИНТЕРФЕРЕНЦИЕЙ называется *устойчивое перераспределение в пространстве интенсивности суммарной волны, возникающее в результате суперпозиции волн, возбуждаемых несколькими когерентными источниками волн*.

Монохроматические волны могут интерферировать, только если они получены от одного источника и после расщепления на два луча (например, с помощью полупрозрачной пластины) пройдут разный оптический путь (см. [1]-§173).

Рассмотрим два одинаковых точечных источника гармонических волн с длиной волны λ (рис.1). Расстояние между ними обозначим d . Экран, на котором происходит сложение волн, параллелен линии источников (1 и 2) и расположен на расстоянии L от нее. Максимум при интерференции волн на экране наблюдается при условии, что разность хода волн Δr , приходящих в данную точку, кратна длине волны: $\Delta r = m\lambda$ ($m = 0, 1, 2, \dots$ – порядок максимума).

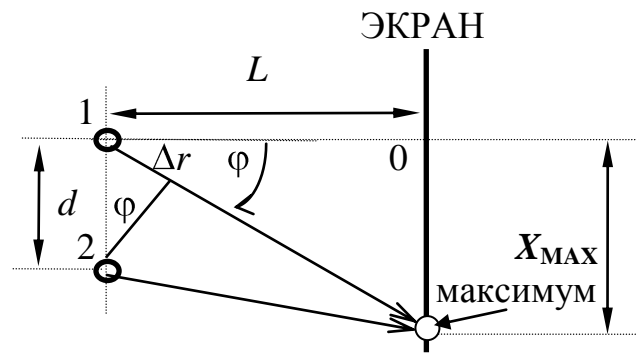


Рис.1. Схема интерференции гармонических волн от двух источников

Формула для первого максимума ($m = 1$) имеет вид

$$d \sin \varphi = m \lambda . \quad (3)$$

При $\varphi \ll 1$ или $L \gg d$, $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi \approx \frac{X_{MAX}}{L}$, из формулы (3) получим:

$$\frac{X_{MAX} d}{L} = \lambda, \quad \text{отсюда} \quad X_{MAX} = \lambda L \frac{1}{d}. \quad (4)$$

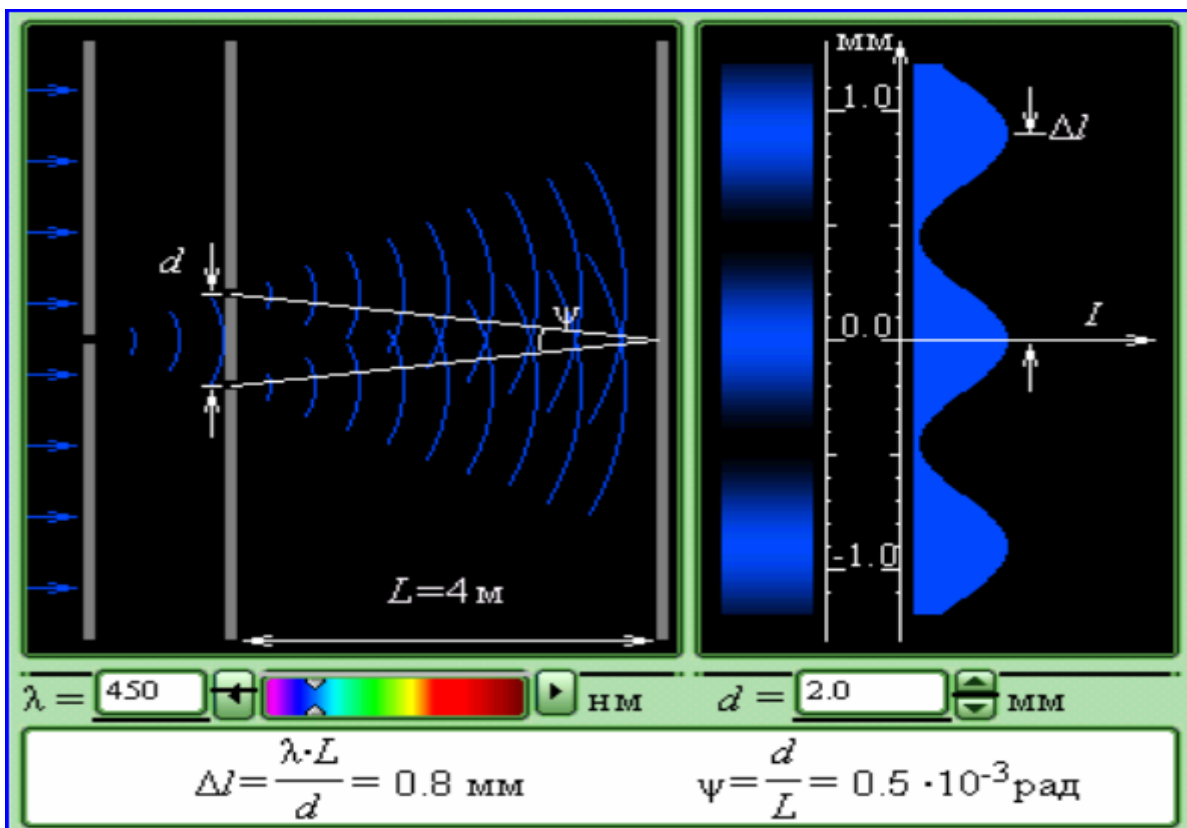


Рис.2. Модель интерференции двух гармонических волн от точечных источников

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Запустите программу компьютерного моделирования. Выберите «Модель 3.10. Интерференционный опыт Юнга». Внимательно рассмотрите рис.2, найдите щели, экран, все регуляторы и другие основные элементы.

Зарисуйте модель с экрана в свой отчет по лабораторной работе.

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Подведите маркер мыши к движку регулятора на картинке спектра λ (рис.2). Нажмите левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом состоянии, двигайте движок, установив числовое значение длины волны λ_1 , взятое из табл. 1 для вашей бригады.
2. Щелкая мышью кнопку регулятора расстояния d между щелями, установите минимальное значение $d = 1$ мм.
3. Измерьте, используя шкалу на экране, расстояние X_{MAX} между нулевым и первым максимумами (в компьютерной модели обозначено, как Δl) и запишите в табл. 2.
4. Увеличивая d каждый раз на 0,3 мм, измерьте еще 9 значений расстояния X_{MAX} .
5. Устанавливая новые числовые значения длины волны λ , из табл. 1 для вашей бригады, повторите измерения по п. 2, записывая результаты в табл. 3, 4 и 5.

Таблица 1

Примерные значения длины волны (нм) (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
λ_1	400	405	410	415	420	425	430	435
λ_2	500	505	510	515	520	525	530	535
λ_3	580	585	590	595	600	605	610	615
λ_4	630	635	640	645	650	655	660	665

Таблицы 2–5

Результаты измерений при $\lambda = \underline{\hspace{1cm}}$ нм

d , мм										
X_{MAX} , мм										
$1/d$, мм ⁻¹										

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Рассчитайте и внесите в табл. 2-5 значения обратного расстояния между

- щелями $1/d$.
2. Постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей смещения первого максимума $X_{\text{МАХ}}$ от обратного расстояния между щелями (указав на них длину волны λ).
 3. Запишите ответ и проанализируйте ответы и графики.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое волна?
2. Какой вид должна иметь функция $f(x, t)$, описывающая волну произвольной формы, распространяющуюся вдоль оси Ox .
3. Что определяет форму волны и направление ее распространения?
4. Напишите уравнение одномерной гармонической волны, распространяющейся в положительном направлении оси Ox .
5. Что такое гармоническая волна?
6. Что такое длина волны?
7. Как связаны длина волны и ее частота?
8. Что такое когерентность?
9. Дайте определение когерентных волн.
10. Что такое свет?
11. Что такое монохроматические волны?
12. Как получают монохроматические волны?
13. Как получают когерентные волны от монохроматического источника?
14. Дайте определение явления интерференции.
15. Могут ли интерферировать монохроматические волны, воспринимаемые глазом, как один цвет?
16. Чему равна разность хода двух одинаковых гармонических волн, излучаемых двумя источниками?
17. При какой разности хода двух волн при их сложении наблюдается максимум?
18. При какой разности хода двух волн при их сложении наблюдается минимум?

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высшая школа, 2004.

НЕКОТОРЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ СВЕДЕНИЯ

ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

Название	Символ	Значение	Размерность
Гравитационная постоянная	γ или G	$6,67 \cdot 10^{-11}$	$\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$
Ускорение свободного падения на поверхности Земли	g_0	9,8	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8$	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{26}$	кмоль^{-1}
Универсальная газовая постоянная	R	$8,31 \cdot 10^3$	$\text{Дж} \cdot \text{кмоль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$	$\text{Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Элементарный заряд	e	$1,6 \cdot 10^{-19}$	Кл
Масса электрона	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31}$	кг
Постоянная Фарадея	F	$9,65 \cdot 10^4$	$\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$	$\text{Ф} \cdot \text{м}^{-1}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	$\text{Гн} \cdot \text{м}^{-1}$
Постоянная Планка	h	$6,62 \cdot 10^{-34}$	$\text{Дж} \cdot \text{с}$

ПРИСТАВКИ И МНОЖИТЕЛИ

для образования десятичных кратных и дольных единиц

Приставка	Символ	Множитель
дека	да	10^1
гекто	г	10^2
кило	к	10^3
мега	М	10^6
гига	Г	10^9
тера	Т	10^{12}

Приставка	Символ	Множитель
деци	д	10^{-1}
санتي	с	10^{-2}
милли	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}