Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского федерального университета
Дата подписания: 20.07.2023 14:52:40
Уникальный программный ключ:
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «ФИЗИКА» для студентов направления подготовки
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов,
"Автомобильный сервис"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Содержание

№ п/п Стр.

Введение

1. Цель и задачи изучения дисциплины

2. Оборудование и материалы

3. Наименование лабораторных работ

4. Содержание лабораторных работ

4.1 Лабораторная работа № 1. Обработка результатов физического эксперимента. Изучение движения тела брошенного под углом к горизонту

4.2 Лабораторная работа № 2. Изучение законов динамики поступательного и вращательного движений с помощью машины Атвуда

4.3. Лабораторная работа №3. Определение скорости полета пули с помощью физического маятника

4.4 Лабораторная я работа №4. Определение периода колебаний физического маятника

4.5 Лабораторная работа №5. Определение коэффициента внутреннего трения жидкости методом падающего шарика (метод Стокса).

4.6 Лабораторная работа №6. Определение отношения удельных теплоемкостей воздуха методом адиабатического расширения

4.7 Лабораторная работа №7. Изучение электростатического поля.

4.8 Лабораторная работа №8. Измерение сопротивления с помощью моста Уитстона

4.9 Лабораторная работа №9. Исследование электрической цепи постоянного тока

4.10 Лабораторная работа №10. Изучение явления электромагнитной индукции.

4.11 Лабораторная работа №11. Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли

4.12 Лабораторная работа №12. Исследование колебаний в простом колебательном контуре

4.13 Лабораторная работа №13. Измерение длины световой волны с помощью дифракционной решётки.

4.14 Лабораторная работа №14. Изучение внешнего фотоэффекта.

4.15 Лабораторная работа №15. Изучение энергетического спектра электронов.

4.16 Лабораторная работа №16. Изучение космического излучения.

4.17 Лабораторная работа №17. Проверка закона Малюса.

5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000B3A0B1B9E3E4A5B0C1D1E1A8
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Интернет, необходимых для освоения дисциплины

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Введение

Лабораторные занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины «Физика», использование специального лабораторного оборудования и технических средств. Лабораторные занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Лабораторные занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении экспериментных задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью лабораторных занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Физика» является формирование у студентов компетенций позволяющий выработать навыки физических исследований в сферах академической, профессиональной и общенаучной деятельности.

Задачи освоения дисциплины:

- изучение законов окружающего мира в их взаимосвязи;
- овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач;
- формирование навыков по применению положений фундаментальной физики к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новых технологий;
- освоение основных физических теорий, позволяющих описать явления в природе, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных технологических задач.

2. Оборудование и материалы

Лабораторный стенд «Скамья Жуковского». Лабораторный стенд «Машина Атвуда». Лабораторный стенд «Маятник Максвелла». Набор демонстрационный «Механические явления». Набор лабораторный «Механика» (расширенный).

Весы технические настольные с разновесами демонстрационный. Набор демонстрационный «Динамика вращательного движения». Трубка Ньютона. Набор демонстрационный «Газовые законы и свойства насыщенных паров». Набор демонстрационный «Молекулярная физика и тепловые явления». Набор демонстрационный «Звуковые колебания и волны». Набор демонстрационный «Динамика вращательного движения». Набор демонстрационный «Газовые законы и свойства насыщенных паров». Набор демонстрационный «Молекулярная физика и тепловые явления».

Комплект учебной мебели.

3. Наименование практических работ

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
1 семестр			
1	**Лабораторная работа№ 1.** Обработка результатов физического эксперимента. Изучение движения тела брошенного под углом к горизонту.	1,5	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB6B922205E7BA300060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

	Изучить методы количественного и графического представления эксперисментальных результатов. Подтвердить на опыте справедливость формул кинематики.		
2	**Лабораторная работа№ 2** Изучение законов динамики поступательного движения с помощью машины Атвуда. Проверка законов поступательного движения с помощью машины Атвуда.	1,5	
3	**Лабораторная работа№ 3**. Определение скорости полета пули с помощью физического маятника. Научиться определять скорость полета пули с помощью физического маятника.	1,5	
4	**Лабораторная работа № 4**. Определение периода колебаний физического маятника. Определение скорости полета пули с помощью физического маятника.	1,5	
5	**Лабораторная работа № 5.** Определение коэффициента внутреннего трения жидкости методом падающего шарика (метод Стокса). Познакомиться с методом измерения вязкости жидкой среды.	1,5	
6	**Лабораторная работа № 6.** Определение отношения удельных теплоемкостей воздуха методом адиабатического расширения. Изучить газовые законы, первый закон термодинамики и понятие теплоёмкости. Определить отношение теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме (коэффициент Пуассона) в условиях, близких к нормальным.	1,5	
7	**Лабораторная работа № 7.** Изучение электростатического поля. Изучение электростатического поля; построение эквипотенциальных поверхностей поля.	1,5	
8	**Лабораторная работа № 8.** Измерение сопротивления с помощью моста Уитстона. Целью работы является изучение метода измерения сопротивления проводников с помощью мостовой схемы и определение удельного сопротивления материала проводника.	1,5	
9	**Лабораторная работа № 9.** Исследование электрической цепи постоянного тока. Изучение зависимости силы тока, напряжения, полной полезной мощности и	1,5	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

	к.п.д. источника от сопротивления нагрузки.		
	Итого за 1 семестр:	**13,5**	
2 семестр			
10	**Лабораторная работа № 10.** Изучение явления электромагнитной индукции. Изучение электрических токов возникающих при явлении электромагнитной индукции.	1,5	
11	**Лабораторная работа № 11.** Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли. Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли.	1,5	
12	**Лабораторная работа № 12.** Исследование колебаний в колебательном контуре. Изучение затухающих электрических колебаний колебательном контуре.	1,5	
13	**Лабораторная работа № 13.** Измерение длины световой волны с помощью дифракционной решётки Изучение движений зарядов в электрических и магнитных полях, измерение удельного заряда электрона.	1,5	
14	**Лабораторная работа № 14.** Изучение внешнего фотоэффекта Познакомится с явлением дифракции света в параллельных лучах дифракционной решетки.	1,5	
15	**Лабораторная работа № 15.** Изучение энергетического спектра электронов Проверить выполнение переноса электронов.	1,5	
16	**Лабораторная работа № 16.** Изучение космического излучения Определение скорости перемещения.	1,5	
17	**Лабораторная работа № 17**. Проверка закона Малюса. Проверить выполнение закона Малюса**.**	1,5	
	Итого за 2 семестр	**12**	
	Итого	**25,5**	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

4. Содержание лабораторных работ

Лабораторная работа № 1

Тема работы. **Обработка результатов физического эксперимента. Изучение движения тела, брошенного под углом к горизонту**.

Цель работы. Изучить методы количественного и графического представления эксперисментальных результатов. Подтвердить на опыте справедливость формул кинематики.

Теоретическая часть.

Классификация погрешностей

Истинное значение физической величины абсолютно точно определить нельзя. При измерениях физических величин под действием самых разнообразных причин возникают *погрешности* измерений. Все погрешности принято разделять на *систематические, случайные и промахи* (ошибки).

Систематической называют такую погрешность, которая остается постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины. Такие погрешности появляются вследствие неисправности приборов, неточности метода исследования, каких-либо упущений экспериментатора, а также при использовании для вычислений неточных зависимостей (формул), констант и т.д.

Случайной называется погрешность, которая вызывается действием не поддающихся контролю многочисленных, независимых друг от друга факторов. Значение случайной погрешности колеблется от одного измерения к другому, что делает невозможным точное предсказание результата в каждом отдельном измерении. Однако при рассмотрении повторных измерений обнаруживается характерная закономерность результатов, их определенная устойчивость, которая и служит основой для математической обработки опытных данных, вычисления случайных погрешностей.

Промахом или *ошибкой* называют такую погрешность измерения, которая оказывается значительно больше ожидаемой при данных условиях. Ошибка обязательно должна быть исключена из результатов измерений.

Определение погрешностей при прямых измерениях

Прямыми называют такие измерения, при которых физическая величина измеряется непосредственно при помощи прибора.

Пусть x – действительное значение измеряемой величины, а x_1 – показания прибора. Абсолютной погрешностью называется величина

$$|\Delta x| = |x_1 - x| . \qquad (1)$$

Точность измерения характеризуется отношением абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины

$$\varepsilon = \frac{|\Delta x|}{x} . \qquad (2)$$

Это отношение называется *относительной погрешностью* и выражается в процентах.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Погрешности, допускаемые при прямых измерениях, нередко называются *приборными*, так как обусловлены классом точности прибора, который указывается либо на самом приборе, либо в паспорте. В тех случаях, когда на приборе класс точности не указан, абсолютная погрешность принимается равной половине цены деления.

Случайные погрешности имеют статистический характер, их математическая обработка производится с помощью теории вероятностей. При многократном измерении равновероятно получить результат как больший, так и меньший, чем истинное значение измеряемой величины.

Пусть проведено n измерений величины x и в результате получено n значений: x_1, x_2, …x_n . Величина

$$\langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \qquad (3)$$

называется *средним арифметическим* значением, является хорошим приближением к истинному значению измеряемой величины и, как правило, используется как окончательный итог серии измерений.

Рассмотрим несколько основных этапов упрощенной математической обработки результатов измерений.

1. Находим среднее арифметическое значение измеряемой величины $\langle x \rangle$.
2. Вычисляем абсолютные погрешности результатов отдельных измерений

$$|\Delta x_i| = |x_i - \langle x \rangle| \qquad (i = 1, 2, \ldots, n). \qquad (4)$$

Абсолютная погрешность имеет размерность измеряемой величины и характеризует качество отдельных измерений.

3. Вычисляем среднюю абсолютную погрешность

$$|\langle \Delta x \rangle| = \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \ldots + |\Delta x_n|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} |\Delta x_i|}{n}. \qquad (5)$$

4. Вычисляем относительную погрешность

$$\varepsilon = \left| \frac{\langle \Delta x \rangle}{\langle x \rangle} \right| \cdot 100\,\%. \qquad (6)$$

5. Записываем окончательный результат $x = \langle x \rangle \pm \langle \Delta x \rangle$. (7)

Определение погрешностей при косвенных измерениях

В большинстве случаев при проведении физических экспериментов исследуемая физическая величина не может быть измерена непосредственно, для ее определения требуется измерить ряд других величин, а искомую найти, подставив найденные значения в формулу, выражающую зависимость искомой величины от непосредственно измеряемых величин. Такие измерения называют косвенными.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000143E9AB8B053205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Для определения погрешностей косвенных измерений можно воспользоваться формулами дифференцирования, т.к. формулы погрешностей получаются в том же приближении, что и формулы для дифференциала функции. Во многих случаях, когда

формула удобна для логарифмирования, оказывается более удобной формула относительной погрешности. Относительная погрешность $\varepsilon = \frac{\Delta x}{x}$, но $d(\ln x) = \frac{dx}{x}$ и, следовательно, $\Delta(\ln x) = \frac{\Delta x}{x}$.

Иначе говоря, относительную погрешность можно рассчитать, если взять дифференциал натурального логарифма, определяющий зависимость данной величины от измеряемых величин. Наиболее часто встречающиеся формулы приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Математическая операция	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
x+y	Δx+Δy	$\frac{\Delta x + \Delta y}{x + y}$
x-y	Δx+Δy	$\frac{\Delta x + \Delta y}{x - y}$
xy	yΔx+xΔy	$\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$
xyz	yzΔx+xzΔy+xyΔz	$\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y} + \frac{\Delta z}{z}$
x/y	$\frac{y\Delta x - x\Delta y}{y^2}$	$\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$
x^n	$nx^{n-1} \cdot \Delta x$	$n\frac{\Delta x}{x}$
$\sqrt[n]{x}$	$\frac{1}{n} x^{\frac{1}{n}-1} \Delta x$	$\frac{1}{n}\frac{\Delta x}{x}$
$\frac{x}{1 \pm x}$	$\frac{\Delta x}{(1 \pm x)^2}$	$\frac{\Delta x}{x(1 \pm x)}$
e^x	$e^x \Delta x$	Δx
$\ln x$	$\frac{\Delta x}{x}$	$\frac{\Delta x}{x \ln x}$
$\sin x$	$\cos x \Delta x$	$ctgx \cdot \Delta x$
$\cos x$	$\sin x \Delta x$	$tgx \cdot \Delta x$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

tgx	$\frac{\Delta x}{\cos^2 x}$	$\frac{2\Delta x}{\sin 2x}$
$ctgx$	$\frac{\Delta x}{\sin^2 x}$	$\frac{2\Delta x}{\sin 2x}$

Изучение движения тела, брошенного под углом к горизонту

Тело, брошенное под углом α к горизонту с начальной скоростью $\vec{h}_0$, будет двигаться по криволинейной траектории , в любой точке которой вектор скорости может быть разложен на две составляющие – горизонтальную и вертикальную (рис.1).

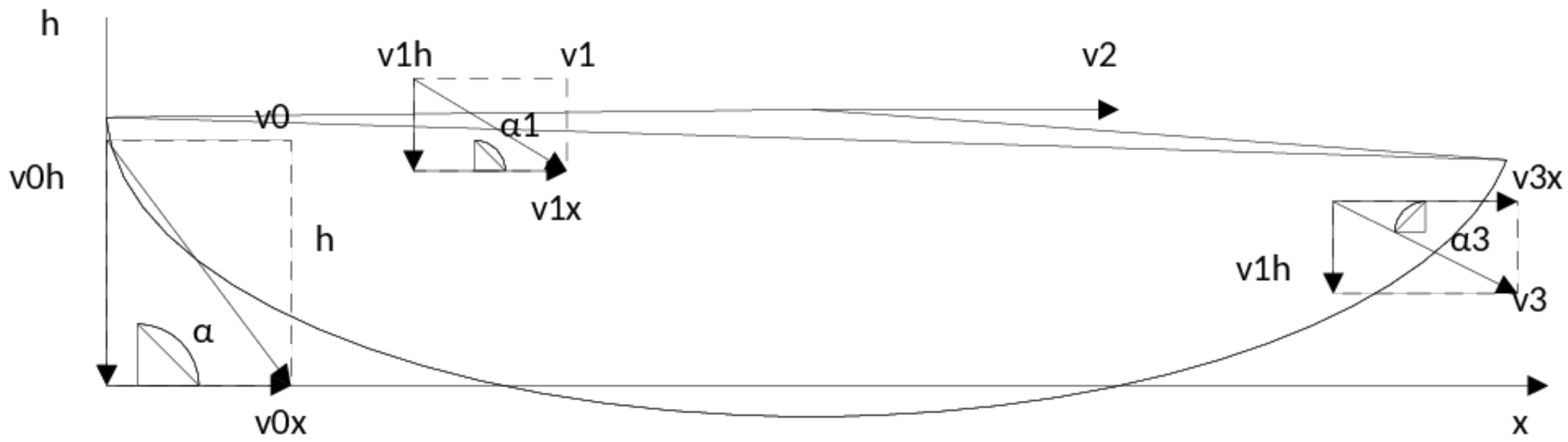


Рис.1.

Проекции этих векторов на оси координат, начало которых выбрано в точке бросания, равны:

$$\upsilon_x = \upsilon_0 \cdot Cos\,\alpha$$
$$\upsilon_y = \upsilon_0 \cdot Sin\,\alpha - gt \qquad (1)$$

При этом горизонтальная составляющая скорости не будет меняться с течением времени, т. к. ускорение свободного падения не имеет горизонтальной составляющей, а направленно вертикально вниз. Вертикальная составляющая скорости будет меняться по закону равнопеременного движения с ускорением a = g.

Изменение координат тела имеет вид.

$$x = \upsilon_0 \cdot Cos\,\alpha\ t$$
$$y = h = \upsilon_0 \cdot Sin\,\alpha - \frac{gt}{2} \qquad (2)$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0009043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: [illegible]
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Траектория тела, брошенного под углом к горизонту, представляет собой параболу. В вершине этой параболы вертикальная составляющая скорости равна нулю. В точке падения скорость тела равна по абсолютной величине скорости тела в точке бросания, а

направление ее составляет тот же угол, что и в точке бросания. Это следует из симметрии параболы и имеет место в отсутствие сопротивления воздуха.

Начальную скорость тела ,брошенного под углом к горизонту можно определить из уравнения (1).

$$\upsilon_0 = \frac{\ell}{Cos\,\alpha \cdot t} \qquad (3)$$

Где ℓ - дальность полета - изменение положения тела по оси x.

Время полета можно определить из уравнения (2). В наивысшей точке траектории движения тела скорость $v_y=0$. Время, соответствующее этому моменту, составляет половину всего времени полета тела, тогда

$$0 = \upsilon_0 \cdot Sin\,\alpha - \frac{gt}{2},$$

отсюда время полета тела

$$t = \frac{2\upsilon_0 \cdot \mathrm{Sin}\,\alpha}{g}. \qquad (4)$$

Подставляя (4) в (3) получим

$$\upsilon_0 = \sqrt{\frac{\ell \cdot g}{Sin\ 2\alpha}} \qquad (5)$$

Основной задачей механики является определение положения тела в пространстве в любой момент времени. Зная координаты тела всегда можно найти его скорости и ускорения (по определению этих величин). Основными законами, связывающими эти величины, силы и массу тела являются законы Ньютона и законы сохранения.

Оборудование и материалы.

Установка, состоящая из пружинного пистолета с шариком и линейки.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. При выполнении лабораторных работ с применением полетов баллистических тел не следует находиться в области полета тела.
5. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
6. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. Определите взвешиванием массу шарика m. Вычислите относительную погрешность массы m.

2. Закрепите пистолет на высоте h под углом α. Вычислите относительные погрешности высоты h и угла α.

3. Растянув пружину пистолета на x см, определите по динамометру силу F. Вычислите относительные погрешности x и F.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000[illegible]
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

4. Выстрелите 5-7 раз при одних и тех же значениях x и F. При каждом выстреле измеряйте дальность полета S. Вычислите относительную погрешность непосредственного измерения дальности S.

5. Вычислите:

а) коэффициент жесткости пружины пистолета k;

б) начальную скорость полета шарика υ_0;

в) вертикальную составляющую начальной скорости υ_{0y};

г) вертикальную составляющую конечной скорости υ_y;

д) горизонтальную составляющую начальной скорости υ_{0x};

е) горизонтальную составляющую конечной скорости υ_x.

6. Вычислите дальность полета по и сравните со значением, полученным в пункте 4.

7. Вычислите изменение импульса шарика за время полета $|\Delta\vec{p}|$. Вычислите силу, изменившую импульс шарика за время полета.

8. Сравните значения потенциальной энергии сжатой пружины, начальной кинетической энергии шарика и конечной энергии шарика.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Сформулируйте принцип суперпозиции движений. Где он применяется?
2. Выведите уравнение для определения полета шарика, брошенного под углом α к горизонту с начальной скоростью υ_0.
3. Выведите максимальную высоту подъема шарика, брошенного под углом α к горизонту с начальной скоростью υ_0.
4. Выведите уравнение дальности полета шарика, брошенного под углом α к горизонту с начальной скоростью υ_0.
5. Под каким углом надо бросить тело, чтобы дальность полета была максимальна? При каком угле бросания высота полета равна его дальности?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 15.06.2022 по 15.06.2023

Лабораторная работа № 2

Тема работы. **Изучение законов динамики поступательного движения с помощью машины Атвуда**

Цель работы. Проверка законов поступательного движения с помощью машины Атвуда.

Теоретическая часть.

Поступательным движением называют движение, при котором любая линия, проведенная в теле, остается параллельной самой себе. При таком движении траектории, скорость и ускорения точек тела совпадают. Следовательно, движение тела можно заменить движением его одной точки. Чаще всего, выбирают движение центра тяжести тела.

Основное уравнение поступательного движения, (второй закон Ньютона) имеет вид:

$$m \cdot \vec{a} = \sum \vec{F}$$

где m – масса, $\vec{a}$ – ускорение тела, $\sum \vec{F}$ - сумма сил, действующих на тело.

Вращательным движением называют движение, при котором точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной прямой, называемой осью вращения. Основное уравнение вращательного движения (второй закон Ньютона) имеет вид:

$$I \cdot \vec{\varepsilon} = \sum \vec{M},$$

Где $I_i = m_i \cdot r_i^2$ - момент инерции материальной точки, момент инерции вращающегося тела, равен сумме моментов инерции всех материальных точек этого тела: $I = \sum I_i$ $\sum \vec{M}$ - сумма моментов сил, действующих на тело. Момент силы – величина равная произведению модуля силы на плечо этой силы. Плечом силы называют кратчайшее расстояние от оси (центра) вращения до линии действия силы.

Машина Атвуда (рис.1) представляет собой блок радиуса R, через который перекинута нить с грузами m_1 и m_2. *Если* $m_2 ¿ m_1$, *то, учитывая, что нить нерастяжима, грузы придут в движение с одинаковым ускорением* $\vec{a}$. *Блок будет вращаться с угловым ускорением* $\vec{\varepsilon}$, *точки на его ободе будут иметь тангенциальное ускорение равное ускорению грузов. Уравнения движения грузов и блока, принимая направление движения по оси оси X, будут иметь вид:*

$$T_1 - m_1 \cdot g = m_1 \cdot a \qquad (1)$$

$$T_2 - m_2 \cdot g = m_2 \cdot a \qquad (2)$$

$$T_2 \cdot R - T_1 \cdot R - M_{тр} = I \cdot \varepsilon \qquad (3)$$

Где T_1 *и* T_2 *- силы натяжения нити слева и справа от блока,* $M_{тр}$ *- момент силы трения, угловое ускорение* $\varepsilon = a/R$.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

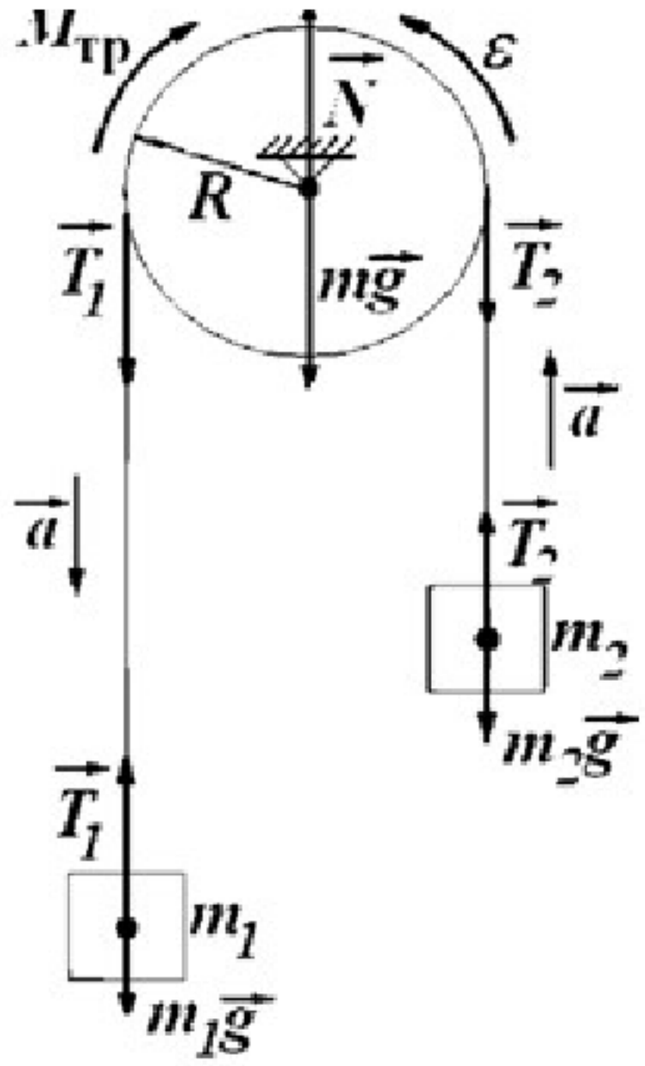


Рисунок 1 - машина Атвуда.

Описание установки, вывод расчетных формул

Общий вид установки приведён на рисунке 2. На вертикальной стойке 1 расположены три кронштейна: нижний 2, средний 3, верхний 4.

На верхнем кронштейне 4 крепится блок, через который перекинута нить с грузами 5, одинаковой массы. Внизу находится электромагнит, который при подаче на него напряжения удерживает систему с грузами в неподвижном состоянии.

На вертикальной стойке 1 укреплена сантиметровая линейка 8, по которой определяют начальное и конечное положение грузов, а, следовательно, и пройденный путь. Начальное положение определяют визуально по нижнему срезу груза, конечное - по индексу (красная метка) среднего кронштейна.

Секундомер с цифровой индикацией времени закреплён на основании прибора. Принцип работы прибора заключается в следующем. Когда на концах нити висят грузы одинаковой массы m_1 =100 г, система находится в равновесии. Если на один из грузов положить перегрузок массой Δm, ($m_2 = m_1 + \Delta m$) система выходит из равновесия и движется равноускоренно. Масса блока равна 102 грамма, радиус блока равен 7 см, момент инерции блока равен половине произведения массы его и квадрата его радиуса (как сплошного диска).

При равноускоренном движении ускорение грузов можно найти из известного соотношения

$$S = \frac{gt^2}{2}$$

$S = h$ - путь, пройденный грузами,

t - время их движения. Экспериментальное значение ускорения найдем через известный путь и время:

$$a = 2 \cdot S / t^2$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000013E0AB0B05385E7BA50000000013E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.05.2022 по 19.08.2023

При проведении опыта с одними значениями пройденного пути S и и массы перегрузки Δ m_1 из первых двух уравнений системы можно определить силы натяжения нитей:

$$T_1 = m_1 \cdot (a + g)$$

$$T_2 = m_2 \cdot (a + g)$$

Зная силы натяжения третьего уравнения можно найти момент сил трения:

$$M_{тр} = (T_2 - T_1) \cdot R - I \cdot \varepsilon$$

Опыт с одними перегрузками провести для двух значений S (0,6 м и 0,8 м). Сравнить значения сил напряжения и моменты сил трения для этих двух серий момента.

Оборудование и материалы.

Машина Атвуда, электромагнит, секундомер, набор перегрузов.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Проявлять осторожность и аккуратность при непосредственной работе с грузами, пружинами и иными необходимыми для работы приспособлениями.
6. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. Включить в сеть шнур питания прибора.
2. Переместить нить с грузами так, чтобы правый груз занял верхнее положение.
3. Включить электромагнит, удерживающий систему в положении покоя.
4. Положить на правый груз один из перегрузков. Установить средний кронштейн на отметке h_1 = 0,6 м, или 0,8 м. Включить секундомер одновременно с выключением электромагнита.
5. Записать по показаниям секундомера время движения груза.
6. Повторить опыт с выбранным перегрузком не менее пяти раз.
7. Повторить опыт при другой высоте. h_2.
8. Определить по результатам опыта среднее значение времени $t_{ср}$ и рассчитать по формуле значение ускорения.
9. Вычислить силы натяжения нитей и момент силы трения.
10. По данным опыта с одним значением S вычислять кинетическую энергию грузов в конечный момент движения

$$K_{гр} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot v^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot a^2 \cdot t^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot 2 \cdot S^2}{t^2}$$

11. Вычислить кинетическую энергию блока

$$K_{бл} = \frac{I \cdot \omega^2}{2} = \frac{m \cdot R^2 \cdot v^2}{2 \cdot 2 \cdot R^2} = \frac{m \cdot v^2}{4} = \frac{m \cdot S^2}{t^2}$$

12. Вычислить изменение потенциальной энергии грузов

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

$$\Delta П = m \cdot g \cdot S$$

13. Найти значение выражения $\Delta П - (K_{ср} + K_{ст})$

14. Объяснить полученный результат.

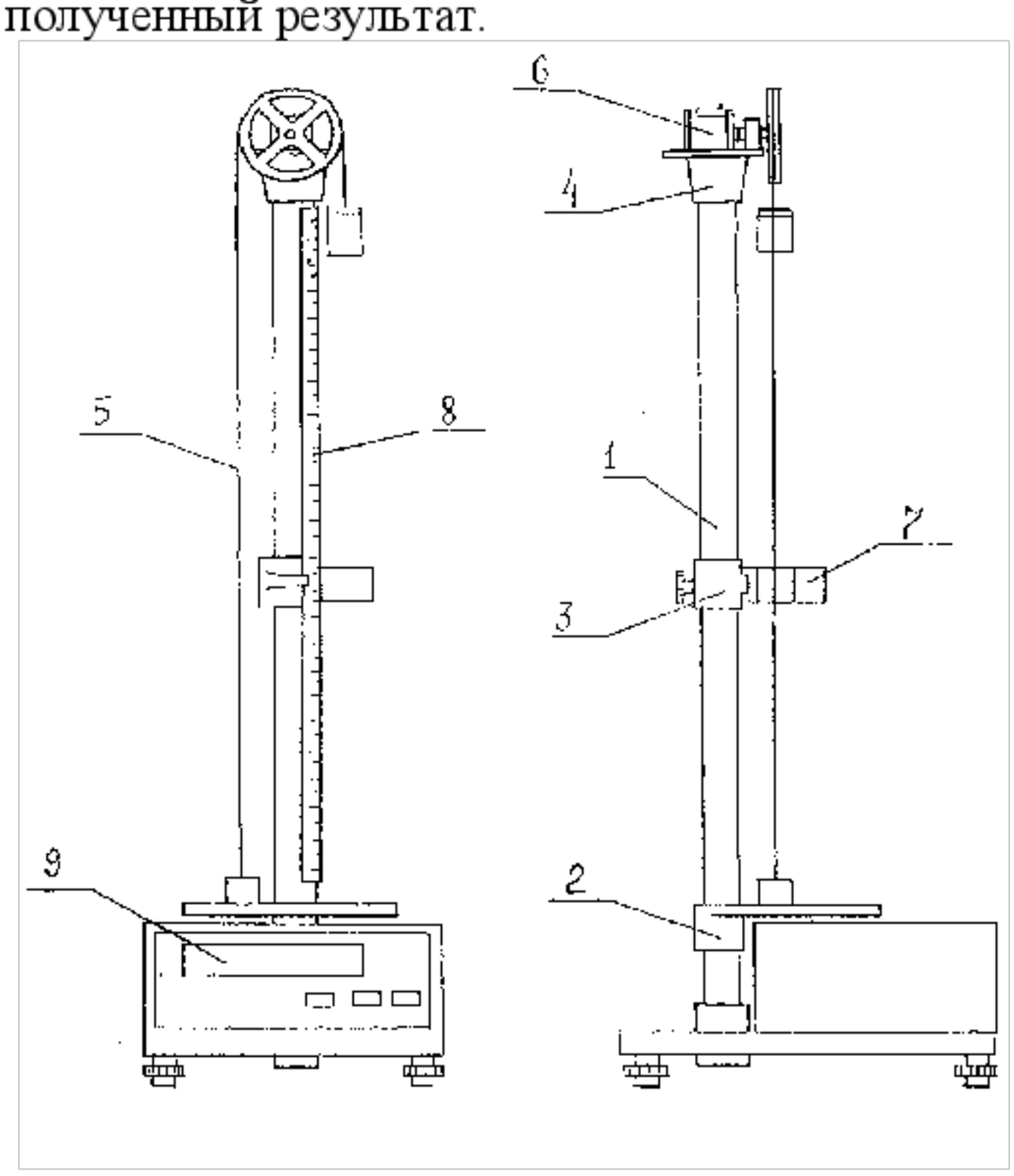


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Дайте определение поступательного движения твердого тела.
2. Что такое материальная точка и абсолютно твердое тело?
3. Объясните, что такое система отсчета?
4. Перечислите и объясните основные кинематические характеристики поступательного движения.
5. Сформулируйте первый закон Ньютона.
6. Дайте определения массы и импульса тела.
7. Сформулируйте второй закон Ньютона.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

8. Что такое равнодействующая сила?
9. Объясните третий закон Ньютона.
10. Дать определение сил упругости. Что такое упругая деформация ?
11. На чем основывается вывод расчетных формул в данной лабораторной работе?

Лабораторная работа № 3

Тема работы. **Определение скорости полета пули с помощью физического маятника.**

Цель работы. Научиться определять скорость полета пули с помощью физического маятника.

Теоретическая часть.

Физический маятник состоит из уловителя ("А" на рис.1) в виде цилиндра, заполненного пластичным материалом, который закреплен на стержне, способном свободно, с очень малым трением, качаться вместе с уловителем вокруг неподвижной оси. На рисунке 1 эта ось вращения (точка "О") перпендикулярна к плоскости рисунка.

Выстрел производится из пневматического пистолета, установленного так, чтобы вектор скорости пули был направлен горизонтально по прямой, проходящей через центр цилиндра с пластилином и перпендикулярно оси вращения О. Пуля, застревая в пластилине, теряет свою начальную скорость и одновременно сообщает маятнику некоторый момент импульса.

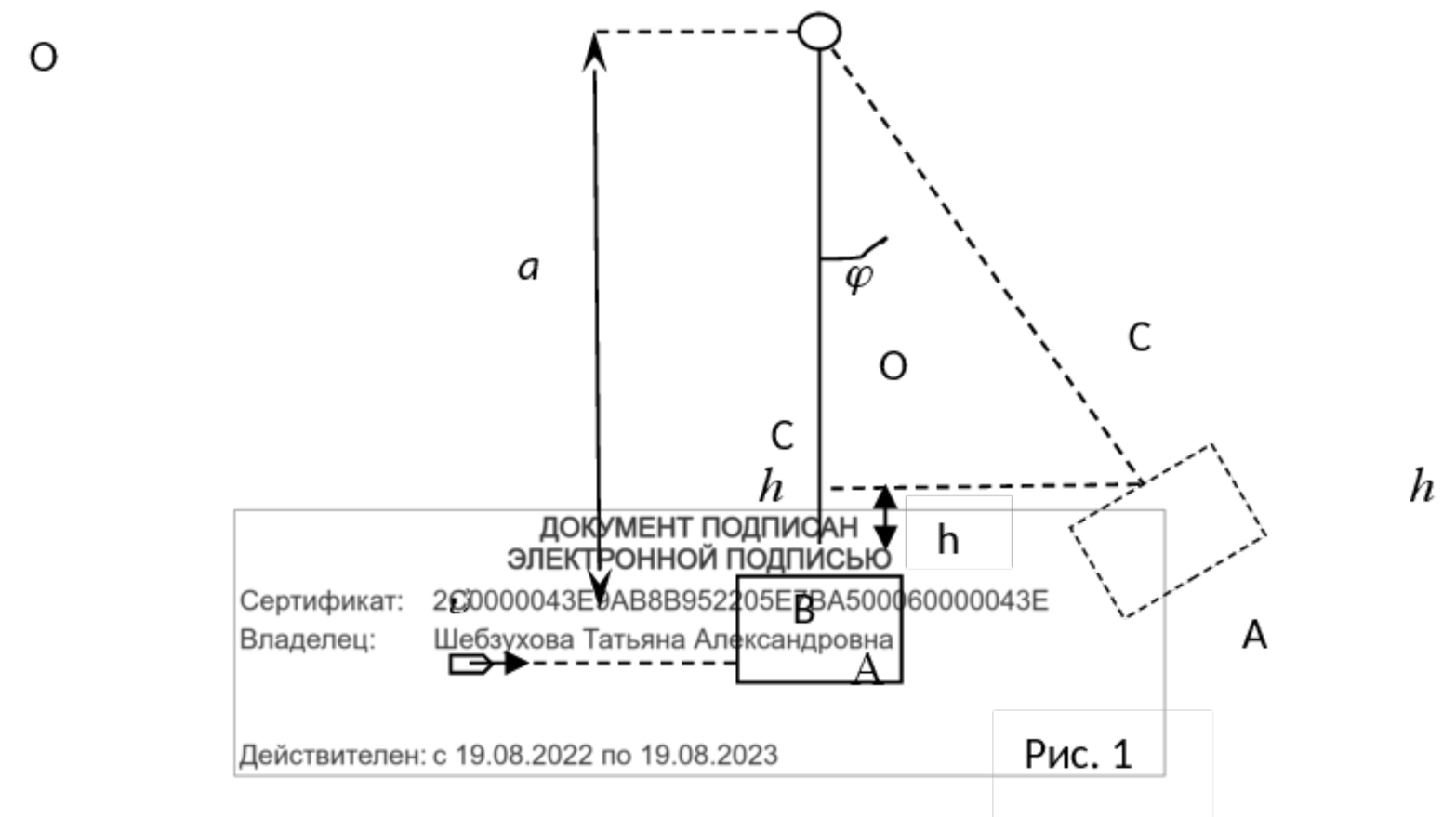
По завершении неупругого удара маятник отклоняется от вертикальной линии ОС на некоторый максимальный угол φ, который измеряется транспортиром – по максимальному смещению указателя, жестко закрепленного на стержне.

Для двух моментов времени, до удара, и после неупругого удара (под "ударом" мы подразумеваем относительно быстрый процесс торможения пули в пластилине) можно применить закон сохранения момента импульса:

$$mva = (I + ma^2)\omega_0, \qquad 11\backslash^*$$

*MERGEFORMAT ()

где m – масса пули, v – скорость пули до удара, a– расстояние от оси до точки удара пули, I – момент инерции маятника после удара. Вторым членом в скобках в (1) можно пренебречь далеко не всегда (для нашего случая вам необходимо на основании измерений показать (или опровергнуть) возможность такого упрощения).



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E0AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Рис. 1

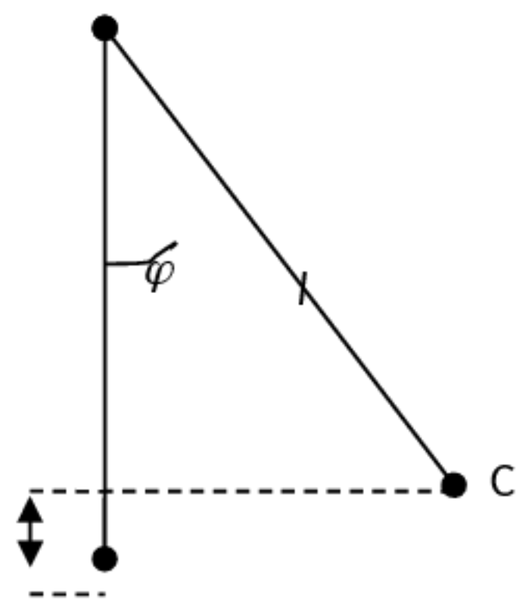


Рис. 2

Рис.1. Физический маятник

При неупругом ударе закон сохранения механической энергии не выполняется, однако, к процессу качания маятника, мы можем применить закон сохранения энергии. Непосредственно после удара маятник вместе с засевшей в нем пулей будет, как мы видели из (1), иметь угловую скорость, равную ω_0. Следовательно, он будет иметь и соответствующий ей запас кинетической энергии, который затем в момент наибольшего отклонения (и мгновенной остановки маятника) превратится в потенциальную энергию:

$$E_k = \frac{(I + ma^2)\omega_0^2}{2}$$

22* MERGEFORMAT

0

$$E_n = \left(M + m\frac{a}{l} \right) gh$$

33* MERGEFORMAT

0

$E_k = E_n$, следовательно

$$\frac{(I + ma^2)\omega_0^2}{2} = \left(M + m\frac{a}{l} \right) gh$$

44* MERGEFORMAT ()

где M – масса баллистического маятника, h – высота максимального поднятия его центра масс в точке остановки, $g = 9{,}81$ м/с^2 – ускорение свободного падения на широте г. Пятигорска, l – расстояние от оси вращения до центра масс маятника (без пули). Посредством балансировки используемого в данной работе физического маятника удалось установить, что центр масс маятника почти совпадает с точкой крепления стержня с цилиндром (т. В на рис. 1). Таким образом, расстояние l принимается равным длине стержня ОВ.

Второе (малое) слагаемое в выражении для потенциальной энергии (3) дополнительно учитывает, что центр масс пули в общем случае не совпадает с центром масс маятника.

О
φ
Рис.1
С
А
А
Рис. 1

Из рис.2 видно, что $h = l - l\cos\varphi = l(1 - \cos\varphi) = 2l\sin^2\frac{\varphi}{2}$, где l – расстояние от оси вращения О до центра масс маятника С. Итак, мы получили уравнение

$$\frac{1}{2}(ma^2 + I)\omega_0^2 = \left(m\frac{a}{l} + M \right) gh = 2\left(m\frac{a}{l} + M \right) gl\sin^2\frac{\varphi}{2}.$$

55* MERGEFORMAT ()

Таким образом на основании уравнений (1) и (5) получаем основную рабочую формулу

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 00C7A0043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

$$\upsilon = 2\sin\frac{\varphi}{2}\cdot\frac{\sqrt{(ma^2+I)\left(m\frac{a}{l}+M\right)gl}}{ma}. \qquad 66\backslash^*$$

MERGEFORMAT ()

Все величины, входящие в выражение (6), могут быть определены экспериментально.

Оборудование и материалы.

Установка, состоящая из физического маятника, подвешенного на горизонтальной оси и транспортира, пневматический пистолет, дротик.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. При выполнении лабораторных работ с применением полетов баллистических тел не следует находиться в области полета тела.
5. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
6. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

Масса цилиндра-уловителя $m_1 = 91$ г. Линейная плотность стержня, масса, приходящаяся на единицу длины: $\mu = 1{,}97$ г/см, тогда полная масса стержня $m_2 = \mu \cdot l$. Следовательно, масса маятника $M = m_1 + m_2$. Расстояние - ***a*** от оси вращения до точки удара измеряют миллиметровой линейкой. Положение центра масс маятника соответствует точке соединения уловителя и стержня. Длину стержня l определяют как расстояние от точки подвеса до точки соединения уловителя и трубки.

1. Определение момента инерции баллистического маятника

Момент инерции физического маятника находят по периоду его качаний, равному

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{Mgl}}, \qquad 77\backslash^*$$

MERGEFORMAT ()

(величины M и l уже определены).

Обратите внимание, что для достаточно надежного измерения периода качаний мы должны обеспечить выполнение следующих условий:

– амплитуда качаний должна быть достаточно мала, чтобы можно было пренебречь ее влиянием на период качаний;
– нужно проследить за отсутствием качаний маятника по другой ортогональной оси (или дождаться их полного затухания, если они по каким-либо причинам возникли);

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8C002205A7BA4A000000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

– период качаний надо определить как среднее за 20—30 качаний, чтобы уменьшить погрешность измерения времени секундомером.

Момент инерции вычисляется, исходя из (7), как

$$I = \frac{MglT^2}{4\pi^2}.$$ 88* MERGEFORMAT ()

Теоретическое значение момента инерции можно найти как сумму момента инерции стержня относительно оси вращения, перпендикулярной стержню и проходящей через один из его концов $I_{ст} = \frac{1}{3} m_2 a^2$ и момент инерции уловителя, который (в связи с достаточно большим расстоянием до оси вращения) можно принять за материальную точку, тогда $I_{уп.} = m_1 a^2$, а теоретическое значение момента инерции баллистического маятника

$$I_{теор} = I_{ст.} + I_{уп} = \frac{1}{3} m_2 a^2 + m_1 a^2.$$ 99* MERGEFORMAT ()

Рассчитать погрешность изменения. $\delta = ¿ I_{теор} - I \vee \frac{¿}{I_{теор}} \cdot 100\,\% ¿$.

2. Определение скорости полета пули

Масса каждой пули определяем взвешиванием. Это можно сделать потому, что логарифмический декремент затухания этих колебаний весьма мал и их амплитуда довольно долго остается почти постоянной (попытайтесь экспериментально оценить величину декремента!).

1) Измерить взвешиванием массу пули. Оценить погрешность определения массы.

2) Произвести выстрел. Отметить максимальный угол α отклонения указателя по транспортиру. Измерение угла отклонения α надежнее производить не только по амплитуде отклонения маятника при первом качании, но и по размаху его колебаний, длящихся некоторое время после удара (при этом полезно применять и усреднение отдельных отсчетов). Выстрел производить только по неподвижному цилиндру. Повторить опыт 5 раз. Найти среднее значение угла отклонения и погрешность измерения угла.

3) Вычислить значение скорости полета пули по формуле (6). Вычислить погрешность определения скорости полета пули.

4) Записать окончательный результат. Сделать вывод.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B953205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Контрольные вопросы.

1. Как определяется кинетическая энергия при поступательном движении? При вращательном движении?
2. Объясните, почему при неупругом ударе не выполняется закон сохранения механической энергии.
3. Сформулируйте и запишите закон сохранения импульса для неупругого взаимодействия пули и физического маятника (объясните вывод формулы (1)).
4. Сформулируйте теорему Штейнера.
5. Что такое момент инерции? Как определяется момент инерции стержня относительно оси, проходящей через один его концов.
6. Вывести формулу (6).

Лабораторная работа № 4

Тема работы. **Определение периода колебаний физического маятника**

Цель работы. Определение скорости полета пули с помощью физического маятника.

Теоретическая часть.

Физическим маятником называется твердое тело, совершающее колебания относительно неподвижной оси под действием силы тяжести (рис.1).

Эта ось является горизонтальной, и она не проходит через центр масс тела (такая ось называется осью качания маятника). При малых углах отклонения от положения равновесия и в отсутствие сил сопротивления движение маятника описывается уравнением Рис.1.

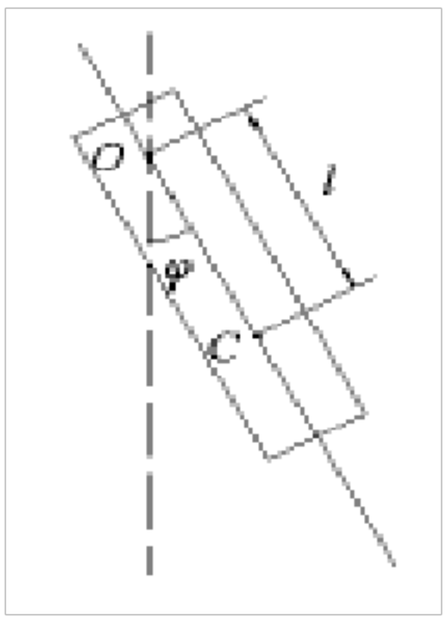


Рис. 1

$$I\ddot{\phi} = -mgl\phi \qquad (1)$$

I – момент инерции маятника относительно оси колебаний,

m – масса маятника,

l – расстояние от оси до центра масс.

Период колебаний определяется соотношением

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}} \qquad (2)$$

Физическому маятнику может быть поставлен в соответствие математический маятник, имеющий тот же период

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \qquad (3)$$

L – длина математического маятника (приведенная длина физического маятника).

Длина математического маятника, период колебаний которого равен периоду колебаний физического маятника, называется приведённой длиной физического маятника

$$L = \frac{I}{ml} \qquad (4)$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

В данной работе физический маятник представляет собой стальной стержень (*рис.* 1). На стержне просверлены отверстиями на расстоянии 10 *см* друг от друга. Стержень

подвешивают на штырь ***O***. Выбирая отверстие на стержне, можно регулировать расстояние от точки подвеса стержня ***O*** до центра масс стержня ***C***, например, на *рис.* 1 расстояние ***OC*** равно 40 *см*. Центр масс ***C*** однородного стержня находится посередине стержня.

Если стержень отклонить от положения равновесия на угол $3^0 \div 5^0$, то он будет совершать колебания близкие к гармоническим. Время колебаний измеряется секундомером.

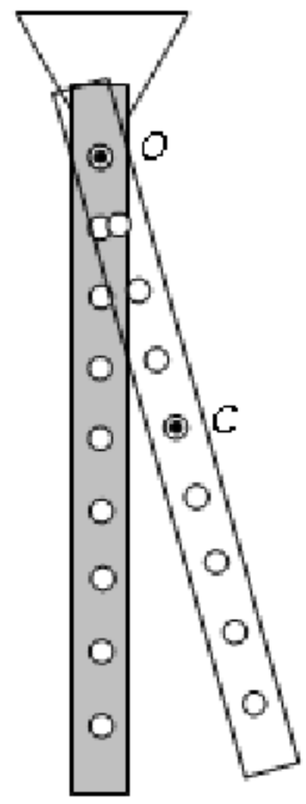


Рис. 1. Макет "физический маятник"

Период колебаний физического или математического маятника в общем случае зависит от амплитуды колебаний маятника. Но если угол отклонения маятника $\varphi < 5^o$, то с хорошей точностью можно пренебречь зависимостью периода от амплитуды и приближенно считать, что маятник совершает гармонические колебания.

Период колебаний физического маятника определяется по формуле

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}},$$

где L – приведенная длина физического маятника.

Приведенная длина физического маятника равна длине математического маятника, имеющего такой же период колебаний как у данного физического маятника.

Приведенная длина физического маятника определяется формулой

$$L = \frac{J}{md},$$

где: J – момент инерции маятника относительно точки подвеса ***O***;

m – масса маятника;

d – расстояние от точки подвеса ***O*** до центра масс маятника ***C***.

Теорема Штейнера. *Момент инерции **J** тела относительно произвольной оси равен сумме момента инерции J_0 тела относительно оси, проведенной через центр масс тела параллельно данной оси, и произведения массы **m** тела на квадрат расстояния **d** между этими осями:*

$$J = J_0 + md^2.$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

В данной лабораторной работе момент инерции стержня относительно оси качания ***O*** вычисляется по теореме Штейнера. Для однородного стержня момент инерции относительно центра масс стержня (совпадает с центром стержня)

$$J_0 = \frac{1}{12} ml^2 ,$$

где l – длина стержня, m – масса стержня.

Таким образом

$$J = J_0 + md^2 = \frac{1}{12} ml^2 + md^2 = \frac{m\left(l^2 + 12d^2\right)}{12} .$$

Приведенная длина физического маятника в данной лабораторной работе определяется по формуле:

$$L = \frac{J}{md} = \frac{m(l^2 + 12d^2)}{12md} = \frac{l^2 + 12d^2}{12d} \qquad (5)$$

Тогда период колебаний физического маятника в данной лабораторной работе определяется по формуле:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l^2 + 12d^2}{12dg}} . \qquad (6)$$

Оборудование и материалы. Установка для исследования колебаний физического маятника, линейка, секундомер.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. Подвешивают маятник на штырь первым отверстием. Это значит что расстояние $OC = d_1 = 40$ *см*.

Отклоняют маятник на малый угол около $3^0 \div 5^0$ и отпускают. При помощи секундомера измеряют время t_i (i = 1, 2, 3) для N=30 полных колебаний. Измерения повторяют n = 3 раза.

Вычисляют среднее значение времени

$$¿t> = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{n} .$$

Период определяют по формуле

$$T_{изм} = ¿t> \frac{¿}{N} ¿ .$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

2. Подвешивают маятник на штырь вторым, третьим и четвертым отверстиями по очереди и повторяют измерения пункта 1.

При этом $d_2 = 30$ *см*, $d_3 = 20$ *см*, $d_4 = 10$ *см*.

Длина стержня $l = 1$ *м*.

Данные измерений занести в таблицу

Таблица 1.

d ***м***	***<t>*** ***с***	$T_{изм}$ ***с***	***L*** ***м***	$T_{расч}$ ***с***
0,4				
0,3				
0,2				
0,1				

3. Вычисляют приведенные длины физического маятника для всех *d*

$$L = \frac{l^2 + 12d^2}{12d}.$$

4. Вычисляют периоды колебаний физического маятника для всех значений приведенной длины физического маятника

$$T_{расч} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}.$$

5. Построить графики периода измеренного $T_{изм} = f(L)$ и расчетного $T_{расч} = f(L)$ в зависимости от приведенной длины *L*.

6. Сравнить измеренные и расчетные значения периодов колебаний.

Сделать вывод о характере зависимости периода колебаний физического маятника от приведенной длины.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Дайте определение гармонических колебаний.
2. Что называется математическим маятником?
3. Что называется приведённой длиной физического маятника?
4. Сформулируйте теорему Штейнера.
5. Вывести формулу периода колебаний физического маятника.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000[illegible]
Владелец: Шебухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Лабораторная работа № 5

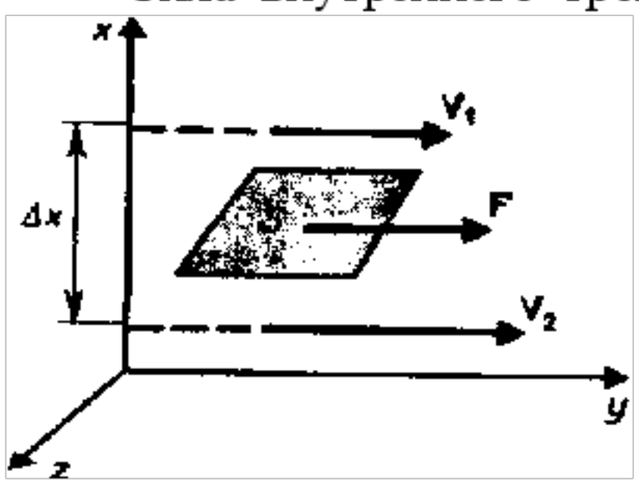
Тема работы. **Определение коэффициента внутреннего трения жидкости методом падающего шарика (метод Стокса).**

Цель работы. Познакомиться с методом измерения вязкости жидкой среды.

Теоретическая часть.

Вязкость (внутреннее трение) — это свойство реальных жидкостей оказывать сопротивление перемещению одной части жидкости относительно другой. При перемещении одних слоев реальной жидкости относительно других возникают силы внутреннего трения, направленные по касательной к поверхности слоев. Действие этих сил проявляется в том, что со стороны слоя, движущегося быстрее, на слой, движущийся медленнее, действует ускоряющая сила. Со стороны же слоя, движущегося медленней, на слой, движущийся быстрее, действует тормозящая сила.

Сила внутреннего трения F тем больше, чем больше рассматриваемая площадь поверхности слоев S, и зависит от того, насколько быстро меняется скорость течения жидкости при переходе от слоя к слою. На рисунке представлены два слоя, отстоящие друг от друга на расстоянии Δx и движущиеся со скоростями υ_1 и υ_2. При этом $\upsilon_1 - \upsilon_2 = \Delta\upsilon$. Направление, в котором отсчитывается расстояние между слоями, ***перпендикулярно*** скорости течения слоев. Величина $\Delta\upsilon/\Delta x$ показывает, как быстро меняется скорость при переходе от слоя к слою в направлении x, перпендикулярном направлению движения слоев, и называется **градиентом скорости.** Таким образом, можно считать, что модуль силы внутреннего трения равен:



$$F = \eta \left|\frac{\Delta\upsilon}{\Delta x}\right| S, \qquad (1)$$

где коэффициент пропорциональности η, зависящий от природы жидкости, называется **динамической вязкостью** (или просто **вязкостью).**

Единица вязкости — **паскаль-секунда** (Па · с): 1 Па · с равен динамической вязкости среды, в которой при ламинарном (гладком) течении и градиенте скорости с модулем, равным 1 м/с на 1 м, возникает сила внутреннего трения в 1 Н на 1 м^2 поверхности касания слоев (1 Па · с=1 Н · с/м^2). Применяется также внесистемная единица – **пуаз** (П): 1Па·с = 10 П.

Чем больше вязкость, тем сильнее жидкость отличается от идеальной, и тем большие силы внутреннего трения в ней возникают. Вязкость зависит от температуры, причем характер этой зависимости для жидкостей и газов различен. Для жидкостей η с увеличением температуры уменьшается, у газов, наоборот, увеличивается, что указывает на различие в них механизмов внутреннего трения. Так, динамическая вязкость воды уменьшается от $1{,}792\cdot10^{-2}$ П до $0{,}284\cdot10^{-2}$ П (т.е. в 6,3 раза) при увеличении температуры от 0 ^{0}С до 100 ^{0}С, а у воздуха в этом же диапазоне вязкость увеличивается от $1{,}709\cdot10^{-4}$ П до $2{,}175\cdot10^{-4}$ П.

Существует два режима течения жидкостей. Течение называется **ламинарным (слоистым),** если вдоль потока каждый выделенный тонкий слой скользит относительно соседних, не перемешиваясь с ними, и **турбулентным (вихревым),** если вдоль потока происходит интенсивное вихреобразование и перемешивание жидкости (газа).

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8BB52205E7BA900000000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Ламинарное течение жидкости наблюдается при небольших скоростях ее движения. Внешний слой жидкости, примыкающий к поверхности трубы, в которой она течет, из-за сил молекулярного сцепления прилипает к ней и остается неподвижным. Скорости последующих слоев тем больше, чем больше их расстояние до поверхности трубы, и наибольшей скоростью обладает слой, движущийся вдоль оси трубы.

При турбулентном течении частицы жидкости приобретают составляющие скоростей, перпендикулярные течению, поэтому они могут переходить из одного слоя в другой. Скорость частиц жидкости быстро возрастает по мере удаления от поверхности трубы, затем изменяется довольно незначительно. Так как частицы жидкости переходят из одного слоя в другой, то их скорости в различных слоях мало отличаются. Из-за большого градиента скоростей у поверхностей трубы обычно происходит образование вихрей.

Профиль усредненной скорости при турбулентном течении в трубах отличается от параболического профиля при ламинарном течении более быстрым возрастанием скорости у стенок трубы и меньшей кривизной в центральной части течения.

Английский ученый О. Рейнольдс (1842—1912) установил, что характер течения зависит от безразмерной величины, называемой числом Рейнольдса:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \langle \upsilon \rangle d}{\eta}. \qquad (2)$$

где ρ – плотность жидкости;

$\langle \upsilon \rangle$ – средняя по сечению трубы скорость жидкости;

d – характерный линейный размер, например диаметр трубы;

η – динамическая вязкость жидкости.

Отношение $\nu = \eta/\rho$ называется **кинематической вязкостью**, поэтому (2) можно представить следующим образом:

$$\mathrm{Re} = \frac{\langle \upsilon \rangle d}{\nu}. \qquad (3)$$

При малых значениях числа Рейнольдса (Re ¿ 1000) наблюдается ламинарное течение, переход от ламинарного течения к турбулентному происходит в области 1000 ¿ Re ¿ 2000, а при Re = 2300 (для гладких труб) течение турбулентное. Если число Рейнольдса одинаково, то режим течения различных жидкостей (газов) в трубах разных сечений одинаков.

Теория метода и описание установки

Вязкость проявляется при движении не только жидкости по сосудам, но и тел в жидкости. При небольших скоростях в соответствии с уравнением Ньютона сила сопротивления движущемуся телу пропорциональна вязкости жидкости, скорости движения тела и зависит от размеров тела. Так как невозможно указать общую формулу для силы сопротивления, то ограничимся рассмотрением частного случая.

Наиболее простой формой тела является сфера. Для сферического тела (шарик) зависимость силы сопротивления при его движении в сосуде с жидкостью от перечисленных выше факторов выражается ***законом Стокса:***

$$F_{тр} = 6\pi\eta r\upsilon, \qquad (4)$$

где r – радиус шарика;

υ – скорость движения.

Этот закон получен в предположении, что стенки сосуда не влияют на движение тела.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Щербакова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

При падении шарика в вязкой среде (рис. 3) на него действуют три силы:

- сила тяжести $mg = \frac{4}{3}\rho\pi r^3 g$;
- выталкивающая (архимедова) $F_A = m_ж g = \frac{4}{3}\rho_ж \pi r^3 g$,

где $m_ж$ – масса вытесненной шаром жидкости; $\rho_ж$ – ее плотность;

- $F_{тр}$ – сила сопротивления, вычисляемая по формуле (4).

При попадании шарика в вязкую жидкость его скорость уменьшается. Так как сила сопротивления прямо пропорциональна скорости, то и она будет уменьшаться до тех пор, пока движение не станет равномерным. В этом случае:

$$mg + F_A + F_{тр} = 0. \qquad (5)$$

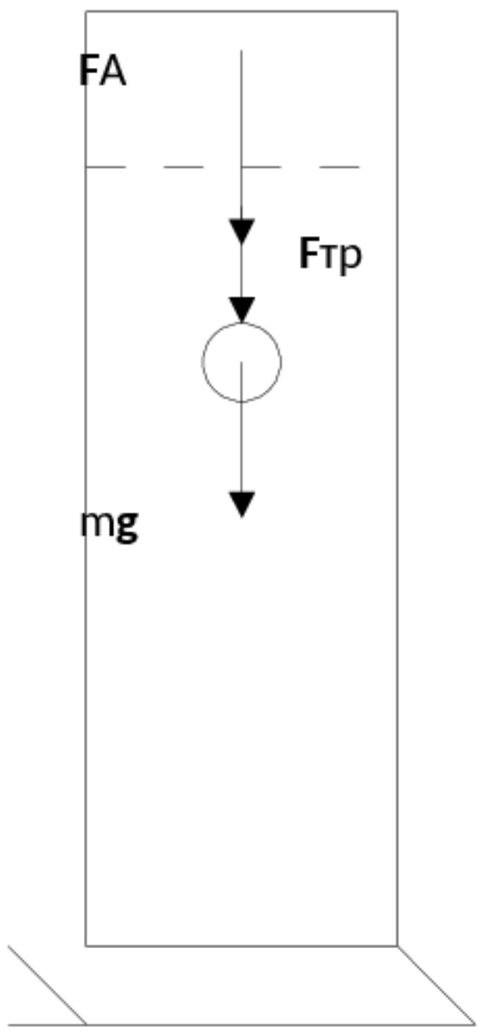


Рис.2.

В скалярной форме при подстановке соответствующих выражений для сил, формула (5) будет иметь вид

$$\frac{4}{3}\rho\pi \cdot r^3 g - \frac{4}{3}\rho_ж \pi r^3 g - 6\pi\eta r v_0 = 0, \qquad (6)$$

где v_0 – скорость равномерного движения (падения) шарика. Из (6) получаем выражение для динамической вязкости:

$$\eta = \frac{2}{9}\frac{(\rho - \rho_ж) r^2 g}{v_0}. \qquad (7)$$

Формула (7) справедлива для движения шарика не только в жидкости, но и в газе.

Экспериментальная установка состоит из стеклянного цилиндра, заполненного глицерином. На цилиндре нанесены две горизонтальные метки (проволочные кольца), расположенные друг от друга на расстоянии l (верхняя метка должна быть ниже уровня глицерина на 5 – 8 см.). Вязкость глицерина зависит от температуры следующим образом:

T, °C	3	18	21
η, П	42,20	10,69	7,78
ν, см^2/с	33,40	8,48	8,18

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000743E0AB8B952205E7BA500060000043B
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Оборудование и материалы.

Стеклянный цилиндр, заполненный глицерином, секундомер, пинцет, шарики, микрометр или отсчетный микроскоп.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. Измерив диаметр шарика, опустить шарик в жидкость как можно ближе к оси цилиндра.
2. Включить секундомер в момент прохождения шариком верхней метки.
3. Выключить секундомер в момент прохождения шариком нижней метки.
4. Повторить опыт несколько (7 – 9) раз. Вычислить среднее время $t_{ср}$, за которое шарик проходит между двумя метками.
5. Измерить расстояние l между метками.
6. Вычислить скорость падения шариков $\upsilon_0 = l/t_{ср}$.
7. Подставить значение скорости в формулу (7), вычислить вязкость глицерина.
8. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

t_1, с	t_2, с	t_3, с	t_4, с	t_5, с	t_6, с	t_7, с	t_8, с	t_9, с	$t_{ср}$, с	r, м	v_0, м/с	l, м	η, Па · с

Примечание: плотность свинца $\rho = 11{,}350$ г/см^3
плотность глицерина $\rho_ж = 1{,}264$ г/см^3.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Что такое внутреннее трение?
2. От чего зависит сила внутреннего трения?
3. Как записывается формула Ньютона для внутреннего трения?
4. Что показывает градиент скорости? В каких единицах он измеряется?
5. От чего зависит сила трения при движении тел шарообразной формы в вязкой среде?
6. Какие силы действуют на падающий в вязкой среде шарик и каков характер движения шарика?
7. В каких единицах измеряют вязкость? От чего она зависит?

Лабораторная работа № 6

Тема работы. **Определение отношения удельных теплоемкостей воздуха методом адиабатического расширения.**

Цель работы. Изучить газовые законы, первый закон термодинамики и понятие теплоёмкости. Определить отношение теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме (коэффициент Пуассона) в условиях, близких к нормальным.

Теоретическая часть.

Опыт показывает, что количество теплоты Q, необходимое для нагревания массы однородного вещества от температуры T_1 до T_2, пропорционально массе вещества и изменению температуры:

$$Q = cm(T_2 - T_1), \tag{1}$$

где c - удельная теплоемкость вещества. Из формулы (1) следует

$$c = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)}. \tag{2}$$

Удельной теплоемкостью называется количество теплоты, необходимое для нагревания вещества массой 1 кг на 1 К. В «СИ» $[c] = 1\frac{Дж}{кг \cdot K}$.

Кроме удельной теплоемкости вещества используется молярная теплоемкость C^M. ***Молярной теплоемкостью*** называется количество теплоты, необходимое для нагревания 1 моля вещества на 1 К. Из определения удельной теплоемкости следует, что она связана с молярной соотношением

$$C^M = Mc \tag{3}$$

где M - молярная масса вещества. В «СИ» единица измерения $[C^M] = 1\frac{Дж}{моль \cdot K}$. Состояние газа может быть охарактеризовано тремя параметрами: давлением p, объемом V и температурой T. Уравнение, связывающее эти величины, называется ***уравнением состояния газа***. Для случая идеального газа уравнением состояния является ***уравнение Менделеева-Клапейрона***

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

$$\mathbf{pV} = \frac{m}{M}\mathbf{RT}, \tag{4}$$

где R - универсальная газовая постоянная.

Величина теплоемкости газов зависит от условий нагревания. Выясним эту зависимость, воспользовавшись уравнением состояния (4) и ***первым началом термодинамики***, которое можно сформулировать следующим образом: количество теплоты δQ, переданное системе, затрачивается на увеличение ее внутренней энергии dU и на работу δA, совершаемую системой против внешних сил

$$\delta Q = dU + \delta A. \tag{5}$$

По определению теплоемкость равна

$$C = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{dU}{dT} + \frac{\delta A}{dT}. \tag{6}$$

Из уравнения (6) видно, что теплоемкость может иметь различные значения в зависимости от способов нагревания газа, так как одному и тому же значению dT могут соответствовать различные значения dU и dA.

Элементарная работа идеального газа равна $dA = pdV$. ***Внутренняя энергия газа*** равна:

$$U = \frac{i}{2}\frac{m}{M}RT, \tag{7}$$

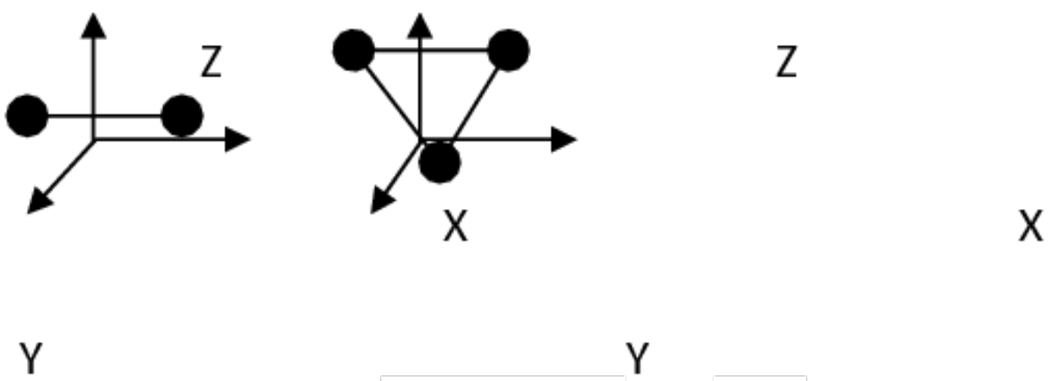
где $\frac{m}{M}$ - количество молей газа, i - число степеней свободы.

Числом степеней свободы молекулы газа называется число независимых координат, определяющих положение молекулы в пространстве.

При движении точки по прямой линии для оценки ее положения надо знать одну координату, то есть точка имеет одну степень свободы. Если точка движется по плоскости, ее положение характеризуется двумя координатами, то есть точка обладает двумя степенями свободы. Положение материальной точки в пространстве определяется тремя координатами (три степени свободы).

Молекулы, которые состоят из одного атома, считаются материальными точками и имеют число степеней свободы i =3. Такими являются молекулы аргона, гелия и др. Двухатомные молекулы (H_2, N_2 и др.) обладают числом степеней свободы i = 5; они имеют три степени свободы поступательного движения вдоль осей X, Y, Z и две степени свободы вращения вокруг осей X и Z (рисунок 1, а). Вращением вокруг оси Y можно пренебречь, так как момент инерции молекулы относительно этой оси очень мал. Молекулы, состоящие из трех и более жестко связанных атомов, не лежащих на одной прямой (рисунок 1, б), имеют число степеней свободы i = 6: три степени свободы поступательного движения и три степени свободы вращения вокруг осей X, Y, Z. Столько же степеней свободы имеют и другие многоатомные молекулы.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023



а Рис.9Р1 б

Рисунок 1 – Число степеней свободы молекул

В общем случае i - коэффициент, равный сумме числа поступательных ($i_{пост}$), вращательных ($i_{вращ}$) и удвоенного числа колебательных ($i_{колеб}$) степеней свободы молекулы газа:

$$i = i_{пост} + i_{вращ} + 2i_{колеб} .$$

На рисунке 2 показана зависимость молярной теплоёмкости C_V^M водорода (H_2) от температуры, из которой следует, что теплоемкость реального газа не зависит от температуры только в определенных температурных интервалах. При этом в интервале 1-1′ необходимо учитывать только поступательные степени свободы ($i=3$); в интервале 2-2′ - поступательные и вращательные ($i=5$); в интервале 3-3' - поступательные, вращательные и колебательные ($i=6$). Описанная зависимость теплоемкости реального газа от температуры обусловлена квантовой природой молекул и объясняется в соответствующих разделах курса физики.

Температуры, выше которых необходимо учитывать температурную зависимость

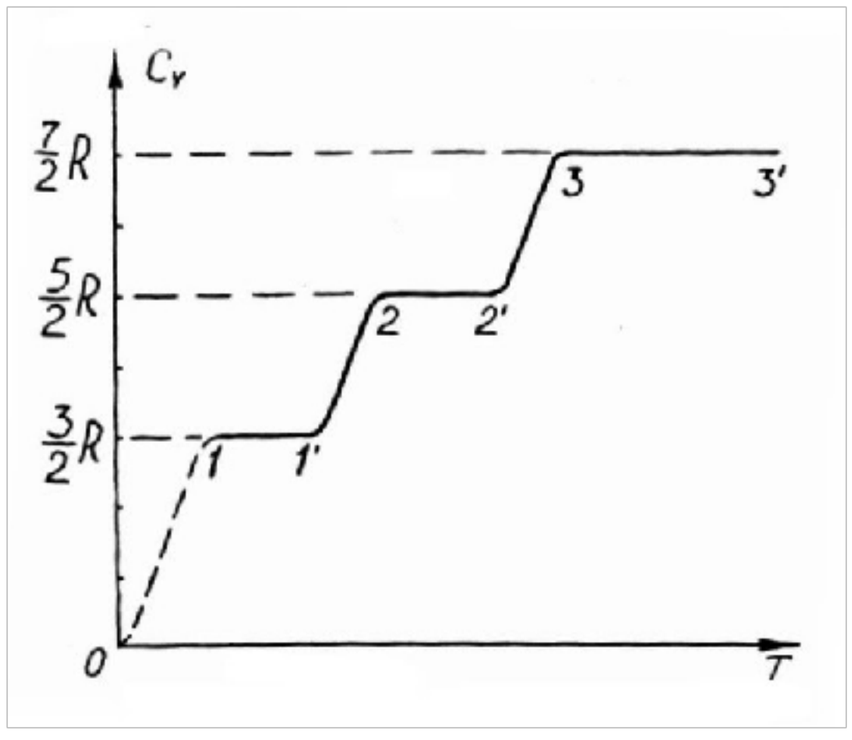


Рисунок 2 – Зависимость молярной теплоемкости от температуры газа

вкладов в теплоемкость вращательного и колебательного движения молекул, получили название ***вращательной характеристической*** и ***колебательной характеристической температуры*** соответственно. Значения этих характеристических температур для водорода, азота и кислорода приведены в таблице 1.

Вращательная и колебательная характеристические температуры некоторых газов

Таблица 1

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Газ	Характеристическая температура, К	
	вращательная	Колебательная
H_2	85,4	6100
N_2	2,86	3340
O_2	2,07	2230

Из приведенных данных следует, что при температурах, близких к нормальной, реальные двухатомные газы можно рассматривать как идеальный газ, молекулы которого обладают только поступательными и вращательными степенями свободы.

Рассмотрим основные процессы, протекающие в идеальном газе при изменении температуры, когда количество вещества газа остается неизменным и равно **одному молю**. Количество теплоты, необходимое для нагревания одного моля газа на 1К, равно молярной теплоемкости.

Изохорный процесс. Процесс называется изохорным, если объем тела при изменении температуры остается постоянным, т.е. $V=const$ и $m=const$. В этом случае $dV = 0$. Следовательно, и $dA = 0$, т.е. при этом вся подводимая к газу теплота идет на увеличение его внутренней энергии. Тогда из уравнений (6) и (7) следует, что молярная теплоемкость газа при постоянном объеме равна

$$C_V^M = \frac{dU}{dT} = \frac{i}{2}R. \tag{8}$$

Изобарный процесс. Процесс, протекающий при постоянном давлении $p = const$ и $m=const$, называется изобарным. Для этого случая формула (6) перепишется в виде:

$$C_p^M = \frac{dU}{dT} + p\frac{dV}{dT}. \tag{9}$$

Из уравнения газового состояния (4) для одного моля получаем:

$$pdV + Vdp = RdT. \tag{10}$$

Но $p = const$ и $dp = 0$. Следовательно, $pdV = RdT$. Подставляя это выражение в уравнение (9), получим

$$C_p^M = \frac{i+2}{2}R. \tag{11}$$

Из уравнений (8) и (11) следует, что

$$C_p^M = C_V^M + R. \tag{12}$$

Последнее уравнение называют ***уравнением Майера***.

Изотермический процесс. Изотермическим процессом называется процесс, протекающий при постоянной температуре $T=const$ и $m=const$. В этом случае $dT = 0$ и $dQ = dA$, то есть внутренняя энергия газа остается постоянной и все подводимое тепло расходуется на работу.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B05F205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Адиабатический процесс. Процесс, протекающий без теплообмена с окружающей средой, называется адиабатическим. Первое начало термодинамики для такого процесса

будет иметь вид: $dQ = 0$, $dU + dA = 0$, $dA = -dU$, то есть при адиабатическом процессе работа совершается газом только за счет изменения запаса внутренней энергии.

Выведем уравнение адиабатического процесса. При адиабатическом расширении работа совершается за счет убыли внутренней энергии $dA = -dU$. Но $dA = pdV$ и $dU = C_V^M dT$, значит

$$pdV = -C_V^M dT. \qquad (13)$$

Разделив уравнение (10) на (13) и учитывая (12), получим

$$1 + \frac{V}{p}\frac{dp}{dV} = -\frac{C_p^M - C_V^M}{C_V^M} \Rightarrow \frac{dp}{p} = -\gamma\frac{dV}{V}, \qquad (14)$$

где $\gamma = \frac{C_p^M}{C_V^M}$ называется ***показателем адиабаты*** или ***коэффициентом Пуассона***. Интегрируя и потенцируя уравнение (14), получим ***уравнение Пуассона*** (уравнение адиабатического процесса):

$$pV^\gamma = const.$$

С учетом (8) и (11) коэффициент Пуассона равен

$$\gamma = \frac{c_p}{c_V} = \frac{i+2}{i}. \qquad (16)$$

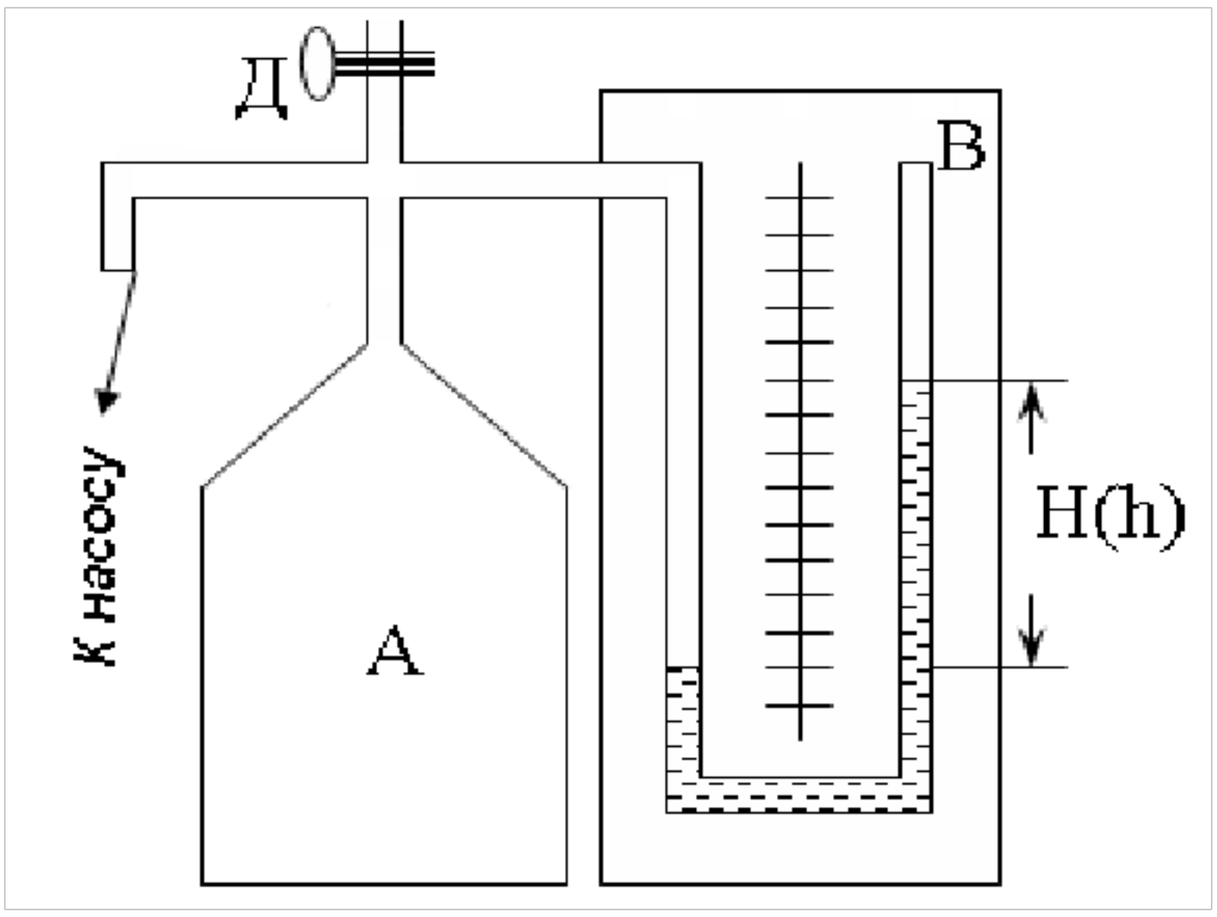


Рисунок 3 – Схема установки

Эта формула справедлива как для отношения молярных, так и удельных теплоемкостей газов.

Воздух является в основном смесью двухатомных газов: азота и кислорода. Поэтому его можно рассматривать в целом как двухатомный газ. Совпадение экспериментально найденного значения коэффициента γ с рассчитанным по формуле (16) для двухатомного идеального газа может служить критерием применимости теории идеального газа для описания реальных газов.

Оборудование и материалы.

Предлагаемый метод определения коэффициента Пуассона γ основан на применении уравнений адиабатического и изохорного процессов и закона Бойля-Мариотта.

Установка состоит из стеклянного баллона **А**, соединенного с водяным манометром **В** и насосом (рисунок 3). Посредством крана **Д** баллон может быть соединен с атмосферой.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952209E7BA500060000043E
Владелец: [illegible] Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Пусть в начальном состоянии давление воздуха в баллоне равно атмосферному. Если закрыть кран и с помощью насоса накачать в баллон некоторое количество воздуха, то давление в баллоне повысится; но если это повышение было произведено достаточно быстро, то столбик воды в манометре не сразу займет окончательное положение, так как при сжатии воздуха температура его повысится. Окончательная разность уровней воды в коленах манометра H установится только тогда, когда температура воздуха внутри баллона сравняется, благодаря теплопроводности стенок, с комнатной температурой

Обозначим через T_1 комнатную температуру и через p_1 - давление газа внутри сосуда, соответствующее показанию манометра H. Очевидно, что давление, установившееся в баллоне, будет больше атмосферного на величину $\Delta p_1 = \rho g H$:

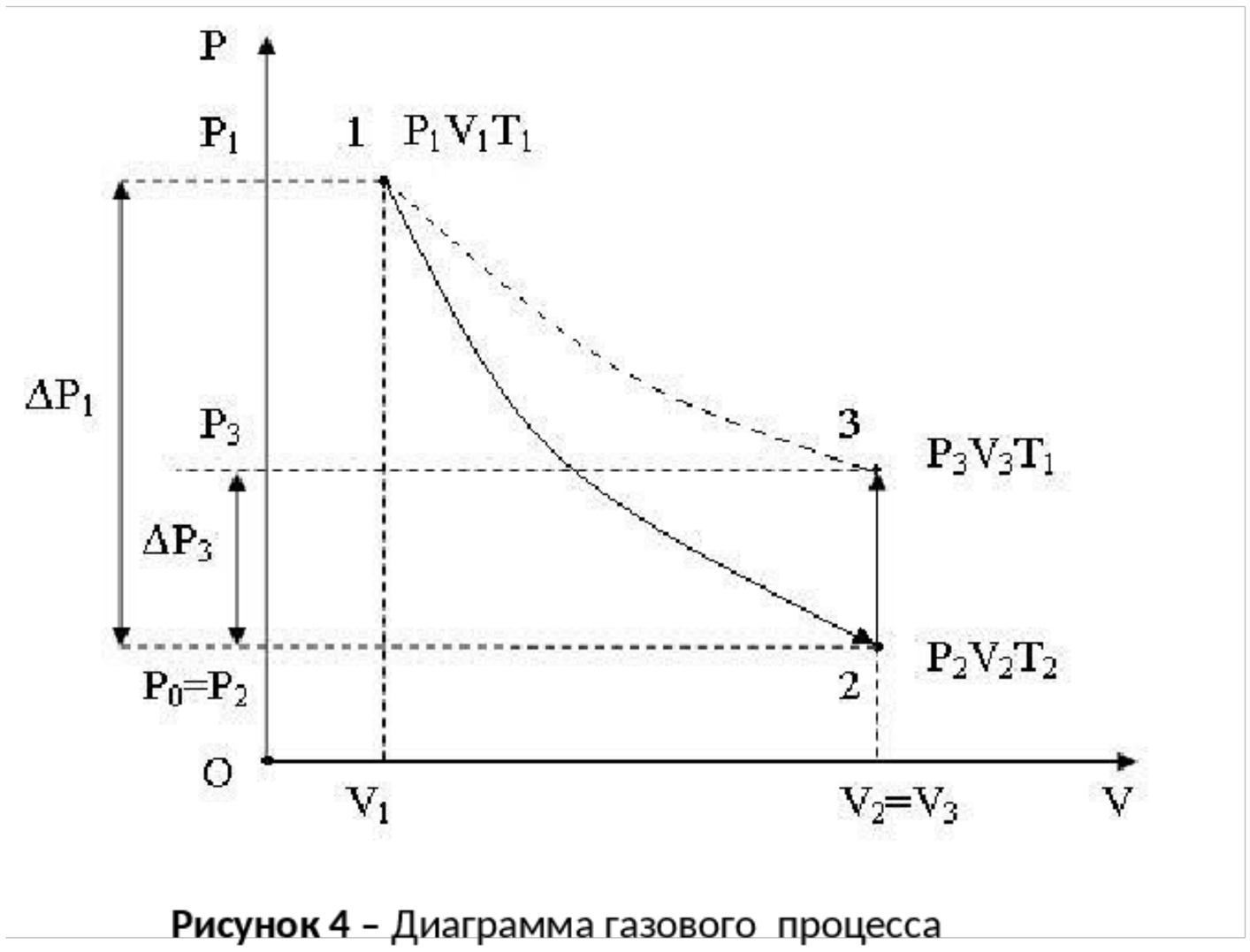


Рисунок 4 – Диаграмма газового процесса

$$p_1 = p_0 + \Delta p_1 \qquad (17)$$

где p_0 - атмосферное давление. Параметры T_1 и p_1 характеризуют состояние элемента объема V_1 газа, которое мы назовем первым состоянием газа (точка 1 на рисунке 4).

Если теперь на короткое время открыть кран, то воздух в баллоне будет расширяться адиабатически, пока давление его не сделается равным атмосферному p_0; при этом он охладится до температуры T_2. Это будет второе состояние газа с параметрами T_2, V_2 и $p_2 = p_0$ (точка 2 на рисунке 4).

Если сразу в момент достижения второго состояния газа снова закрыть кран, то давление внутри баллона начнет возрастать вследствие того, что охладившийся при расширении (процесс 1-2) воздух в баллоне станет снова нагреваться. Возрастание давления прекратится, когда температура воздуха в баллоне сравняется с комнатной температурой T_1. Обозначим давление воздуха в баллоне в этот момент через p_3 и соответствующее показание манометра - через h. Это будет третье состояние газа: T_1, p_3 и V_3 (точка 3 на рисунке 4). Давление в этом состоянии равно

$$p_3 = p_0 + \Delta p_3, \ (\Delta p_3 = \rho g h) \qquad (18)$$

Переход от второго состояния (после закрытия крана) к третьему происходит без изменения объема, то есть изохорно.

Запишем уравнения, связывающие параметры воздуха в разных состояниях:

процесс 1 – 2 (адиабата) $\quad p_1 V_1^{\gamma} = p_2 V_2^{\gamma}$, (19)

процесс 2 – 3 (изохора) $\quad V_2 = V_3$, (20)

кривая 1 – 3 (изотерма) $\quad p_1 V_1 = p_3 V_3$. (21)

В уравнение Пуассона (19) на основании равенства (20) подставим V_3 вместо V_2:

$$p_1 V_1^{\gamma} = p_2 V_3^{\gamma} \quad . \qquad (22)$$

Из уравнения изотермы (21) выразим объём V_3:

$$V_3 = \frac{p_1}{p_3} V_1 \quad . \qquad (23)$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Полученное значение V_3 подставим в уравнение Пуассона (22):

$$p_1 V_1^{\gamma} = p_2 \left(\frac{p_1}{p_3} V_1 \right)^{\gamma} . \qquad (24)$$

Представим выражение (24) в виде:

$$p_1 V_1^{\gamma} = p_2 p_1^{\gamma} V_1^{\gamma} p_3^{-\gamma} . \qquad (25)$$

Сократив обе части на V_1^{γ}, перенеся p_1 вправо, а $p_2 p_3^{-\gamma}$ влево и поменяв левую и правую части местами, получим:

$$p_1^{\gamma-1} = p_2^{-1} p_3^{\gamma} . \qquad (26)$$

Помножим правую часть на $p_2^{\gamma} p_2^{-\gamma}$ (отчего равенство не нарушится) и сделаем соответствующие преобразования, объединив члены с одинаковым основанием степени:

$$p_1^{\gamma-1} = p_2^{\gamma-1} p_3^{\gamma} p_2^{-\gamma} . \qquad (27)$$

Поделим на $p_2^{\gamma-1}$ левую и правую части уравнения, получим:

$$\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\gamma-1} = \left(\frac{p_3}{p_2} \right)^{\gamma} . \qquad (28)$$

Представим давления газа в баллоне в точках 2, 1 и 3 соответственно как

$$p_2 = p_0, \qquad (29)$$

$$p_1 = p_0 + \Delta p_1, \qquad (30)$$

$$p_3 = p_0 + \Delta p_3, \qquad (31)$$

где p_0 – давление окружающей среды, то есть атмосферное давление, Δp_1 и Δp_3 – давление, пропорциональное разности уровней жидкости в манометре в состояниях 1 и 3 соответственно.

Подставив (29), (30), (31) в уравнение (28), получим

$$\left(1 + \frac{\Delta p_1}{p_0} \right)^{\gamma-1} = \left(1 + \frac{\Delta p_3}{p_0} \right)^{\gamma} . \qquad (32)$$

Разложив обе части полученного выражения в ряд по малому параметру и ограничившись первыми двумя членами ряда (в силу малости вторых слагаемых в левой и правой частях), получим

$$1 + (\gamma - 1) \frac{\Delta p_1}{p_0} = 1 + \gamma \frac{\Delta p_3}{p_0} . \qquad (33)$$

Выразим из уравнения (33) коэффициент Пуассона:

$$\gamma = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_1 - \Delta p_3} . \qquad (34)$$

Если учесть, что $\Delta p_1 = \rho g H$, а $\Delta p_3 = \rho g h$, то получим рабочую формулу для определения коэффициента Пуассона:

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E0AB8B9E7B05E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

$$\gamma = \frac{H}{H-h} \quad . \tag{35}$$

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. При помощи крана **Д** соединить баллон с атмосферой. Закрыть кран.

2. Накачать в баллон воздух так, чтобы разность уровней воды в коленах манометра составила 20-25 см. (4-5 оборотов ручки насоса)

3. Выждать 1,5-2 минуты, чтобы воздух в баллоне охладился до комнатной температуры и уровни воды в манометре перестали перемещаться. Полученное состояние соответствует точке 1 на рисунке 4.

4. Записать в таблицу 2 высоту уровней воды $h_л$ и $h_{пр}$ в коленах манометра. Определить H:

$$H = |h_л - h_{пр}|$$

5. Открыть кран так, чтобы воздух в баллоне был соединен с атмосферой, и быстро его закрыть в момент, когда уровни жидкости в обоих коленах манометра сравняются. При этом давление воздуха в баллоне станет равным атмосферному p_0 – это состояние, соответствующее точке 2 на рисунке 4.

6. Выждать, чтобы воздух в баллоне после адиабатного расширения нагрелся, и его температура приблизилась к комнатной температуре. При этом давление в баллоне повысится и вновь появится разность уровней жидкости в манометре. Когда уровни перестанут перемещаться, сделать новый отсчет показаний установившихся уровней в коленах манометра $h'_л$ и $h'_{пр}$. Определить разность уровней h.

7. При помощи крана **Д** соединить баллон с атмосферой.

8. Опыт повторить не менее 5 раз по пунктам 1-7 (по указанию преподавателя).

9. Рассчитать по формуле (35) γ_i для каждого опыта проведенной серии измерений.

10. Найти среднее арифметическое $\langle\gamma\rangle$.

11. Вычислить полуширину доверительного интервала $\Delta\gamma$, как для серии прямых измерений.

12. Результат представить в виде $\gamma = \langle\gamma\rangle \pm \Delta\gamma$, $\alpha = 0{,}95$.

13. Вывод сделать из сравнения экспериментально полученного значения коэффициента Пуассона и рассчитанного по формуле (16) через степени свободы молекул воздуха.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Таблица результатов измерений

Таблица 2

№	$h_л$, мм	$h_{пр}$, мм	H, мм	$h'_{л.}$, мм	$h'_{пр.}$, мм	h, мм	y_i	$<y>$	Δy_i
1									
2									
3									
4									
5									

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Что такое идеальный газ?
2. Запишите уравнение состояния идеального газа. Дайте определение величин, входящих в него.
3. Что называется числом степеней свободы системы? Каково число степеней свободы одно-, двух- и многоатомной молекулы? Чем обусловлено различие числа степеней свободы для разных молекул?
4. Что такое внутренняя энергия? Как найти внутреннюю энергию идеального газа?
5. Назовите способы изменения внутренней энергии. Как рассчитать работу идеального газа?
6. Сформулируйте первое начало термодинамики.
7. Дайте определения теплоемкости системы, удельной и молярной теплоемкостей.
8. Дайте определения изотермическому, изобарному, изохорному и адиабатическому газовым процессам, проанализируйте их с помощью первого начала термодинамики. Приведите графики соответствующих изопроцессов.
9. Запишите формулы для молярных теплоемкостей идеального газа. Объясните, почему теплоемкость газа при постоянном давлении больше, чем при постоянном объеме.
10. Выразите коэффициент Пуассона через число степеней свободы молекулы.
11. Постройте график процессов, происходящих с воздухом при выполнении данной работы и объясните его.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Лабораторная работа № 7

Тема работы. **Изучение электростатического поля**

Цель работы. Изучение электростатического поля; построение эквипотенциальных поверхностей поля.

Теоретическая часть.

Известно, что вокруг любого заряда или заряженного тела существует электрическое поле. В этом поле на внесенный в него другой заряд действует кулоновская сила. Электрическое поле характеризуется в каждой точке величинами: силовой – вектором электрической напряженности $\vec{E}$, и энергетической – скалярной величиной – потенциалом ϕ.

Напряженностью электрического поля называется физическая величина, численно равная и совпадающая по направлению с силой $\vec{F}$, действующей со стороны поля на единичный положительный точечный заряд q_0, помещенный в рассматриваемую точку:

$$\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q_0} \qquad (1)$$

Потенциалом электрического поля в данной точке называется скалярная величина, численно равная потенциальной энергии U единичного положительного точечного заряда q_0, помещенного в эту точку

$$\phi=\frac{U}{q_0} \qquad (2)$$

Потенциал и напряженность электрического поля связаны соотношением

$$\vec{E}=-grad\,\phi \qquad (3)$$

Напомним, что градиентом любой скалярной величины ϕ называют вектор, направление которого совпадает с направлением быстрейшего увеличения величины ϕ, а модуль равен изменению ϕ при перемещении на единицу длины в направлении быстрейшего изменения ϕ. Знак «минус» в формуле (3) показывает, что напряженность поля $\vec{E}$ направлена в сторону убывания потенциала.

Направление вектора напряженности электрического поля в каждой точке поля и распределение потенциалов поля можно сделать особенно наглядным, если воспользоваться понятиями о силовых линиях и о поверхностях равного потенциала, так называемых эквипотенциальных поверхностях.

Силовыми линиями называются линии, касательные в каждой точке которых определяют направление векторов напряженностей электрического поля. Число же силовых линий проходящих через единицу площади, нормальной к этим линиям, определяет величину вектора напряженности электрического поля в центре этой площади. Линии напряженности электрического поля незамкнуты, они начинаются из положительного заряда и заканчиваются на оторицательном заряде.

Геометрическое место точек электрического поля, потенциалы которых одинаковы, называется эквипотенциальной поверхностью. Эквипотенциальные поверхности проводят таким образом, что разность потенциалов для двух соседних поверхностей всюду одна и та же. Это позволяет по густоте эквипотенциальных поверхностей судить о величине напряженности поля.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Векторы напряженности электрического поля и, следовательно, силовые линии поля нормальны к эквипотенциальным поверхностям. На рис.1 силовые линии некоторого поля проведены сплошной линией, а эквипотенциальные поверхности-штриховой.

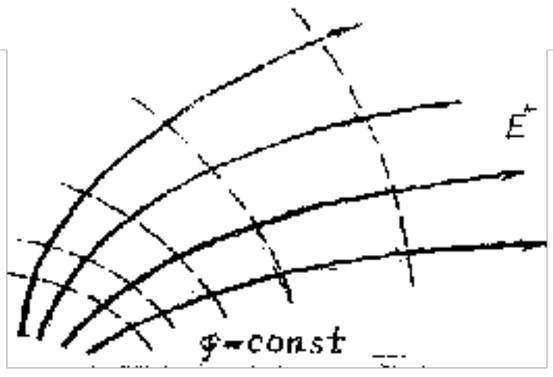


рис. 1

Известно, что экспериментальное и теоретическое изучение распределения потенциалов электрического поля проще, чем определение напряженностей поля. Поэтому в данной работе экспериментально определяется распределение потенциалов электростатического, т.е. не изменяющегося со временем электрического поля. Силовые линии изучаемого поля можно построить потом, как кривые, ортогональные к экспериментально найденным поверхностям равного потенциала.

Распределение потенциалов электростатического поля можно изучать методом зондов, заключающемся в следующем: в исследуемую точку поля вводится дополнительный электрод – зонд, устроенный так, чтобы он минимально нарушал своим присутствием исследуемое поле и принимал потенциал той точки поля, в которую он помещен. При этих условиях показания прибора, с которым зонд соединяется проводником, будут давать правильную картину распределения потенциалов в исследуемом поле.

Сложности работы с зондами и, вообще, трудности электростатических измерений привели к разработке особого метода изучения электростатических полей – путем искусственного воспроизведения их структуры в проводящих средах, по которым пропускается постоянный ток. Таким путем прямое изучение электростатического поля заменяется изучением его точной и более удобной модели.

Описанный метод исследования, который называется моделированием электростатического поля, имеет широкое применение на практике. Этот метод полезен для изучения сложных электростатических полей, точный расчет которых затруднителен из-за сложности граничных условий (многоэлектродные радиолампы, электростатические линзы, фотоэлектронные умножители и т.д.).

Оборудование и материалы.

Специальная установка; гальванометр; источник тока.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. Проверить схему экспериментальной установки.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E73A500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

2. Включить выпрямитель в сеть 220 В.
3. Установить движок реохорды на растоянии 8-10 см от одного из клемм реохорды. Определить потенциал движка по формуле (4).
4. Перемещая зонд вращением ручек координатника, находить такие точки, для которых ток гальванометра равен нулю. Количество этих точек должно быть достаточно для построения линии эквипотенциальной поверхности (7-10 точек). Координаты точек отсчитывать по линейкам координатника.
5. Нанести на миллиметровую бумагу найденные точки и соединить их плавной линией. На линии написать его потенциал.
6. Изменив положение реохорды повторить пп.4, 5. число повторений опыта 4-5 раз.
7. Используя найденные линии эквипотенциальных поверхностей, построить силовые линии поля. При этом надо иметь в виду, что в точках пересечения линии эквопотенциальных поверхностей и силовые линии должны быть нормальны друг к другу.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

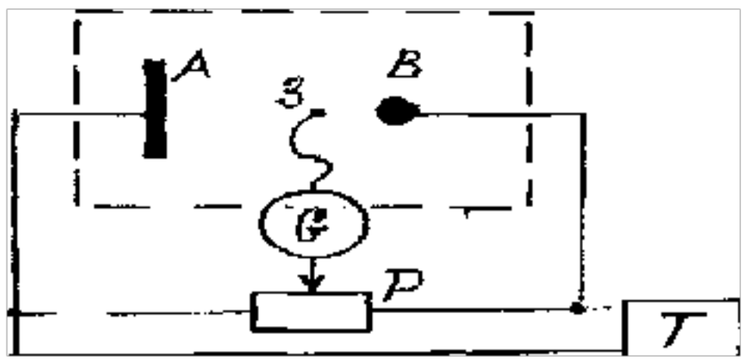


Рис. 2

Она представляет собой мостовую схему, состоящую из электродов А и С, поле между которыми изучается, реохорды Р, нуль-гальванометра G, соединенного с зондом z, и источника питания – выпрямителя В. Напряжение на электроды А и С подается с реохорды Р, подключенной на выход выпрямителя В. Средой, позволяющей моделировать электростатическое поле, служит токопроводящая бумага, контуры которой показаны на рис. 2 штриховыми линиями.

Принцип работы установки можно понять из следующего. Перемещая движок реохорды, этому движку можно придавать различные значения потенциала относительно электродов. Наличие или отсутствие тока в цепи зависит при этом от того, в какой точке поля находится зонд. Если он находится в такой точке поля, потенциал которой равен потенциалу, установленному на движке реохорды, то тока в цепи гальванометра не будет.Геометрическое место точек поля, для которых ток в цепи гальванометра будет равен нулю, образует эквипотенциальную поверхность в исследуемом поле. Потенциал φ этой поверхности относительно электрода С можно найти как

$$\phi = \frac{n}{N} U \qquad (4)$$

где U – напряжение на выходе выпрямителя, N – число делений шкалы реохорды, n – деление шкалы, на который установлен движок.

Установка снабжена специальным приспособлением – координатником, позволяющим вращением ручек координатника перемещать зонд, а также отсчитывать координаты найденных точек эквипотенциальной поверхности.

Содержание отчета

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;

- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Какими величинами характеризуется электрическое поле? Дайте определение этих величин и напишите единицы их измерения.
2. Какова связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля в общем случае и в случае однородного поля?
3. Какими понятиями пользуются для наглядного представления электрического поля?
4. Нарисуйте силовые линии и эквипотенциальные поверхности поля точечного заряда, двух разноименных зарядов.
5. Какие экспериментальные методы используют для изучения электростатического поля?

Лабораторная работа № 8

Тема работы. **Измерение сопротивления с помощью моста Уитстона.**

Цель работы. Целью работы является изучение метода измерения сопротивления проводников с помощью мостовой схемы и определение удельного сопротивления материала проводника.

Теоретическая часть.

Электросопротивление проводника – это скалярная физическая величина, характеризующая его электропроводящие свойства. Сопротивление проводника зависит от его формы, размеров и электроповодящих свойств материала, из которого изготовлен проводник. В простейшем случае однородного проводника с постоянным поперечным сечением, сопротивление проводника определяется следующим образом:

$$R=\rho\frac{\ell}{S}, \qquad (1)$$

где ρ – удельное сопротивление материала проводника, ℓ – длина проводника; ***S*** – площадь его поперечного сечения.

Из формулы (1) можно выразить удельное сопротивление:

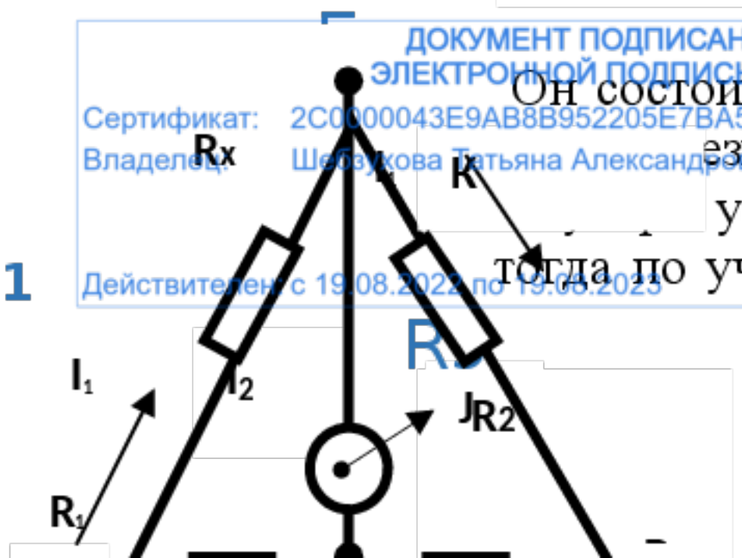
$$\rho=\frac{R\cdot S}{\ell}, \qquad (2)$$

откуда видно, что удельное сопротивление численно равно сопротивлению проводника единичной длины, имеющего площадь поперечного сечения, равную единице площади. В системе СИ удельное сопротивление измеряют в омметрах (Ом·м).

Одним из методов измерения сопротивления является метод моста Уитстона.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен с 19.08.2022 по 19.08.2023

рис. 1



Мост Уитстона предназначен для измерения сопротивлений. Он состоит из двух резисторов R_1 и R_2, чувствительного гальванометра G, резисторов – эталонного $R_э$ и неизвестного R_x (рис.1). Рассмотрим условии, что по участку ED ток не протекает. Замкнём ключ К, тогда по участку АВ потечёт ток и вдоль него будет наблюдаться падение

потенциала от величины φ_A (в точке А) до величины $\varphi_в$ (в точке В). В цепи АЕВ пойдет ток I_1 и будет наблюдаться падение потенциала от φ_A до φ_E (на резисторе R_x) и от φ_E до φ_B (на резисторе Rэ).

Очевидно, потенциал в точке е имеет значение φE промежуточное между значениями φA и φв. Поэтому подбором резисторов R1, R2 и Rэ всегда можно добиться, того что в точке D потенциал φD будет равен потенциалу φE: φD=φE. Если между точками D и E включен гальванометр G, то в этом случае ток через него не пойдет, т.к.

$$\varphi_E - \varphi_D = 0.$$

Такое положение называется равновесием моста. Покажем, что условие равновесия определяется соотношением:

$$\frac{R_X}{R_Э} = \frac{R_1}{R_2} \qquad (1)$$

Действительно, на основании второго закона Кирхгофа для любого замкнутого контура сумма падений напряжений равна сумме электродвижущих сил, девствующих в этом контуре:

$$\sum_{i=1}^{h} I_i R_i = \sum_{i=1}^{m} \mathrm{E}_i \qquad (2)$$

Запишем эти уравнения для контуров AED и BED при равновесии моста , т. е. при отсутствии тока на участке ED.

$$\begin{cases} I_1 R_X - I_2 R_1 = 0 \\ I_1 R_Э - I_2 R_2 = 0 \end{cases}$$

Из этих уравнений легко получаем соотношение (1).

Откуда:

$$R_X = R_Э \cdot \frac{R_1}{R_2} \qquad (3)$$

Зная, что R_1=270 Ом, R_2=47,6 Ом и подбирая $R_э$, найдем R_x.

Оборудование и материалы.

Мост Уитстона, набор сопротивлений, магазин сопротивлений, гальванометр, источник постоянного тока.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. При выполнении лабораторных работ студентам запрещается:

   - включать схемы под напряжением без проверки преподавателя;

   - прикасаться к незащищённым изоляцией частям схемы, находящихся под напряжением;

   - определять наличие напряжения на элементах цепи при помощи пальцев; проверка наличия напряжения производится только с помощью вольтметра и в присутствии преподавателя;

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

- включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;
- производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;
- бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;
- класть на рабочий стол посторонние предметы;
- входить в лабораторию в верхней одежде;

4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».
5. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.
6. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.
7. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.
8. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Задания.

1. Собрать схему (рис. 1).
2. Подобрать на магазине сопротивлений такое сопротивление $R_э$ при котором ток через гальванометр равен нулю.
3. Вычислить R_{x1} по формуле (3).
4. Повторить измерения для второго сопротивления Rx_2, и для третьего Rx_3.
5. Измерить сопротивления при последовательном и параллельном соединении Rx_1, Rx_2 и Rx_3 и проверяют формулы для последовательного и параллельного соединения сопротивлений:

$$R_{посл} = Rx_1 + Rx_2 + Rx_3; \qquad \frac{1}{R_{парал}} = \frac{1}{Rx_1} + \frac{1}{Rx_2} + \frac{1}{Rx_3}$$

6. Определить погрешность измерений.
7. Записать окончательный результат.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:
- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Сформулировать закон Ома.
2. Сформулировать правила Кирхгофа.
3. Вывести условия равновесия моста используя правила Кирхгофа.
4. Изменится ли условие равновесия моста, если гальванометр и источник тока поменять местами?
5. Как определяется удельное сопротивление?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Лабораторная работа № 9

Тема работы. **Исследование электрической цепи постоянного тока.**

Цель работы. Изучение зависимости силы тока, напряжения, полной полезной мощности и к.п.д. источника от сопротивления нагрузки.

Теоретическая часть.

Любая электрическая цепь состоит из источника и потребителя энергии, а также различных регулировочных устройств и измерительных приборов.

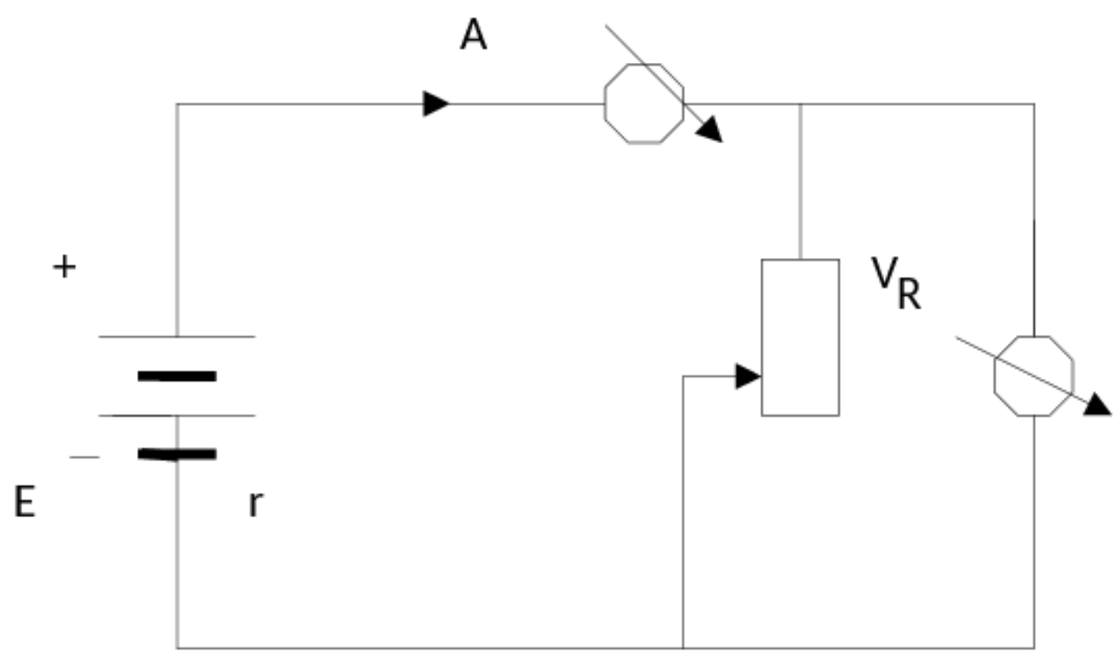


Рис.1.

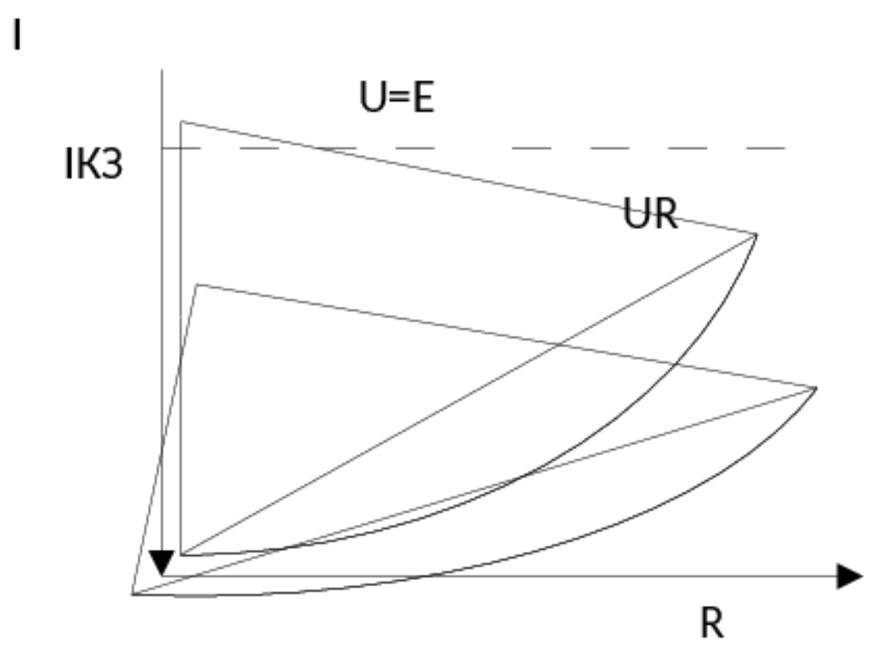


Рис.2.

На рис. 1 представлена простейшая цепь, состоящая из источника постоянного тока с ЭДС E и внутренним сопротивлением r и нагрузочного реостата R. Для измерения силы тока и напряжения на нагрузке в цепь включены амперметр A и вольтметр V. В такой цепи сила тока, напряжение на нагрузке, полная и полезная мощности оказываются зависимыми от величины нагрузки. Сила тока, например, убывает с ростом сопротивления нагрузки в соответствии с известным законом Ома.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

$$I = \frac{E}{R + r} \qquad (1)$$

Очевидно, наибольший ток будет в случае короткого замыкания, т.е. при $R=0$. Его величина $I_{кз} = \frac{E}{r}$ (рис. 2).

Из (1) легко получаем

$$E = IR + Ir = U_R + U_r, \qquad (2)$$

где $U_R = IR$ и $U_r = Ir$ - падения напряжения (или просто напряжения) на внешнем и внутренним участках цепи соответственно.

Принимая во внимание закон Ома (1), получаем из (2) зависимость напряжения U_r от сопротивления нагрузки R:

$$U_R = \frac{E}{R+r}R = \frac{E}{1+\frac{r}{R}}. \qquad (3)$$

Отсюда видно, что с ростом сопротивления нагрузки напряжение на ней возрастает, асимптотически приближаясь к величине ЭДС при $R \to \infty$ (рис. 2).

При прохождении электрического тока в цепи происходит выделение полной мощности

$$P = IE, \qquad (4)$$

при этом мощность, выделяемая на нагрузке

$$P_R = IU_R, \qquad (5)$$

является полезной мощностью.

Из (4) видно, что полная мощность, развиваемая источником, зависит от сопротивления нагрузки R так же как и сила тока $I = I(R)$. Она максимальная при коротком замыкании ($R=0$)

$$P_{к.з} = I_{к.з.}E = \frac{E^2}{r}, \qquad (6)$$

но в этом случае выделяется в самом источнике и оказывается бесполезной, а зачастую вредной, вызывая выход источника из строя. С ростом R полная мощность убывает, стремясь к нулю при $R \to \infty$ (рис. 3).

Зависимость полезной мощности, выделяемой на нагрузке, от R определяется выражением

$$P_R = IU_R = I^2R = \frac{E^2}{(R+r)^2}R \qquad (7)$$

Анализ выражения (7) показывает, что зависимость $P_R = P_R(R)$ должна иметь максимум, так как $P_R = 0$ в предельных случаях: при коротком замыкании (R=0) и при $R \to \infty$.

Найдем значение R_0, при котором полезная мощность, отбираемая от источника, будет наибольшая. Для этого продифференцируем формулу (7) и приравняем производную нулю

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

$$\frac{dP_R}{dR} = E^2\frac{(R+r)[(R+r)-2R]}{(R+r)^4} = 0 \qquad (8)$$

Отсюда находим, что P_R – максимальна при $R_0 = r$, т.е. когда сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника (рис.3). При этом напряжение на нагрузке равно половине ЭДС, т.е. $U_{R_0} = \frac{E}{2}$, а сила тока – половине силы тока короткого замыкания $I_{R_0} = \frac{I_{кз}}{2}$.

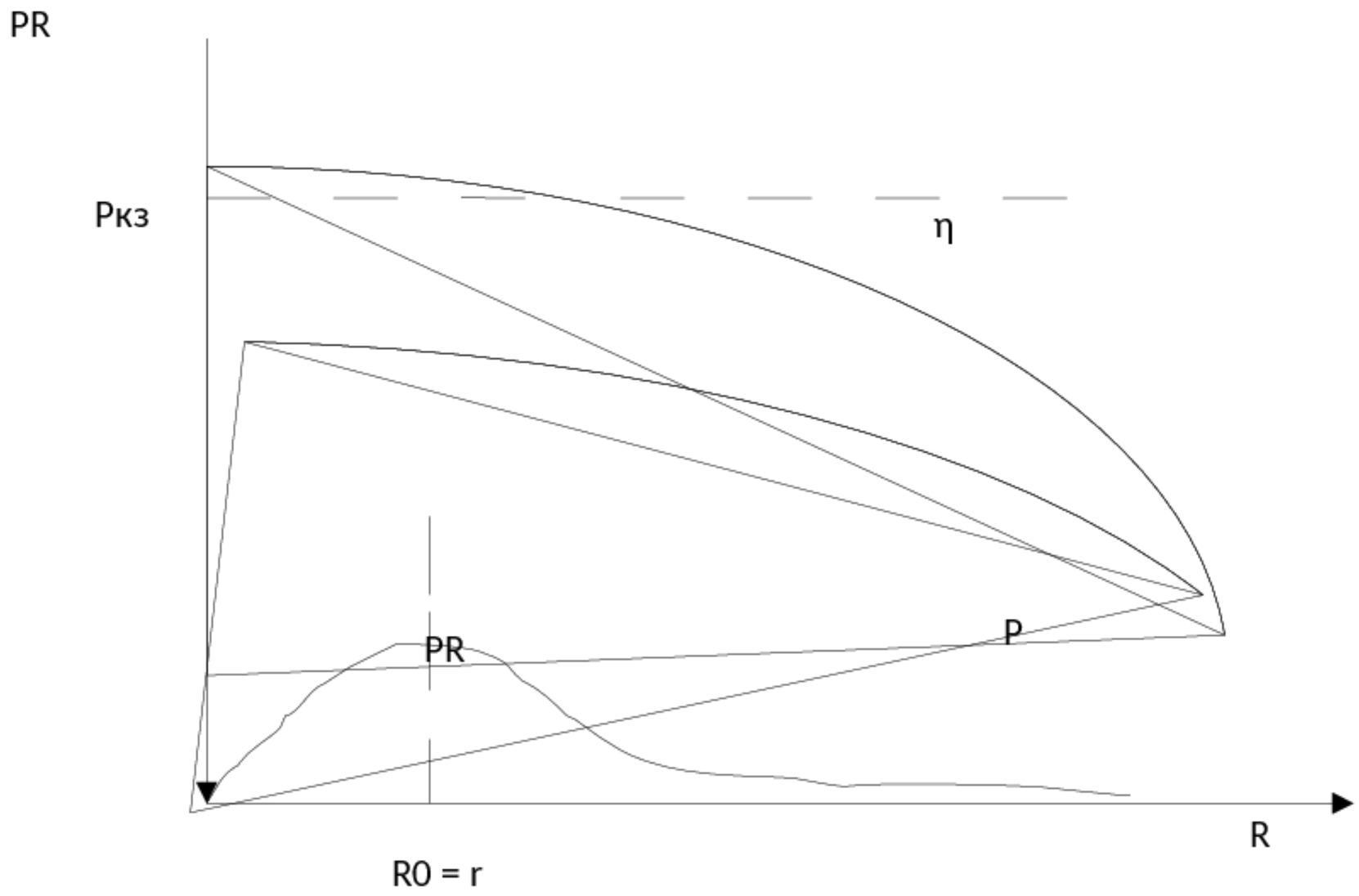


Рис.3.

Полезная мощность, в этом случае, составляет четверть мощности короткого замыкания.

Отношение полезной мощности ко всей мощности, развиваемой источником в цепи, определяет коэффициент полезного действия (к.п.д.) η источника.

$$\eta = \frac{P_R}{P} = \frac{IU_R}{IE} = \frac{U_R}{E} = \frac{R}{R+r} \qquad (9)$$

Из этой формулы следует, что η будет тем больше, чем больше сопротивление нагрузки R. При $R = 0$ $\eta = 0$ и асимптотически стремится к $\eta = I$ при $R \to \infty$. При $R = r$, т.е. при максимальной полезной мощности к.п.д. источника $\eta = \frac{1}{2}$, т.е. составляет 50%.

Именно исследование этих закономерностей является целью работы. Необходимо получить экспериментальные зависимости силы тока I, напряжения U_R, полной P и полезной P_R, а так же к.п.д. η от величины сопротивления нагрузки.

Оборудование и материалы.

Источник постоянного тока, реостат для искусственного увеличения внутреннего сопротивления источника, нагрузочный реостат миллиамперметр, вольтметр.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. При выполнении лабораторных работ студентам запрещается:

- включать схемы под напряжением без проверки преподавателя;
- прикасаться к незащищённым изоляцией частям схемы, находящихся под напряжением;
- определять наличие напряжения на элементах цепи при помощи пальцев; проверка наличия напряжения производится только с помощью вольтметра и в присутствии преподавателя;
- включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;
- производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;
- бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;
- класть на рабочий стол посторонние предметы;
- входить в лабораторию в верхней одежде;

4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».
5. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.
6. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.
7. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.
8. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Задания.

Рабочая схема изображена на рис. 4. В качестве источника могут использоваться аккумуляторы или выпрямитель, дающие напряжение величиной несколько вольт. Внутреннее сопротивление таких источников, как правило, мало - порядка десятых долей Ома. Поэтому, как следует из вышеизложенного, для построения графиков искомых зависимостей нагрузочный реостат R тоже должен иметь сопротивление порядка десятых долей Ома. Подобные реостаты являются уникальными. Поэтому внутреннее сопротивление источника в данной работе искусственно увеличивается путем последовательного включения дополнительного реостата r', имеющего величину нескольких десятков Омов. При этом собственным внутренним сопротивлением r источника можно пренебречь.

Из схемы (рис.4) следует, что внутреннее сопротивление миллиамперметра и вольтметра составляют с сопротивлением нагрузочного реостата единое целое. Таким образом, левую часть схемы следует рассматривать как источник, а правую как нагрузку.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

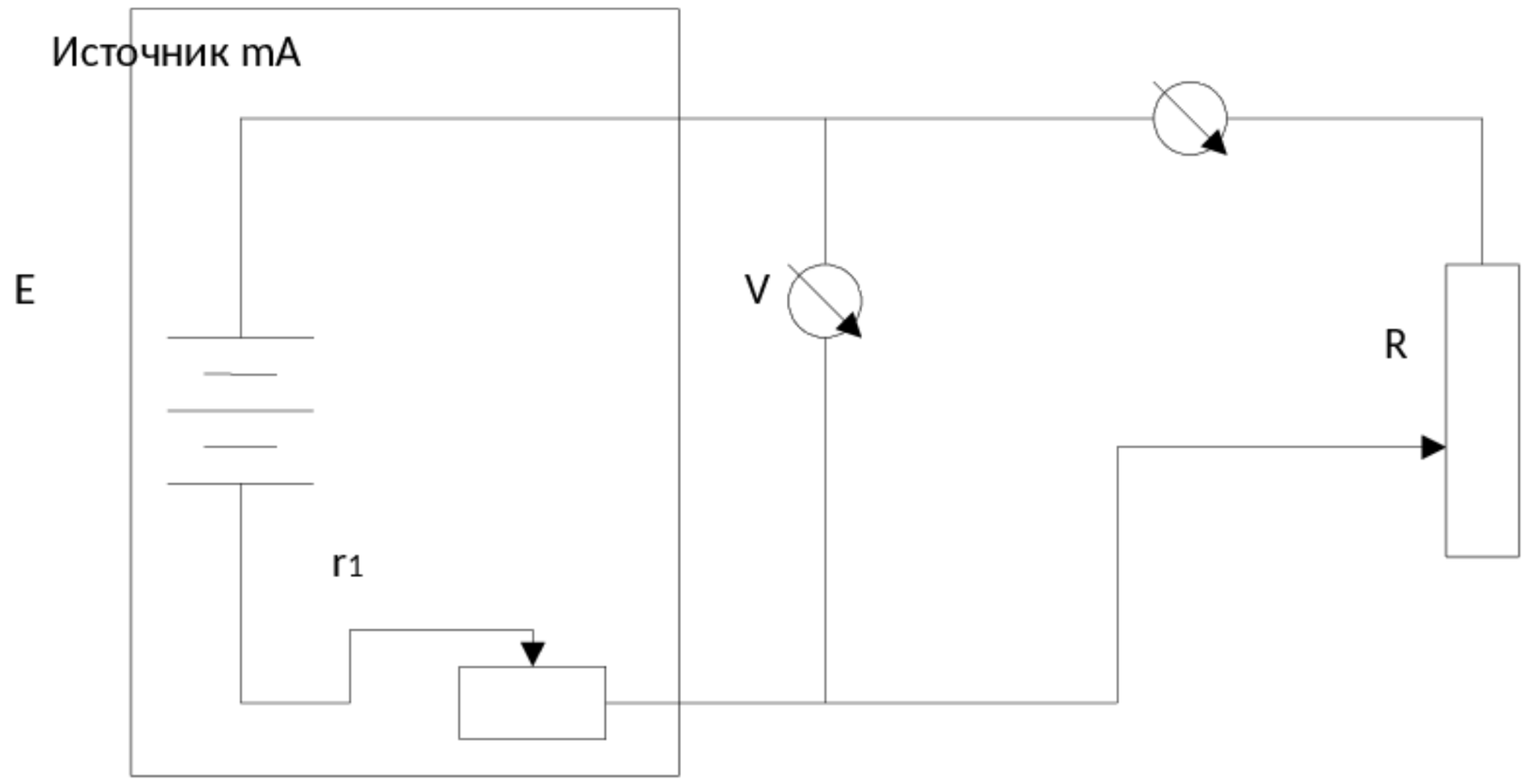


Рис. 4.

1. Собрать рабочую схему (рис.4). Выяснить параметры приборов. Движки реостатов установить в положение наибольшего значения сопротивления.

2. После проверки схемы преподавателем или лаборантом включить источник питания. Отсчитать показания приборов и занести в таблицу.

3. Далее, уменьшая сопротивление нагрузки R, снять 8-10 значений тока в цепи I и напряжения U_R. Последняя точка должна соответствовать короткому замыканию. При этом ток должен равняться $I_{кз}$, а напряжение должно обратиться в нуль. Выключить схему.

4. Определив цены делений на использованных пределах измерений амперметра и вольтметра вычислить и занести в таблицу значения тока в амперах и напряжения в вольтах.

5. Разделив полученные значения напряжения на соответствующие значения тока рассчитать и занести в таблицу сопротивление нагрузки R

Таблица 1.

N	I	U_R	$R=\frac{U_R}{I}$	P=IE	$P_R=IU_R$	$\eta=\frac{P_R}{P}$
	А	В	Ом	Вт	Вт	

6. Величину ЭДС E следует считать известной, либо измерить значение E при отключенной нагрузке.

7. По формулам (4,5,9) рассчитать значения полезной P_R, полной P мощности и к.п.д. η, соответствующие найденным величинам R.

8. По полученным значениям построить кривые $I=I(R)$, $U_R=U_R(R)$ на одном графике и P=P(R), $P_R=P_R(R)$ и $\eta=\eta(R)$ на другом.

9. Отметить на первом графике сопротивление $R_0=r$, при котором ток и напряжение составляют, соответственно, половину тока короткого замыкания $I_{кз}$ и половину E. На втором графике найти $R_0=r$ по максимуму зависимости $P_R=P_R(R)$. Сравнить между собой эти значения R_0. Примерное равенство между этими двумя значениями R_0

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: [illegible]
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

является критерием правильности выполненных измерений. Если такого равенства нет, измерения следует проделать вновь.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Что такое ЭДС?
2. Запишите закон Ома в обобщенной форме и для замкнутой цепи.
3. Проведите математическое исследование функций $U_R(R)$ и $I(R)$.
4. Дайте определение мощности электрического тока.
5. Проведите исследование зависимости $P_R = P_R(R)$.
6. Что такое к.п.д. источника?

Лабораторная работа № 10

Тема работы. **Изучение явления электромагнитной индукции**.

Цель работы. Изучение электрических токов возникающих при явлении электромагнитной индукции.

Теоретическая часть.

Магнитный поток через плоскую поверхность — это скалярная физическая величина, численно равная произведению модуля магнитной индукции на площадь поверхности, ограниченной контуром, и на косинус угла между нормалью к поверхности и магнитной индукцией 17 октября 1831 года английский ученый Майкл Фарадей открыл явление **электромагнитной индукции.**

Явлением электромагнитной индукции называется явление возникновения тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур. А полученный таким способом ток, называется **индукционным.**

Закон электромагнитной индукции: среднее значение электродвижущей силы индукции в проводящем контуре пропорционально скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром.

Величина и направление ЭДС индукции

Рассмотрим теперь, каковы будут величина и направление индуктированной в проводнике ЭДС.

Величина ЭДС индукции зависит от количества силовых линий поля, пересекающих проводник в единицу времени, т. е. от скорости движения проводника в поле.

Величина индуктированной ЭДС находится в прямой зависимости от скорости движения проводника в магнитном поле.

Величина индуктированной ЭДС зависит также и от длины той части проводника, которая пересекается силовыми линиями поля. Чем большая часть проводника

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C6000643B9AB8B962205E7BA500000000643E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

пересекается силовыми линиями поля, тем большая ЭДС индуктируется в проводнике. И, наконец, чем сильнее магнитное поле, т. е. чем больше его индукция, тем большая ЭДС возникает в проводнике, пересекающем это поле.

Итак, величина ЭДС индукции, возникающей в проводнике при его движении в магнитном поле, прямо пропорциональна индукции магнитного поля, длине проводника и скорости его перемещения.

Зависимость эта выражается формулой $E = Blv$,

где E — ЭДС индукции; B — магнитная индукция; l — длина проводника; v — скорость движения проводника.

Следует твердо помнить, что в проводнике, перемещающемся в магнитном поле, ЭДС индукции возникает только в том случае, если этот проводник пересекается магнитными силовыми линиями поля. Если же проводник перемещается вдоль силовых линий поля, т. е. не пересекает, а как бы скользит по ним, то никакой ЭДС в нем не индуктируется. Поэтому приведенная выше формула справедлива только в том случае, когда проводник перемещается перпендикулярно магнитным силовым линиям поля.

Направление индуктированной ЭДС (а также и тока в проводнике) зависит от того, в какую сторону движется проводник. Для определения направления индуктированной ЭДС существует правило правой руки.

Если держать ладонь правой руки так, чтобы в нее входили магнитные силовые линии поля, а отогнутый большой палец указывал бы направление движения проводника, то вытянутые четыре пальца укажут направление действия индуктированной ЭДС и направление тока в проводнике.

При движении внутри катушки постоянного магнита в ней индуктируется ЭДС за счет того, что магнитный поток магнита пересекает витки катушки, т. е. точно так же, как это было при движении прямолинейного проводника в поле магнита.

Если магнит опускать в катушку медленно, то возникающая в ней ЭДС будет настолько мала, что стрелка прибора может даже не отклониться. Если же, наоборот, магнит быстро ввести в катушку, то отклонение стрелки будет большим. Значит, величина индуктируемой ЭДС, а следовательно, и сила тока в катушке зависят от скорости движения магнита, т. е. от того, насколько быстро силовые линии поля пересекают витки катушки. Если теперь поочередно вводить в катушку с одинаковой скоростью сначала сильный магнит, а затем слабый, то можно заметить, что при сильном магните стрелка прибора будет отклоняться на больший угол. Значит, величина индуктируемой ЭДС, а следовательно, и сила тока в катушке зависят от величины магнитного потока магнита.

И, наконец, если вводить с одинаковой скоростью один и тот же магнит сначала в катушку с большим числом витков, а затем со значительно меньшим, то в первом случае стрелка прибора отклонится на больший угол, чем во втором. Значит, величина индуктируемой ЭДС, а следовательно, и сила тока в катушке зависят от числа ее витков. Те же результаты можно получить, если вместо постоянного магнита применять электромагнит.

Направление ЭДС индукции в катушке зависит от направления перемещения магнита. О том, как определять направление ЭДС индукции, говорит закон, установленный Э. Х. Ленцем.

Закон Ленца для электромагнитной индукции: Всякое изменение магнитного потока внутри катушки сопровождается возникновением в ней ЭДС индукции, причем чем быстрее изменяется магнитный поток, пронизывающий катушку, тем большая ЭДС в ней индуктируется.

Если катушка, в которой создана ЭДС индукции, замкнута на внешнюю цепь, то по виткам ее идет индукционный ток, создающий вокруг проводника магнитное поле, в силу чего катушка превращается в соленоид. Получается таким образом, что изменяющееся внешнее магнитное поле вызывает в катушке индукционный ток, которой, в свою очередь, создает вокруг катушки свое магнитное поле — поле тока.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: [illegible]
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Изучая это явление, Э. Х. Ленц установил закон, определяющий направление индукционного тока в катушке, а следовательно, и направление ЭДС индукции. ЭДС индукции, возникающая в катушке при изменении в ней магнитного потока, создает в катушке ток такого направления, при котором магнитный поток катушки, созданный этим током, препятствует изменению постороннего магнитного потока.

Закон Ленца справедлив для всех случаев индуктирования тока в проводниках, независимо от формы проводников и от того, каким способом достигается изменение внешнего магнитного поля.

Величина э.д.с. индукции $\varepsilon_{инд}$ определяется законом электромагнитной индукции Фарадея: э.д.с. электромагнитной индукции $\varepsilon_{инд}$, в замкнутом проводящем контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока Φ сквозь поверхность, ограниченную этим контуром

$$\varepsilon_{инд} = -\frac{d\Phi}{dt} \qquad (1)$$

Знак минус в формуле соответствует *правилу Ленца*: при всяком изменении магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную замкнутым контуром, в последнем возникает индукционный ток такого направления, что его собственное магнитное поле противодействует изменению магнитного потока, вызвавшего индукционный ток.

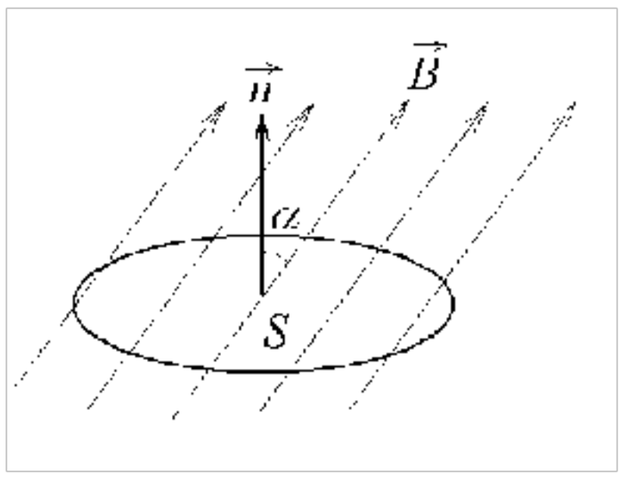


Рис. 1.

Причина возникновения индукционного тока в неподвижном контуре согласно теории электромагнетизма Максвелла состоит в том, что при изменении магнитного поля возникает вихревое электрическое поле, т.е. электрическое поле с замкнутыми силовыми линиями. Под действием этого поля свободные заряды контура перемещаются, т.е, в контуре возникает электрический ток, называемый индукционным током.

Пусть плоский замкнутый проводящий контур L находится в однородном магнитном поле с индукцией B (рис. 1). Тогда магнитный поток Φ (поток вектора магнитной индукции) через поверхность, ограниченную контуром L, определяется выражением

$$\Phi = BS\cos\alpha, \qquad (2)$$

где S – площадь поверхности, ограниченной контуром L, α – угол между направлением силовых линий (направлением вектора и нормалью $\vec{n}$ к поверхности, ограниченной контуром).

Пусть магнитное поле создается цилиндрической катушкой (соленоидом), по которой протекает переменный электрический ток

$$I = I_0 \cos\omega t \qquad (3)$$

где I_0 – амплитудное значение тока; ω – циклическая частота тока $\omega = 2\pi\nu$; ν – частота тока.

Тогда магнитная индукция B поля внутри катушки и вблизи ее торцов равна

$$B = \mu\mu_0 nI$$

или с учетом (3)

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

$$B = \mu\mu_0 n I_0 \cos\omega t \qquad (4)$$

где μ – магнитная проницаемость сердечника катушки; μ_0 – магнитная постоянная; n – число витков катушки на единице длины. Подставив выражение (4) в формулу (2), находим магнитный поток через контур, расположенный вблизи торца катушки

$$\Phi = \mu\mu_0 n I_0 S \cos\alpha \cos\omega t$$

Отсюда скорость изменения магнитного потока равна,

$$\frac{d\Phi}{dt} = -\mu\mu_0 n I_0 S\omega \cos\alpha \sin\omega t \qquad (5)$$

Таким образом, скорость изменения магнитного потока пропорциональна амплитудному значению тока в катушке I_0 и косинусу угла α. Подставив выражение (5) в формулу (1), получаем

$$\varepsilon_{инд} = C I_0 \cos\alpha \qquad (6)$$

где $C = -\mu\mu_0 n S\omega \sin\omega t$.

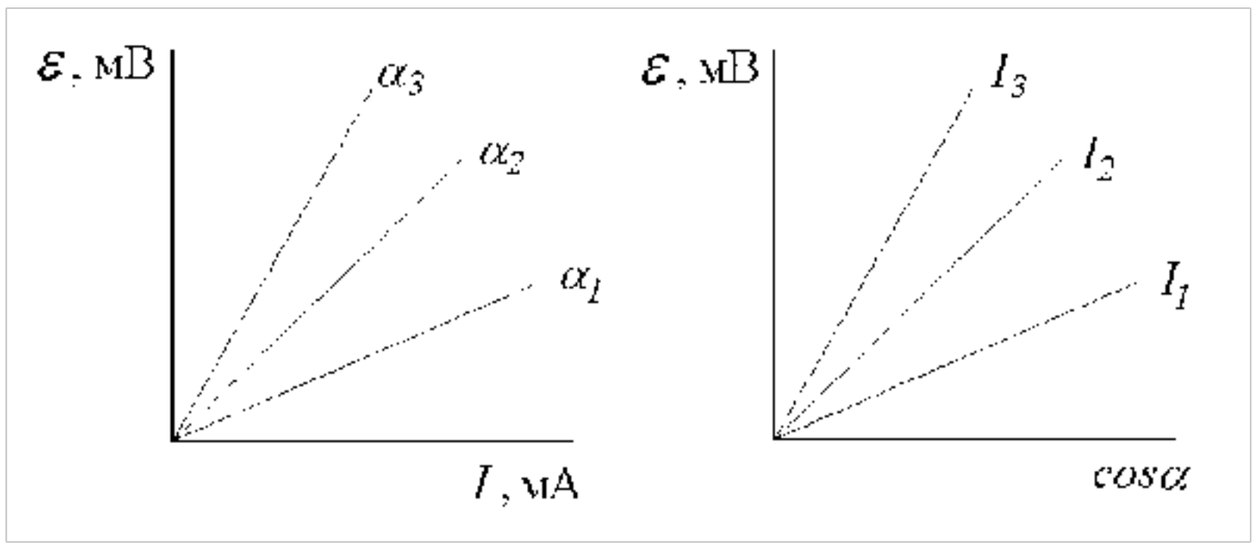


Рис.2.

Зависимость э.д.с. электромагнитной индукции $\varepsilon_{инд}$ от I и $\cos\alpha$ (примерный вид изображен на рис.2.

Оборудование и материалы.

1. Миллиамперметр.
2. Магнит.
3. Катушка-моток.
4. Источник тока.
5. Реостат.
6. Ключ.
7. Катушка от электромагнита.
8. Соединительные провода.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. При выполнении лабораторных работ студентам запрещается:
   - включать схемы под напряжением без проверки преподавателя;
   - прикасаться к незащищённым изоляцией частям схемы, находящихся под напряжением;

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000[illegible]
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

- определять наличие напряжения на элементах цепи припомощи пальцев; проверка наличия напряжения производится только с помощью вольтметра и в присутствии преподавателя;
- при работе на лабораторной установке прикасаться одновременно стен, радиаторов системы отопления и других металлических предметов;
- включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;
- производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;
- бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;
- заменять сгоревшие предохранители на рабочих щитах при включённых рубильниках;
- класть на рабочий стол посторонние предметы;
- входить в лабораторию в верхней одежде;
- курение и зажигание огня.

4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».
5. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.
6. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.
7. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.
8. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Задания.

Эксперимент 1

Начнем лабораторную работу со сбора установки. Чтобы собрать схему, которую мы будем использовать в лабораторной работе, присоединим моток-катушку к миллиамперметру и используем магнит, который будем приближать или удалять от катушки. Одновременно с этим мы должны вспомнить, что будет происходить, когда будет появляться индукционный ток.

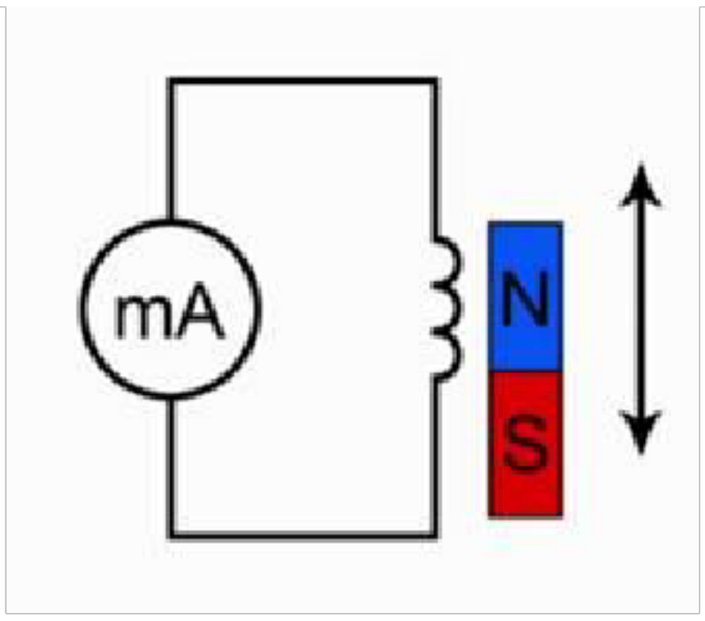


Рис. 1. Эксперимент 1

Подумайте над тем, как объяснить наблюдаемое нами явление. Каким образом влияет магнитный поток на то, что мы видим, в частности происхождение электрического тока. Для этого посмотрите на вспомогательный рисунок.

Обратите внимание, что линии магнитной индукции выходят из северного полюса, входят в южный полюс. При этом количество этих линий, их густота различна на разных

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

участках магнита. Обратите внимание, что направление индукции магнитного поля тоже изменяется от точки к точке. Поэтому можно сказать, что **изменение магнитного потока приводит к тому, что в замкнутом проводнике возникает электрический ток, но только при движении магнита, следовательно, изменяется магнитный поток, пронизывающий площадь, ограниченную витками этой катушки.**

Эксперимент 2

Следующий этап нашего исследования электромагнитной индукции связан с определением **направления индукционного тока**. О направлении индукционного тока мы можем судить по тому, в какую сторону отклоняется стрелка миллиамперметра. Воспользуемся дугообразным магнитом и увидим, что при приближении магнита стрелка отклонится в одну сторону. Если теперь магнит двигать в другую сторону, стрелка отклонится в другую сторону. В результате проведенного эксперимента мы можем сказать, что от направления движения магнита зависит и направление индукционного тока. Отметим и то, что от полюса магнита тоже зависит направление индукционного тока.

Обратите внимание, что величина индукционного тока зависит от скорости перемещения магнита, а вместе с тем и от скорости изменения магнитного потока.

Вторая часть нашей лабораторной работы связана будет с другим экспериментом. Посмотрим на схему этого эксперимента и обсудим, что мы будем теперь делать.

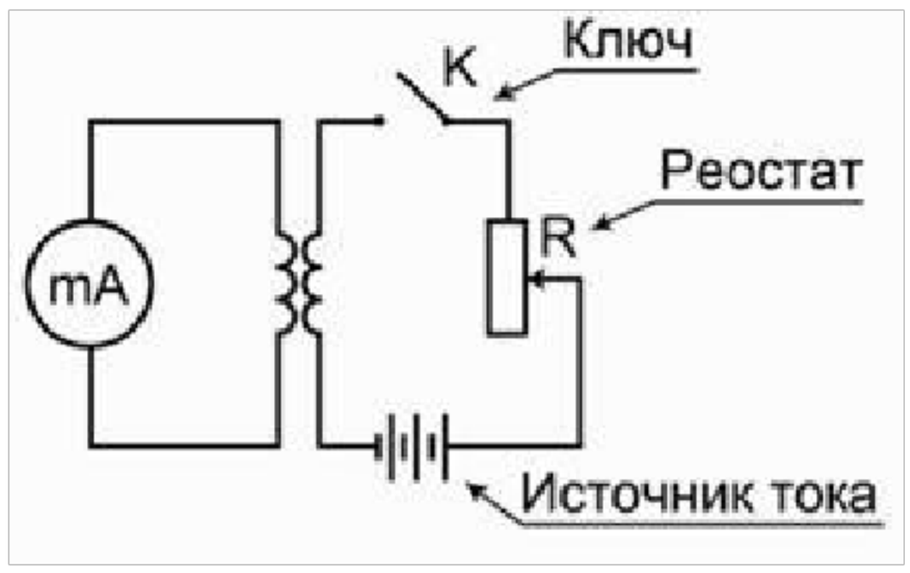


Рис. 2. Эксперимент 2

Во второй схеме в принципе ничего не изменилось относительно измерения индукционного тока. Тот же самый миллиамперметр, присоединенный к мотку катушки. Остается все, как было в первом случае. Но теперь изменение магнитного потока мы будем получать не за счет движения постоянного магнита, а за счет изменения силы тока во второй катушке.

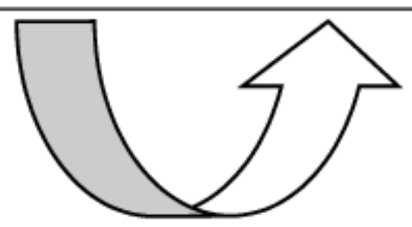
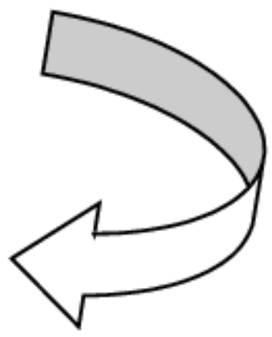
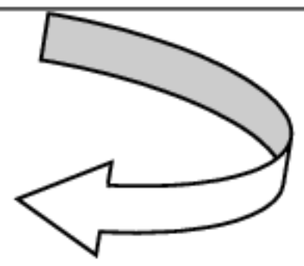
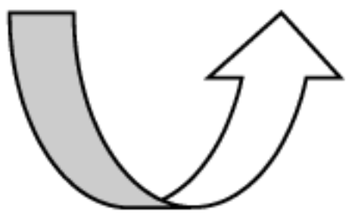
В первой части будем исследовать наличие индукционного тока при замыкании и размыкании цепи. Итак, первая часть эксперимента: мы замыкаем ключ. Обратите внимание, ток нарастает в цепи, стрелка отклонилась в одну сторону, но обратите внимание, сейчас ключ замкнут, а электрического тока миллиамперметр не показывает. Дело в том, что нет изменения магнитного потока, мы уже об этом говорили. Если теперь ключ размыкать, то миллиамперметр покажет, что направление тока изменилось.

Во втором эксперименте мы проследим, как возникает индукционный ток, когда меняется электрический ток во второй цепи.

Следующая часть опыта будет заключаться в том, чтобы проследить, как будет изменяться индукционный ток, если менять величину тока в цепи за счет реостата. Вы знаете, что если мы изменяем электрическое сопротивление в цепи, то, следуя закону Ома,

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

у нас будет меняться и электрический ток. Раз изменяется электрический ток, будет изменяться магнитное поле. В момент перемещения скользящего контакта реостата изменяется магнитное поле, что приводит к появлению индукционного тока.

№ опыта	Способ получения индукционного тока	I	B	Вм	ΔФм
1	Внесение в катушку северного полюса магнита		→	←	+
2	Удаление из катушки северного полюса магнита		←	←	-
3	Внесение в катушку южного полюса магнита		←	→	+
4	Удаление из катушки южного полюса магнита		→	→	-

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. В чем заключается явление электромагнитной индукции?
2. Какой ток называют индукционным?
3. Сформулируйте закон электромагнитной индукции. Какой формулой он описывается?
4. Как формулируется правило Ленца?
5. Какова связь правила Ленца с законом сохранения энергии?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Лабораторная работа № 11

Тема работы. **Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли.**

Цель работы. Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли.

Теоретическая часть.

Земля в целом представляет собой огромный шаровой магнит. Поэтому в любой точке пространства, окружающего Землю, и на ее поверхности существует магнитное поле, силовые линии которого изображены на рисунке 1. При этом северный магнитный полюс N находится вблизи южного географического Ю и наоборот. На экваторе магнитные силовые линии направлены горизонтально, а на полюсах - вертикально.

В остальных точках земной поверхности индукция магнитного поля направлена под некоторым углом к плоскости Земли, т.е. имеет и горизонтальную $B_з$ и вертикальную $B_в$ составляющие.

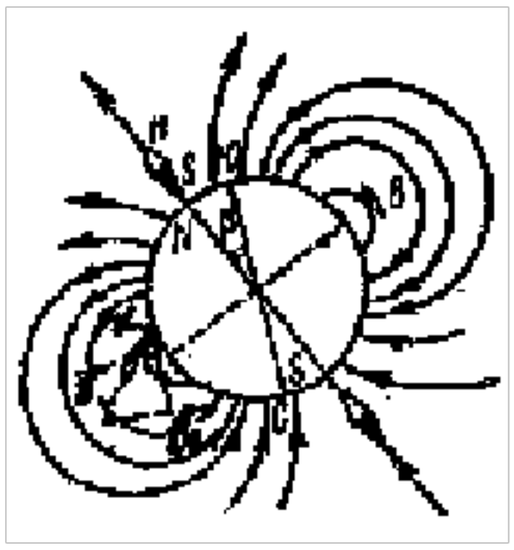


Рис.1.

Направление горизонтальной составляющей принимается за направление магнитного меридиана, т.к. в этом направлении устанавливается стрелка компаса, вращающаяся в горизонтальной плоскости. Целью настоящей работы является измерение величины горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли с помощью тангенс-гальванометра. Тангенс-гальванометр представляет собой вертикально расположенные n круговых витков радиуса R, по которым пропускается постоянный ток силой I. В центре этой совокупности витков (короткой катушки) помещается компас. При отсутствии тока в витках магнитная стрелка компаса установится по

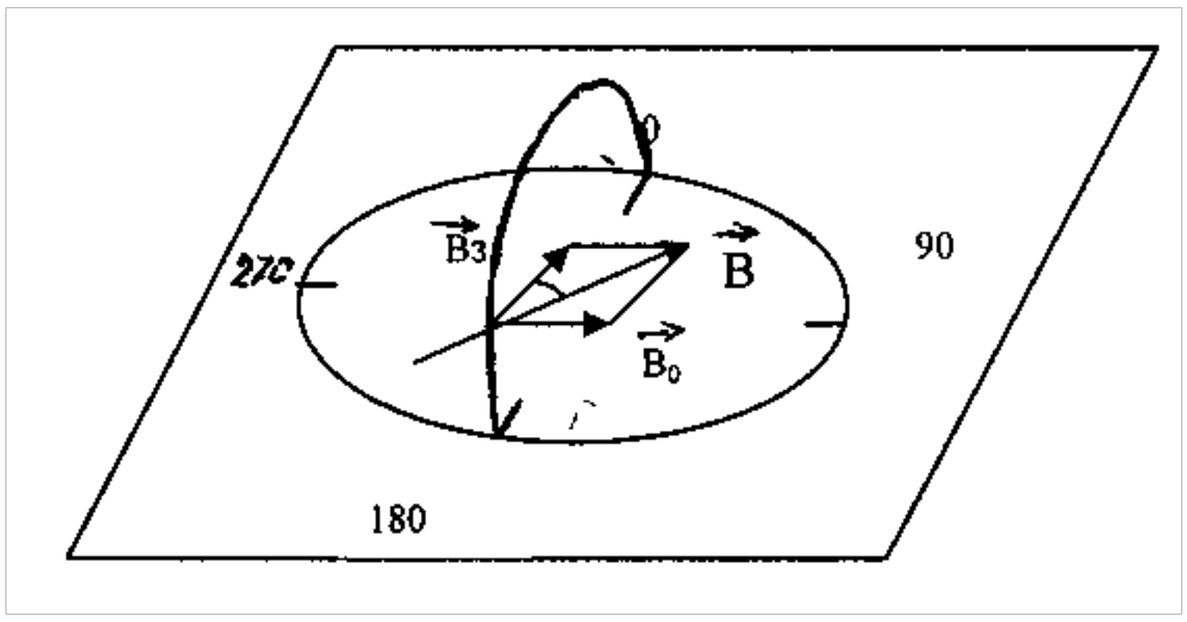


Рис. 2.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

магнитному меридиану. При пропускании тока по виткам стрелка повернется на некоторый угол α, т.к. теперь на нее помимо горизонтальной составляющей магнитного поля Земли будет действовать еще магнитное поле, создаваемое током I в n витках. Если

витки сориентировать так чтобы их плоскости совпадали с плоскостью магнитного меридиана, то на стрелку будут действовать два взаимно перпендикулярных поля: поле Земли B_3 и поле тока B_0 (рис.2).

Стрелка компаса установится в направлении равнодействующей этих полей, вдоль $B = B_0 + B_3$, т.е. по диагонали параллелограмма, сторонами которого будут B_0 и B_3. См. рис.2, на котором изображено сечение витков с током, ориентированных вдоль магнитного меридиана, горизонтальной плоскостью. Из рис. 2 следует, что $tg\alpha = \frac{B_0}{B_3}$, откуда

$$B_3 = \frac{B_0}{tg\alpha} \qquad (1)$$

Так как индукция магнитного поля в центре кругового тока $B_o = \frac{\mu_0 I}{2R}$, то в центре n витков очевидно

$$B_0 = \frac{\mu_0 In}{2R} \qquad (2)$$

Подставив (2) в (1) получим

$$B_3 = \frac{\mu_o In}{2R \cdot tg\alpha} \qquad (3)$$

Эта формула используется в настоящей работе для опытного определения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. Формула (3) записана в системе СИ, поэтому B_3 получится в теслах.

Электрическая схема установки для измерения B_3 состоит из тангенс-гальванометра G, источника тока ε ,реостата R и амперметра A для регулировки и измерения тока (рис.3).

В схеме используется переключатель П для изменения направления тока, проходящего через тангенс-гальванометр.

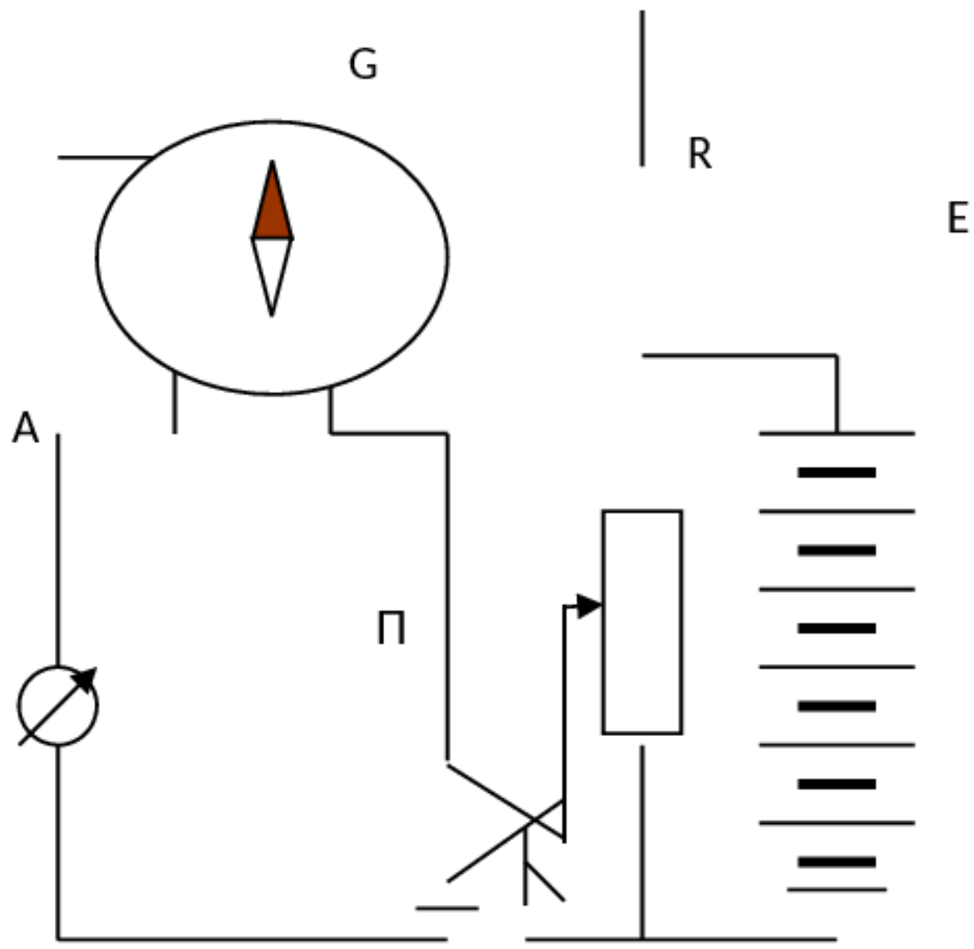


Рис. 3

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Оборудование и материалы.

Тангенс-гальванометр, амперметр, реостат, источник тока.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила

техники безопасности.

2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. При выполнении лабораторных работ студентам запрещается:

- включать схемы под напряжением без проверки преподавателя;
- прикасаться к незащищённым изоляцией частям схемы, находящихся под напряжением;
- определять наличие напряжения на элементах цепи припомощи пальцев; проверка наличия напряжения производится только с помощью вольтметра и в присутствии преподавателя;
- при работе на лабораторной установке прикасаться одновременно стен, радиаторов системы отопления и других металлических предметов;
- включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;
- производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;
- бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;
- заменять сгоревшие предохранители на рабочих щитах при включённых рубильниках;
- класть на рабочий стол посторонние предметы;
- входить в лабораторию в верхней одежде;
- курение и зажигание огня.

4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».
5. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.
6. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.
7. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.
8. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Задания.

1. Собирают электрическую цепь по схеме рис.3
2. Поворачивая тангенс- гальванометр, устанавливают его плоскость в плоскости магнитного меридиана, так чтобы магнитная стрелка установилась в направлении 0˚-180˚.
3. Устанавливая движком реостата заданную величину тока (задается преподавателем) измерить угол отклонения магнитной стрелки α_1.
4. Не изменяя величину тока поменять переключателем П направление тока на противоположное. Отсчитать новый угол отклонения стрелки α_2. Вычислить $\alpha_{cp} = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)}{2}$.
5. Повторить измерения α_1 и α_2 при нескольких других заданных значениях тока.
6. Подставляя последовательно измеренные соответствующие значения тока I_i и усредненные значения угла α_i в формулу (3) найти значения B_3. (Величины n и R указаны на тангенс-гальванометре).
7. Все результаты измерений и вычислений занести в табл.1

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Табл.1

I(A)	α_1	α_2	α_{cp}	$tg\alpha_{cp}$	B_3	ΔB	δB
(ср)							

8. Оценить погрешность проведенного измерения B_3 и результаты занести в табл.1
9. Записать результат в виде

$B_з = B_{зср} \pm \Delta B_{зср}$

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Какой вид имеет магнитное поле Земли?
2. В чем заключается идея измерения горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли?
3. Как устроен тангенс-гальванометр?
4. Выведите формулу индукции B_0, в центре кругового витка с током.
5. Почему плоскость тангенс-гальванометра следует ориентировать в направлении магнитного меридиана?

Лабораторная работа № 12

Тема работы. **Исследование колебаний в колебательном контуре**

Цель работы. Изучение затухающих электрических колебаний колебательном контуре.

Теоретическая часть.

Простой колебательный контур состоит из последовательно со-единенных элементов: емкости C, индуктивности L и активного сопротивления R

Среди различных электрических явлений большой интерес представляют электрические колебания, при которых некоторые электрические величины, такие как потенциал сила тока, или заряд изменяются во времени. Одним из простейших источников получения электрических колебаний является электрический колебательный контур.

Рассмотрим простой колебательный контур, состоящий из последовательно соединенных конденсатора ***C***, индуктивности ***L***, резистора ***R*** и ключа ***K*** (рис.1, а). Если конденсатор зарядить, а затем замкнуть ключ (рис.1,б), то конденсатор начинает

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

разряжаться. В цепи появляется возрастающий ток ***i***, в катушке индуктивности - соответствующее магнитное поле.

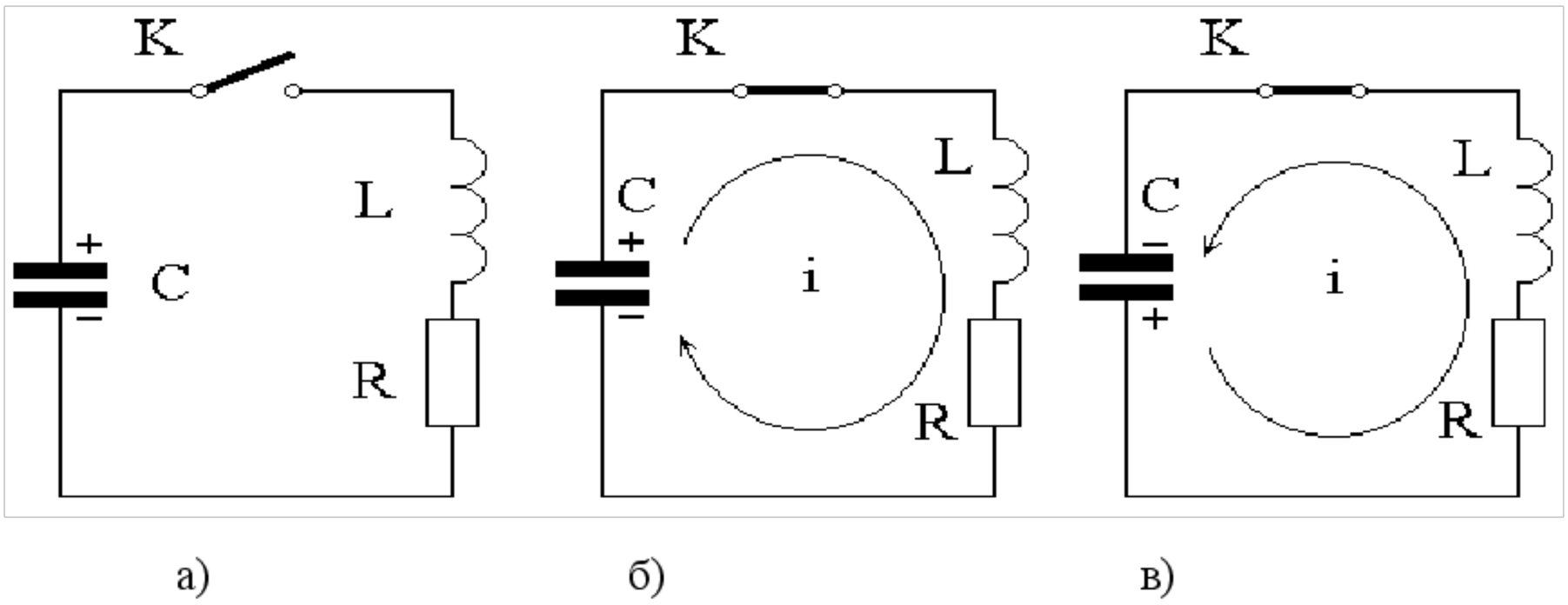


Рис.1.

Ток разряда конденсатора ***i***, протекая через катушку, порождает в ней ЭДС самоиндукции. Возникающая ЭДС самоиндукции замедляет разряд конденсатора, а после того, как конденсатор полностью разрядится ЭДС самоиндукции, наоборот, начинает поддерживать ток в прежнем направлении.

В результате этого конденсатор перезарядится, после чего процесс повторится, но движение зарядов будет происходить в противоположном направлении (рис.2,в).

Первоначальная энергия электрического поля заряженного конденсатора во время его разряда переходит в энергию магнитного поля катушки. При перезаряде конденсатора происходит обратный переход энергии магнитного поля катушки в энергию электрического поля конденсатора. В идеальном колебательном контуре сопротивление R равно нулю и возникшие электрические колебания будут ***незатухающими*** (рис. 2,а).

В реальном колебательном контуре R отлично от нуля, поэтому при протекании тока через него происходит выделение тепла. Вследствие этого общий запас энергии в контуре уменьшается, и колебания ***затухают*** (рис.2,б).

С увеличением сопротивления R скорость затухания колебаний увеличивается (рис. 2,в), а при достаточно большом значении R колебания вообще не возникают - наблюдается ***апериодический*** разряд конденсатора (рис. 2,г).

Сопротивление контура, при котором колебательный процесс переходит в апериодический, называется критическим ($R_{кр}$).

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

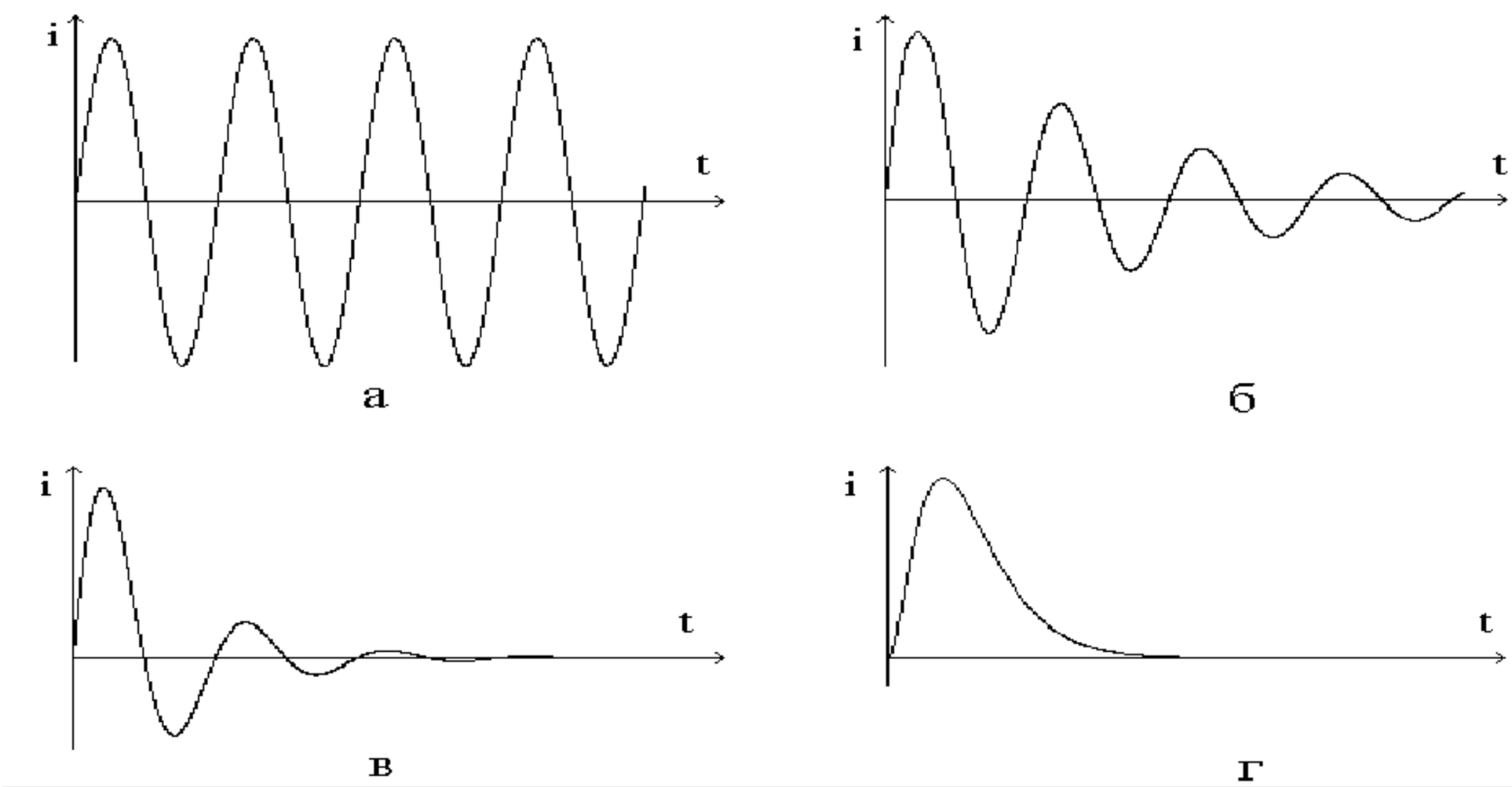


Рис. 2.

Найдем уравнение, описывающее затухающие электрические колебания в контуре. В соответствии с законом сохранения энергии убыль энергии конденсатора при его разряде $-dW_C$ расходуется на увеличение энергии магнитного поля катушки dW_L и выделение тепла dQ в сопротивлении R:

$$- dWc = dW_L + dQ , \qquad (1)$$

где W_C - энергия конденсатора, $W_C = q^2 / 2C$,

W_L - энергия магнитного поля катушки, $W_L = Li^2 / 2$.

Здесь q - заряд конденсатора в данный момент времени, i - сила тока в контуре в этот же момент.

Количество тепла, выделяющееся в проводнике за время dt:

$$dQ = i^2 R\, dt.$$

Используя эти соотношения, преобразуем уравнение (1):

$$- d\left(\frac{q^2}{2C}\right) = d\left(L\frac{i^2}{2}\right) + i^2 \cdot R \cdot dt = 0,$$

$$\frac{1}{2C} 2q \cdot dq + \frac{L}{2} \cdot 2i \cdot di + i^2 R \cdot dt = 0,$$

$$\frac{q}{C} dq + L \cdot i \cdot di + i^2 R \cdot dt = 0. \qquad (2)$$

Так как $i = dq / dt$ и dq = i dt,

то выражение (2) можно преобразовать к виду

$$\frac{d}{C} dq + L \frac{dq}{dt} di + iR \cdot dq = 0.$$

Сократив на dq и используя соотношение

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

$$\frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2},$$

получаем следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = 0 \quad . \qquad (3)$$

В этом уравнении сделаем следующие замены:

$$\frac{R}{L} = 2\beta \quad , \qquad (4)$$

$$\frac{1}{LC} = \omega_0^2 \quad , \qquad (5)$$

где β - коэффициент затухания, ω_0 - собственная частота контура.

Тогда

$$\frac{d^2q}{dt^2} + 2\beta\frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0 \qquad (6)$$

Дифференциальное уравнение (6) имеет (при $\beta < \omega_0$) следующее решение:

$$q = q_0 \cdot e^{-\beta t} \cdot \cos(\omega t + \alpha) \quad , \qquad (7)$$

где

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \quad , \qquad (8)$$

q_0 и α - некоторые постоянные, соответствующие начальной амплитуде и начальной фазе колебания.

Выражение (11.7) есть уравнение затухающих электрических колебаний, циклическая частота которых равна ω, а амплитуда экспоненциально убывает с течением времени (рис. 3).

Период этих колебаний:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} \qquad (9)$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

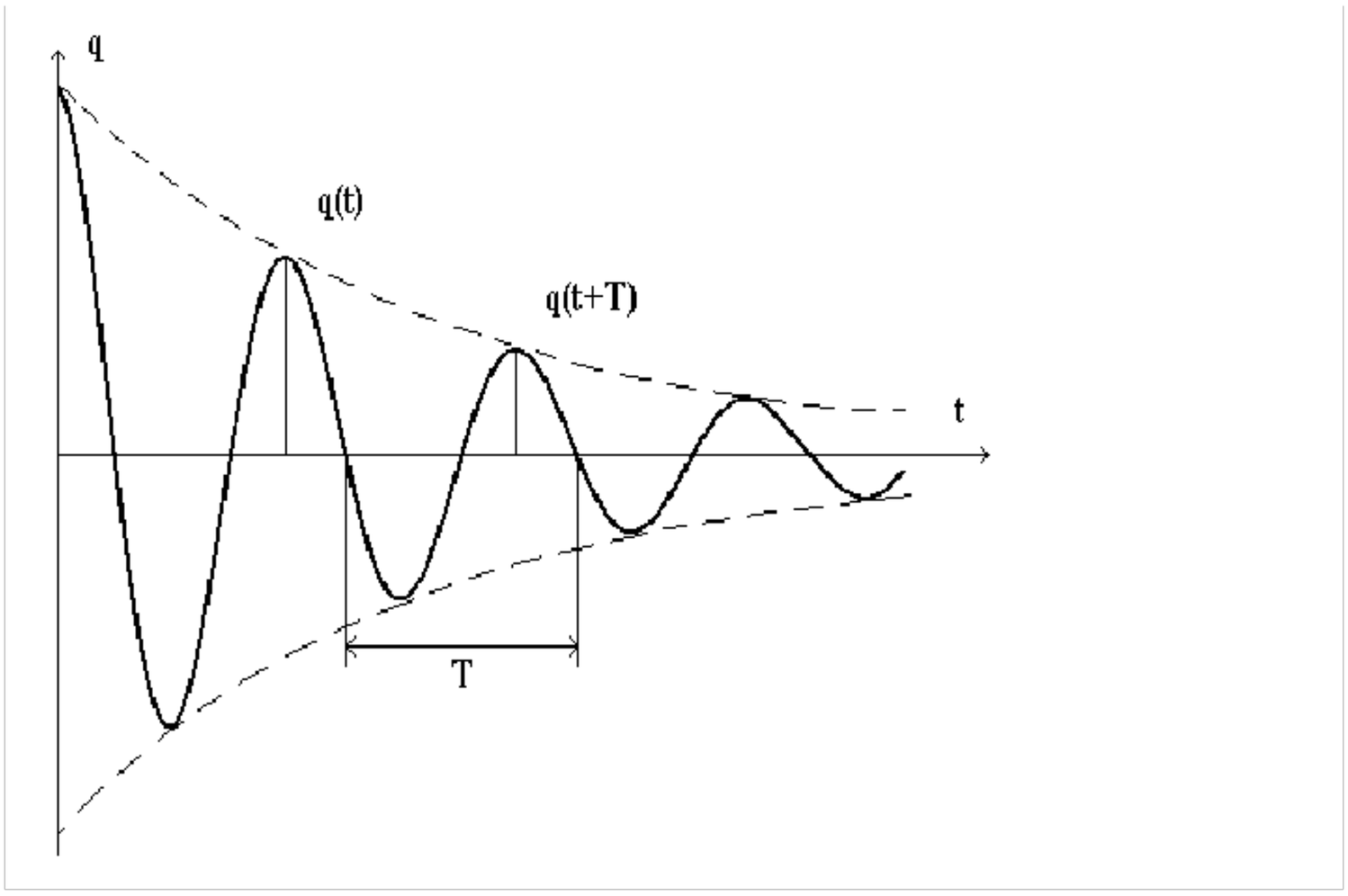


Рис. 3.

Для малых значений R получим

$$T_o = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{L'C} \quad . \qquad (10)$$

В соответствии с уравнением (9) при увеличении сопротивления контура R, период колебаний будет, стремясь к бесконечности при

$$\beta = \omega_0. \qquad (11)$$

Это означает, что колебательный процесс переходит в апериодический. Используя уравнения (4) и (5) из выражения (11) можно получить значение критического сопротивления:

$$R_{кр} = 2'\sqrt{\frac{L}{C}} \quad . \qquad (12)$$

Для характеристики затухания колебаний часто пользуются ***логарифмическим декрементом затухания*** δ и ***добротностью*** Q.

Логарифмический декремент затухания равен натуральному логарифму отношения амплитуд колебаний, соответствующих двум моментам времени, отличающимся на период:

$$\delta = \ln\frac{A(t)}{A(t+T)} \quad . \qquad (13)$$

Здесь A - амплитуда колебаний величины заряда, тока или напряжения (рис. 3). Используя уравнение (7), получим

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

$$\delta = \ln \frac{q_0' e^{-\beta' t}}{q_0' e^{-\beta'(t+T)}} = \beta' T \quad .$$

Для небольших значений R, с учетом уравнений (4) и (10), логарифмический декремент затухания можно определить через параметры контура:

$$\delta = \pi' R' \sqrt{\frac{C}{L}} \quad . \qquad (14)$$

Пусть τ - время релаксации, в течение которого амплитуда колебаний уменьшается в e ≅ 2.7 раз, N_e - число колебаний совершенных за время релаксации. Тогда можно легко доказать, что

$$\delta = \frac{1}{N_e} \qquad (15)$$

Добротность Q представляет собой умноженное на 2π отношение энергии W(t) в данный момент времени t, к энергии, теряемой за период колебания T:

$$Q = 2\pi \frac{W(t)}{W(t)' - ' W(t+T)} \quad , \qquad (16)$$

Если в начальный момент времени (t = 0) энергия контура состоит из энергии заряженного конденсатора, то

$$W('t') = \frac{q_0^2}{2C} \quad . \qquad (17)$$

Энергия контура через время, равное периоду, уменьшится в соответствии с уменьшившимся зарядом:

$$W'('t + T) = \frac{('q_0 e^{-\beta T'})^2}{2C} \quad . \qquad (18)$$

Подставив выражения (17) и (18) в уравнение (16), получим

$$Q = \frac{2\pi}{1' - e^{-2'\beta' T}} = \frac{2\pi}{1' - e^{-2'\delta}} \quad . \qquad (19)$$

Известно соотношение $e^x \approx 1+x$, выполняющееся для малых значений x: (x << 1).

С учетом этого выражение (19) упростится:

$$Q = \frac{\pi}{\delta} \quad . \qquad (20)$$

Добротность можно выразить и через параметры контура, применив формулу (14):

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad . \qquad (21)$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Из уравнений (20) и (15) следует также, что добротность пропорциональна числу колебаний в контуре, совершившихся за время релаксации, в течение которого амплитуда уменьшается в е раз:

$$Q = \pi N_e.$$

В ряде случаев колебательный процесс можно исследовать, изучая взаимозависимость между напряжением u и током i в контуре.

График, изображающий эту зависимость, называется фазовой кривой. Состояние колебательной системы для любого момента времени изобразится точкой на этой кривой (рис. 4).

Уравнение фазовой кривой можно получить, используя зависимости тока и напряжения от времени.

Из выражения (7) и соотношения u=q/C следует, что

$$u = \frac{q_0}{C} e^{-\beta' t} \cos(\omega t + \alpha).$$

Сделаем замену $U_0 = q_0 / C$, и получим зависимость напряжения на конденсаторе от времени:

$$u = U_0 \cdot e^{-\beta' t} \cos(\omega' t + \alpha), \qquad (22)$$

где Uo - начальная разность потенциалов.

Из уравнения (7) можно определить и зависимость тока в контуре от времени

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}\left[q_0 e^{-\beta' t} \cos(\omega' t + \alpha)\right] =$$
$$= q_0 e^{-\beta' t} [-\omega \cdot \sin(\omega t + \alpha) - \beta \cos(\omega t + \alpha)].$$

Для малых затуханий β << ω, тогда

$$i = -q_0 \cdot \omega \cdot e^{-\beta t} \cdot \sin(\omega t + \alpha).$$

Обозначим $I_0 = q_0 \bullet \omega$, тогда $i = -I_0 e^{-\beta t} \sin(\omega t + \alpha)$, то есть

$$i = I_0 e^{-\beta t} \cos\left(\omega t + \alpha + \frac{\pi}{2}\right). \qquad (23)$$

Сравнив выражения (22) и (23), можно увидеть, что колебания силы тока опережают по фазе на $\pi/2$ колебания напряжения на конденсаторе.

Преобразуем выражения (22) и (23) следующим образом:

$$\frac{u}{U_0} = e^{-\beta' t} \cos(\omega t + \alpha),$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

$$\frac{i}{I_0} = -e^{-\beta' t} \sin'(\omega t + \alpha) \quad .$$

Если возвести эти уравнения в квадрат и сложить, то получим уравнение фазовой кривой:

$$\left(\frac{i}{I_0}'\right)^2 + \left(\frac{u}{U_0}'\right)^2 = e^{-2'\beta' t} \quad . \qquad (24)$$

В случае незатухающих колебаний (R = 0, β = 0) фазовая кривая имеет форму эллипса (рис. 4,а). Для реального контура ($R \neq 0$, $R < R_{кр}$) фазовая кривая представляет собой скручивающуюся спираль, причем большему сопротивлению контура соответствует большее затухание (рис. 4,б и рис.4,в).

При апериодическом колебании, когда сопротивление контура больше критического ($R > R_{кр}$), фазовая кривая вырождается в линию, изображенную на рис. 4,г.

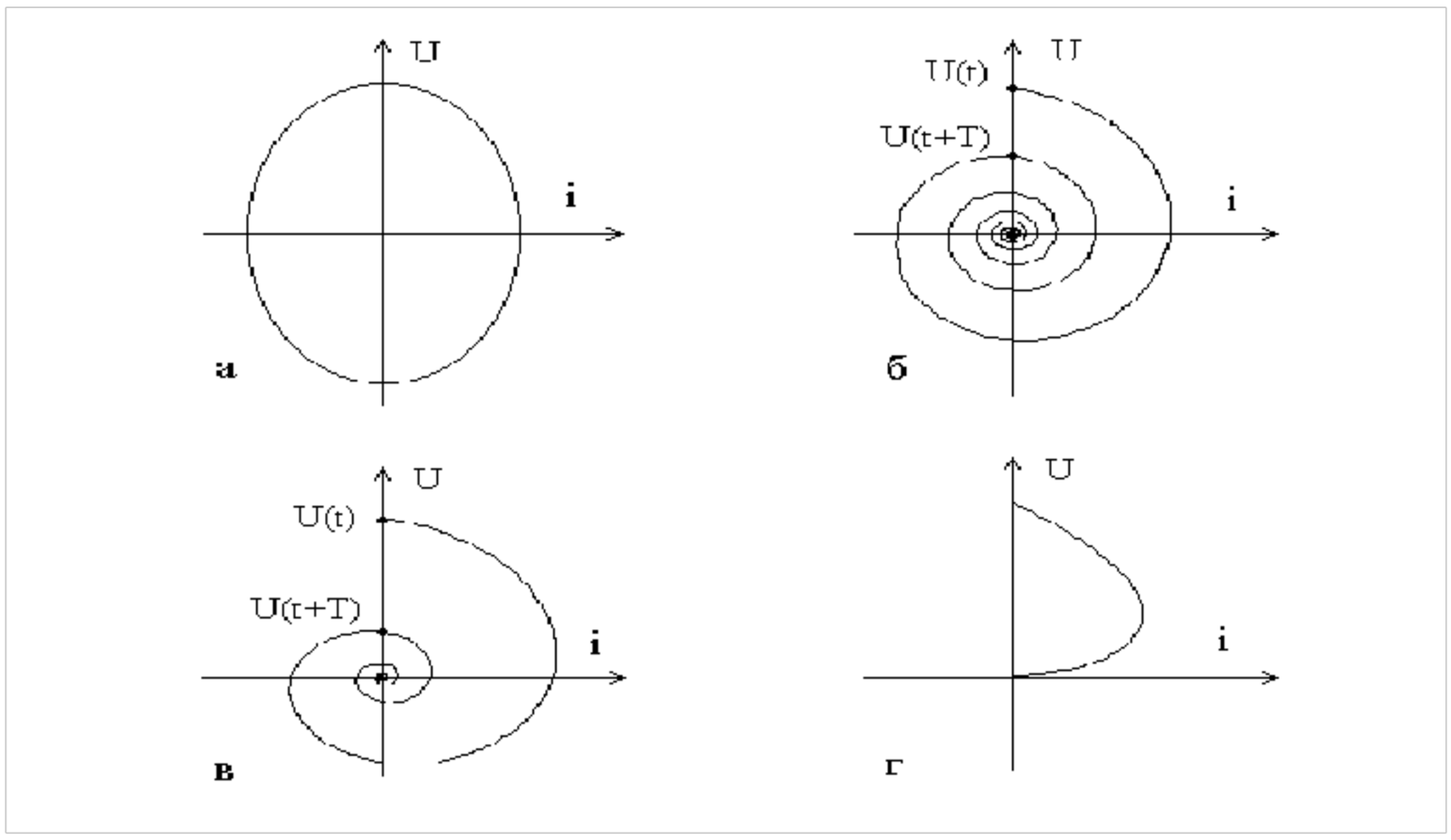


Рис.4.

Оборудование и материалы.

Лабораторная установка состоит из осциллографа и стенда, содержащего две катушки индуктивности, два конденсатора, магазин сопротивлений и генератор импульсов.

Генератор вырабатывает короткие положительные импульсы, в результате этого конденсатор колебательного контура периодически получает некоторый электрический заряд. В промежутках времени между импульсами в контуре будут совершаться затухающие колебания. Графики этих колебаний можно будет наблюдать на экране осциллографа и, далее, по ним определять период, логарифмический декремент затухания, добротность, критическое сопротивление.

Необходимые для расчетов параметры элементов контура указаны на стенде.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E0AB8B053205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

3. При выполнении лабораторных работ студентам запрещается:

- включать схемы под напряжением без проверки преподавателя;
- прикасаться к незащищённым изоляцией частям схемы, находящихся под напряжением;
- определять наличие напряжения на элементах цепи при помощи пальцев; проверка наличия напряжения производится только с помощью вольтметра и в присутствии преподавателя;
- при работе на лабораторной установке прикасаться одновременно стен, радиаторов системы отопления и других металлических предметов;
- включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;
- производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;
- бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;
- заменять сгоревшие предохранители на рабочих щитах при включённых рубильниках;
- класть на рабочий стол посторонние предметы;
- входить в лабораторию в верхней одежде;
- курить и зажигать огонь.

4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».

5. При работе на установках, в которых может наблюдаться резонанс, соблюдать особую осторожность.

6. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.

7. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.

8. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.

9. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Задания.

1. Собрать схему согласно рис. 5. Сопротивление магазина $R_м$ сделать равным нулю. Индуктивность и емкость контура выбрать произвольно, внести их параметры в табл. 11.1.

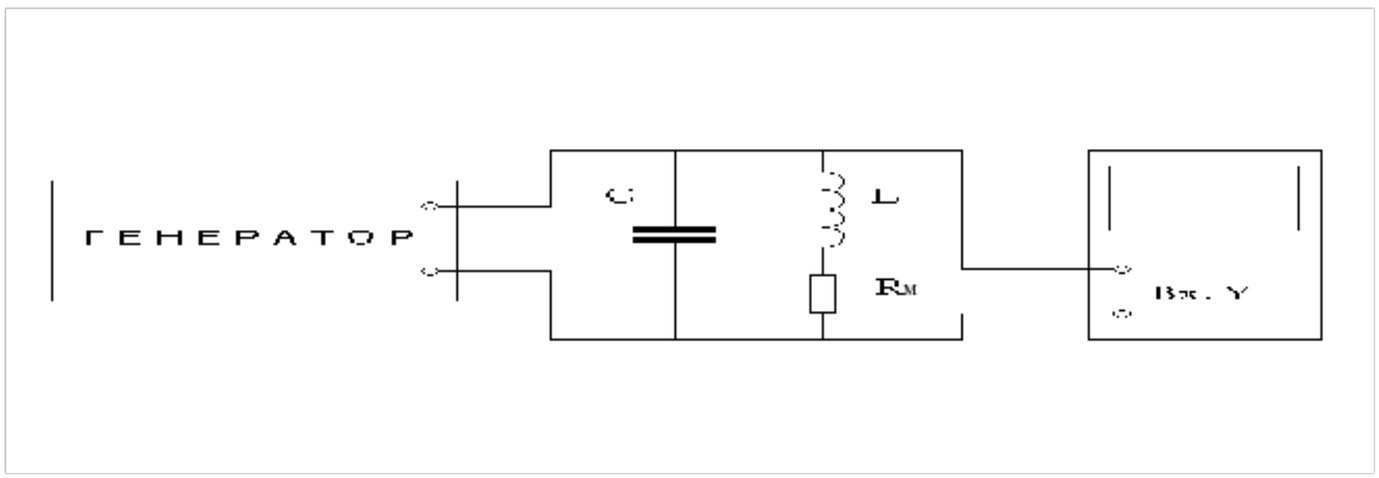


Рис. 5.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.18.2023

2. Включить осциллограф, прогреть его в течение 1-2 минут. Ручкой “Фокус” хорошо сфокусировать луч, чтобы уменьшить ошибку измерений.

3. Включить генератор. С помощью ручек управления разверткой осциллографа добиться неподвижной картины колебаний так, чтобы обеспечить достаточно точное измерение временных интервалов и амплитуд колебаний.

4. С помощью полученной осциллограммы, аналогичной рис. 3, измерить период колебаний То при минимальном сопротивлении контура, т.е. при $R_M = 0$, результат внести в табл. 1 в миллисекундах.

Для повышения точности можно измерить промежуток времени, соответствующий нескольким периодам колебаний, разделить его на число периодов и, таким образом, определить длительность одного периода.

5. Увеличивая сопротивление магазина R_M, проследить за возрастанием скорости затухания колебаний и определить критическое сопротивление контура, соответствующее переходу от периодических колебаний к апериодическим (т.е. переходу осциллограммы от рис. 2,в к рис. 2,г):

$$R_{кр} = R_L + R_M,$$

где R_L - собственное сопротивление катушки индуктивности. Полученное значение $R_{кр}$ внести в табл. 1.

6. Уменьшить сопротивление R_M, например, вдвое от $R_{кр}$. В контуре вновь возникнут затухающие периодические колебания. Определить период этих колебаний Т и вместе с полученным значением сопротивления контура ($R = R_L + R_M$) занести в табл. 1. Убедиться в различии периодов колебаний T_0 и Т, соответствующих различным значениям сопротивления контура.

Таблица 1.

№	C, мкФ	L, мГн	R_L, Ом	T_0, мс	$R_{кр}$, Ом	R_M, Ом	R, Ом	T, мс
1 2 3 … …								

7. Повторить измерения по пунктам 4 - 6 три раза для различных комбинаций L и C .

8. Для выбранных значений емкости C, индуктивности L, сопротивления R_L и полного сопротивления контура R, внесенных в табл. 1, вычислить и занести в табл. 2 теоретические значения:

T_0 - по формуле (10); T - по формуле (.9);

$R_{кр}$ - по формуле (12); δ - по формуле (14),

Q - по формуле (20).

Таблица 2.

№	T_0, мс	T, мс	$R_{кр}$, Ом	δ	Q
1 2 3 …					

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

…					

9. Для произвольных значений L и C исследовать зависимость логарифмического декремента затухания от сопротивления контура. Увеличивая сопротивление контура с помощью магазина сопротивлений R, измерить амплитуды A_1 и A_2, которые соответствуют моментам времени, отличающимся на период (рис. 3).

Результаты измерений внести в табл. 3. Подсчитать экспериментальные значения логарифмического декремента затухания $\delta_э$ по формуле (13), по формуле (14) - его теоретические значения $\delta_т$.

Таблица 3

№	R, Ом	A_1, мм	A_2, мм	$\delta_э$	$\delta_т$
1					
2					
3					
4					
5					

10. Для наблюдения фазовых кривых собрать схему по рис. 6.

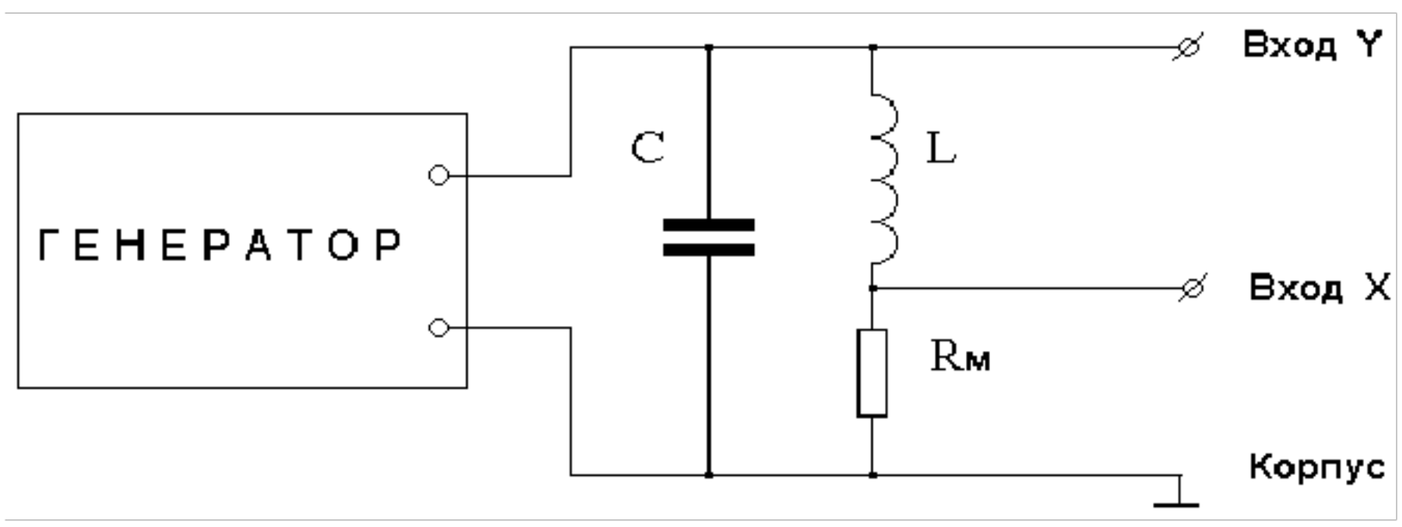


Рис. 6.

При этом на вход X подается сигнал с сопротивления $R_м$, который находится в фазе с током в контуре. На вход Y подается сигнал, находящийся в фазе с напряжением. Наблюдая фазовые кривые для различных сопротивлений контура, можно исследовать влияние затухания на форму фазовой кривой и уточнить значение критического сопротивления для данных значений емкости и индуктивности (рис.4,г).

С помощью фазовых кривых можно провести также измерения по п.9 (рис. 4,б).

11. Для одновременного наблюдения осциллограмм колебаний тока и напряжения и определения сдвига фаз между ними собрать схему в соответствии с рис. 7.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

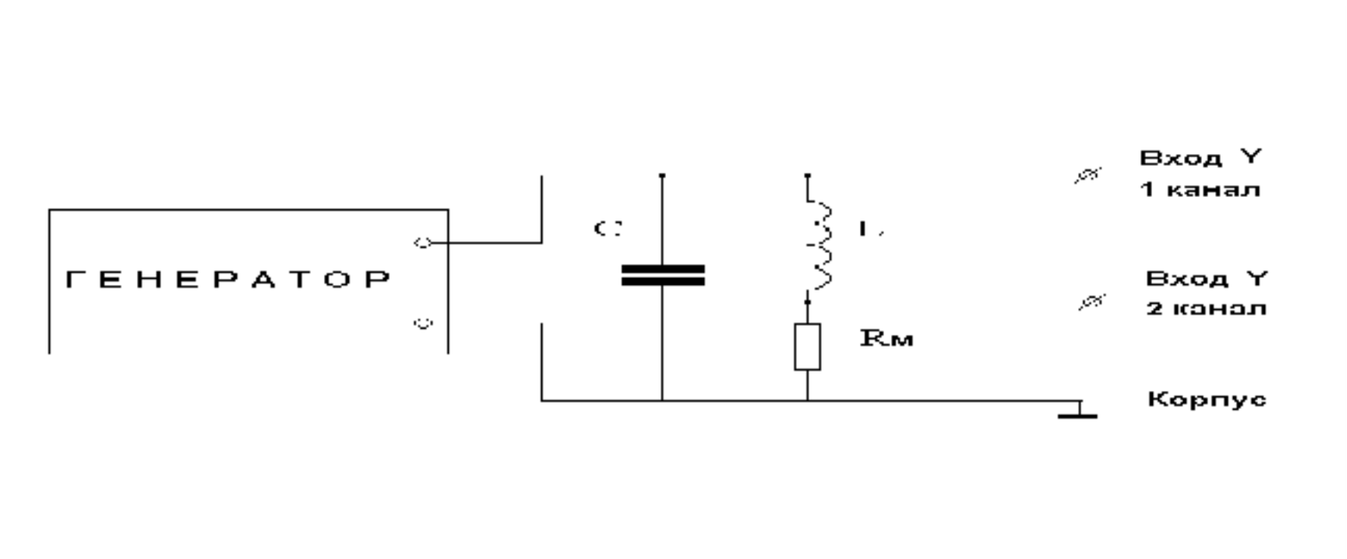


Рис. 7.

На входы Y первого и второго каналов осциллографа подаются сигналы, пропорциональные напряжению и току в контуре. Убедиться в наличии сдвига фаз этих колебаний, оценить величину этого сдвига.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Рассказать об электрических колебаниях в контуре.
2. Дать определение амплитуды, частоты, фазы, периода колебаний.
3. Какой процесс называется апериодическим? Что такое критическое сопротивление? Вывести уравнение (12).
4. Какие превращения энергии имеют место при периодическом и апериодическом процессах?
5. Какие формулы описывают энергию электрического поля конденсатора и энергию магнитного поля катушки.
6. Вывести уравнение затухающих электрических колебаний.
7. Что такое логарифмический декремент затухания? Объяснить его физический смысл, вывести уравнение (15).
8. Пояснить физический смысл добротности контура. Вывести уравнение (20).
9. Что называется фазовой кривой? Получить уравнение этой кривой.
10. Вывести уравнение (7), применив закон Ома для неоднородной замкнутой цепи.
11. Какова величина сдвига фаз между колебаниями тока и напряжения в идеальном колебательном контуре? Как можно измерить ее в реальных условиях?
12. Рассказать о практическом применении колебательного контура в технике.

Лабораторная работа № 13

Тема работы. **Измерение длины световой волны с помощью дифракционной решётки**

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

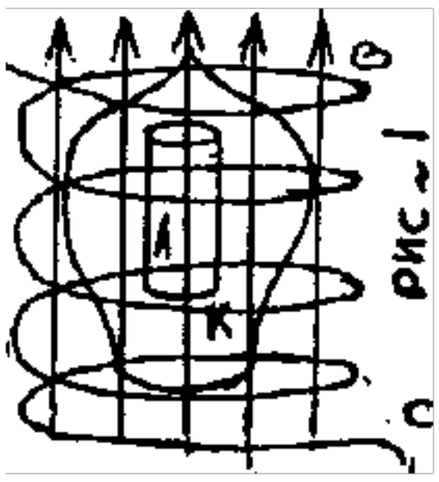
Цель работы. изучение движений зарядов в электрических и магнитных полях, измерение удельного заряда электрона.

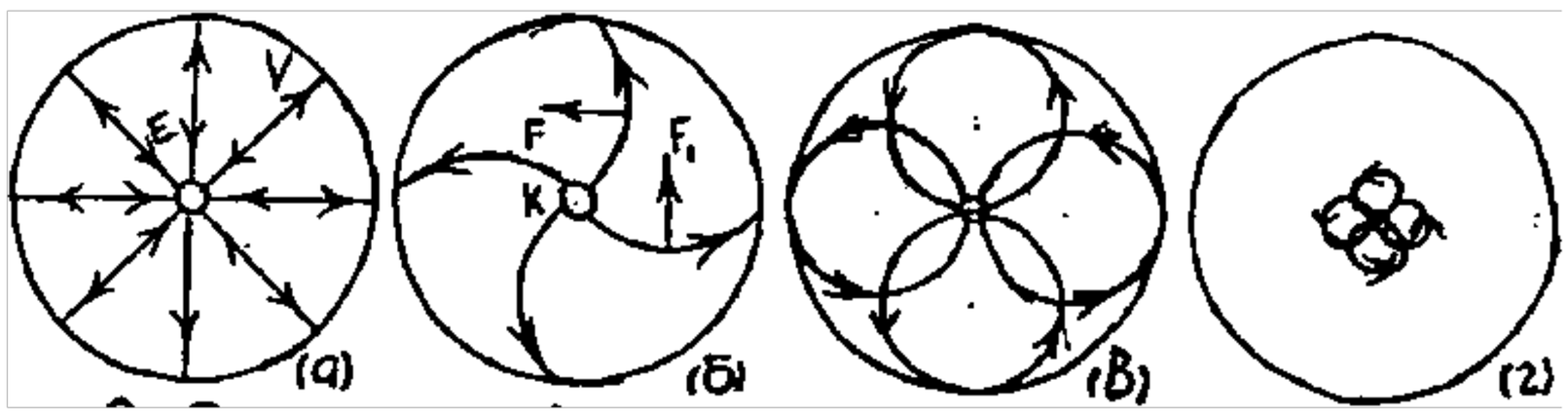
Теоретическая часть.

Удельным зарядом частицы называют отношение ее заряда Q к массе m. Именно удельным зарядом $^{Q}/m$ описывается главным образом поведение частицы в электрических и магнитных полях.

В настоящей работе определяется удельный заряд наиболее часто встречающейся в практике частицы-электрона методом магнетрона. Магнетрон- электронный прибор, в котором поток электронов одновременно управляется взаимно - перпендикулярными электрическим и магнитным полями. В современной технике магнетрон используется для генерирования сверхкоротких электромагнитных волн например в радиолокации, СВЧ-технике.

В лабораторной работе в качестве магнетрона используется двухэлектродная лампа с цилиндрическим анодом А и прямолинейным катодом К, расположенным на оси анода, помещенная в аксиальное (направленное вдоль оси анода) магнитное поле с индукцией В, созданное достаточно длинным соленоидом С рис.1 Электроны испускаемые раскаленным катодом под действием электрического поля разностью потенциалов между катодом и анодом при отсутствии магнитного поля движутся по радиальным траекториям (рис.2а).





B=0 $B_{КР}>B>0$ $B=B_{КР}$

$B> B_{КР}$

Рис.2

Как известно разность потенциалов численно равна работе по переносу единичного заряда из одной точки поля в другую. В данном случае разность потенциалов, равная анодному напряжению U_A, совершает перенос от катода к аноду электрона зарядом $Q=e=1{,}610^{-19}$ Кл. И выполняемая электрическим полем работа $A=eU_A$ идет на сообщение электрону кинетической энергии, равной $mv^2/_2$.

Следовательно $eU_A=\frac{mV^2}{2}$

Отсюда скорость V электрона достигшего анода будет равной

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

$$V = \sqrt{2\frac{e}{m}U_A} \qquad (1)$$

Следует заметить, что электрическое поле между анодом и катодом резко неоднородно. Густота силовых линий, а следовательно, и напряженность поля E, вблизи катода много больше чем в средней и прианодной области (рис.2а). Поскольку напряженность есть градиент потенциала, то есть равна изменению потенциала на единице расстояния вдоль силовой линии, анодное напряжение U_A распределено в пространстве между анодом и катодом неравномерно. Основная часть его падает на прикатодном участке силовых линий. Идеализируя, можно считать, что все анодное напряжение падает на очень малом участке вблизи катода, на котором и происходит разгон электронов, а дальше, т.е. практически на всем своем пути от анода к катоду, электроны движутся с практически постоянной по величине скоростью. Эта скорость и определяется по формуле (1).

Если по длинному соленоиду пропустить ток силой I_c, то внутри его создастся однородное магнитное поле с индукцией

$$B = \mu\mu_0 \frac{N}{l} I_c \qquad (2)$$

где μ -магнитная проницаемость среды (в данном случае μ =1); μ 0=4π 10-7 Гн/м – магнитная постоянная; N- число витков соленоида (N=2000); l - длина соленоида.

Как известно, на электрон, движущийся в магнитном поле действует сила Лоренца

$$F = e\left|\overline{V} \cdot \overline{B}\right| \qquad (3)$$

Так как в силу конструкции магнетрона в~~екторы~~ $\overline{V}$ и $\overline{B}$ ортогональные, то величина силы Лоренца будет равна

$$F = eVB, \qquad (4)$$

а ее направление F определяется из векторного произведения (3) или по правилу левой руки с учетом отрицательного знака заряда электрона (рис.2б). Из формулы Лоренца (3) следует, что магнитное поле в отличие от электрического действует только на движущуюся частицу: при V=0, F=0. Кроме того это действие не приводит к изменению величины скорости частицы. Действительно элементарная работа силы Лоренца dAΛ равна dAΛ=Fdr cosα , где α- угол между перемещением частицы dr и силы F. Из векторного произведения (3) следует, что F⊥V, следовательно F⊥dr (т.к. $\overline{V} = \left(\frac{\overline{d}r}{dt}\right)$) и cosα=0. Значит, работа силы Лоренца dAΛ равна нулю, т.е. в магнитном поле кинетическая энергия частицы $\frac{mV^2}{2}$ остается неизменной и ее скорость по величине постоянной (V=const) таким образом магнитное поле не ускоряет частицы (не изменяет величины их скорости), а только искривляет их траекторию. Сила Лоренца является силой центростремительной, и по второму закону Ньютона имеем

$$F = eVB = m\overline{V}^2 / r \qquad (5)$$

где r- радиус кривизны траектории частицы (электрона).

$$r = \frac{V}{\frac{e}{m} \cdot B} \qquad (6)$$

Из (5) для r получим

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000053E9AB9B952205E7B9A500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Как видно из формулы (6) в однородном ортогональном магнитном поле (B=const) траектория частицы- окружность (r=const). При этом учтено, что V=const, т.к. магнитное поле электроны не ускоряет, а геометрия электрического поля в данном магнетроне позволяет считать их скорости практически неизменными на большей части пути от анода к катоду, о чем писалось выше.

С ростом индукции магнитного поля B радиусы траектории электронов уменьшаются и при некотором значении B=Bкр (критическое) они станут равными половинными расстояния между анодом и катодом (рис. 2 в)

$$r = (R_A - R_k)/2 \qquad (7)$$

В этом случае электроны перестанут достигать анода и будут по окружности возвращаться к катоду. При этом анодный ток IA лампы, пропорциональный количеству электронов, достигающих анод в единицу времени, резко уменьшается теоретически до нуля (кривая (а) на рис.3). При дальнейшем увеличении индукции магнитного поля (B>Bкр) электроны будут круче заворачивать к катоду, а анодный ток останется равным нулю (рис.2). Наблюдение скачкообразного уменьшения анодного тока магнетрона в зависимости от величины магнитного поля лежит в основе используемого метода определения удельного заряда электрона. Расчетная формула для e/m легко получается из выражения для радиуса кривизны (6), если учесть его критическое значение (7) и выразить скорость электронов из формулы (1)

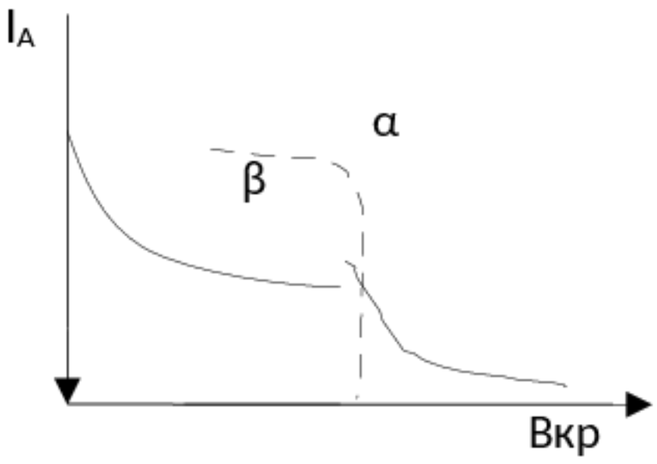


Рис. 3

$$\frac{R_A - R_K}{2} = \frac{V}{\frac{e}{m}B_{кр}} = \frac{\sqrt{2\frac{e}{m}U_A}}{\frac{e}{m}B_{кр}}$$

Откуда получим:

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_A}{B_{кр}^2 (R_A - R_K)^2}$$

Выражая $B_{кр}$ из формулы (2) окончательно найдем, что

$$\frac{e}{m} = K\frac{U_A}{I_{кр}^2}, \quad \text{где} \quad K = 2\left(\frac{2l}{\mu\mu_0 N(R_A - R_K)}\right)^2 \qquad (8)$$

Через $I_{кр}$ обозначено значение тока соленоида Ic соответствующее индукции $B=B_{кр}$. Коэффициент K зависит только от конструкционных данных магнетрона.

Таким образом, для определения удельного заряда электрона методом магнетрона, достаточно снять зависимость анодного тока лампы IA от тока в соленоиде Ic, так называемую сбросовую характеристику. Очевидно, форма графика этой зависимости должна быть аналогичной кривой IA= f(B), представленной на рис.3. Используя полученную кривую, на ней можно найти значение Iкр, а затем по формуле (8) вычислить e/m.

На рис.3 представлена идеализированная (а) и практическая(б) сбросовые характеристики. На последней, спадающий участок более размытый. Это объясняется как различного рода несовершенствами конструкции магнетрона. Сюда относятся не точная коаксиальность анода и катода, не строгая однородность магнитного поля внутри соленоида и др. Особо нужно отметить тепловой разброс начальных скоростей электронов, вылетающих с поверхности катода, приводящий к размытию кривой. В связи с этим затрудняется отсчет сбросового, т.е. критического значения намагничивающего

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952208B7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

тока Iкр. По-видимому, наиболее удовлетворяющему теории, следует считать то значение Iс, при котором наблюдается наибольшее изменение IA.

Схема экспериментальной установки

Рабочая схема показана на рис.4. Основу ее составляет электронная лампа Л, помещенная в соленоид С.

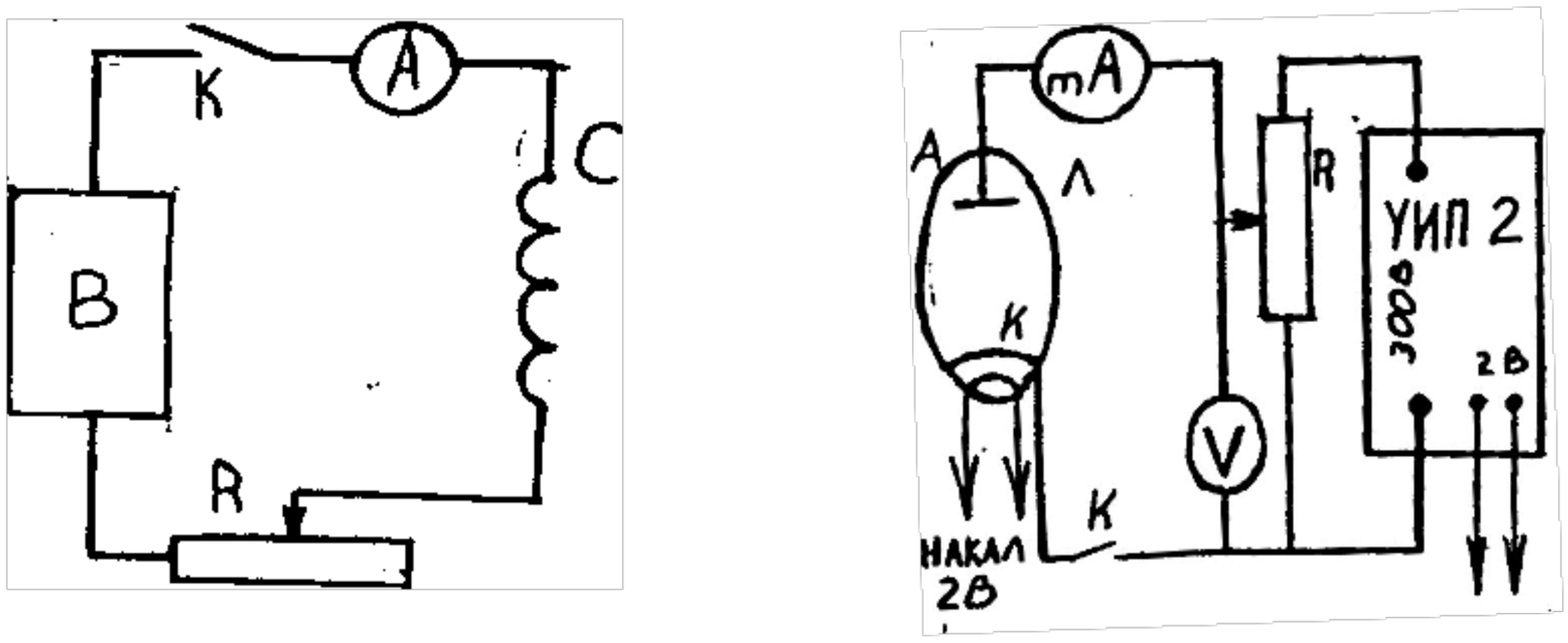


рис.4

Постоянное анодное напряжение UA снимается с универсального источника питания (УИП-2), регулируется потенциометром R, рукоятка которого располагается на панели УИП-2 и измеряется вольтметром V. Анодный ток измеряется миллиамперметром mA. На панели УИП имеются также клеммы, с которых снимается напряжение 2 В, предназначенная для питания накала нити катода.

Намагничивающийся соленоид С питается от выпрямителя В Б5-7. Ток соленоида регулируется ручками на панели выпрямителя и более плавно реостатом R.

Измеряется IС амперметром А.

Оборудование и материалы.

Магнетрон - электрическая лампа 2Ц2С (диод), расположенная внутри соленоида. Универсальный источник питания (УИП-2), выпрямитель Б5-7 с регулируемым напряжением, вольтметр, амперметр, миллиамперметр, реостат.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1.Собрать схему (рис.4). При этом регуляторы выходного анодного напряжения УИП-2 и выпрямителя Б5-7 установить на нулевое значение. Схему не включать до проверки ее преподавателем или лаборантом.

2. После включения схемы подождать 2-3 минуты, пока прогреется катод магнетрона.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

3. По заданию преподавателя установить величину анодного напряжения UA и записать ее в отчет по работе.

4. Поддерживая все время UA строго постоянным (особенно в критический момент) последовательно увеличивая намагничивающий ток соленоида Ic снять сбросовую характеристику IA=IA(Ic). Результаты измерения записать в таблицу.

I_c(A)				
I_A(mA)				

Интервалы изменения I_c и число измерений подобрать самостоятельно, более тщательно измеряя критический участок.

5.Построить график сбросовой характеристики магнетрона.

6.Определить по нему критическое значение $I_{кр}$ и записать его в отчет.

7.Записать в отчет конструктивные данные магнетрона:

число витков соленоида N=2000, радиус катода R_K = 0,1см и анода R_A=0,95см. Измерить и записать длину соленоида l.

8.Расчитать по формуле (8) величину коэффициента К и определить значение e/m для электрона.

9.Сравнить полученное значение e/m с табличным и выразить разницу в процентах.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1.Что называется удельным зарядом частиц?

2.Как действует электрическое поле на заряженную частицу?

3.Как действует магнитное поле на находящуюся в нем частицу?

4.Каково устройство используемого в работе магнетрона?

5.Как движутся электроны в магнетроне?

6.Расскажите о критическом режиме работы магнетрона?

7.Какие идеализации вводятся при рассмотрении движения электронов в магнетроне?

8.Вывести рабочую формулу (8).

Лабораторная работа № 14

Тема работы. **Изучение внешнего фотоэффекта**

Цель работы. 1.Познакомится с явлением фотоэффекта света в параллельных лучах дифракционной решетки.

2.Определить длину световой волны с помощью дифракционной решетки.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Приборы и принадлежности: установка с источником света, щелью и дифракционной решеткой.

Теоретическая часть.

1. Дифракция света.

Дифракцией света называется огибание световыми волнами встречных препятствий.

В более широком смысле дифракцией света называется совокупность явлений, обусловленных волновыми свойствами света и наблюдаемых при его распространении в среде с резко выраженными неоднородностями (отверстия в непрозрачных экранах, границы непрозрачных тел и т.д.). Явление дифракции указывает на нарушение законов геометрической оптики. Явление дифракции наблюдается на расстоянии ℓ от препятствия $\ell \approx D^2/4\lambda$,где D - линейные размеры препятствия, λ - длина волны (условие наблюдения дифракции).

Для решения дифракционных задач - отыскание распределения на экране интенсивности световой волны, распространяющейся в среде с препятствиями, - применяются приближенные методы, основанные на принципах Гюйгенса и Гюйгенса - Френеля.

Принцип Гюйгенса', каждая точка S1,S2,...,Sn фронта волны AB является источником новых, вторичных волн. Новое положение фронта волны A1 B1 через время Δt представляет собой огибающую поверхность вторичных волн (рис.1).

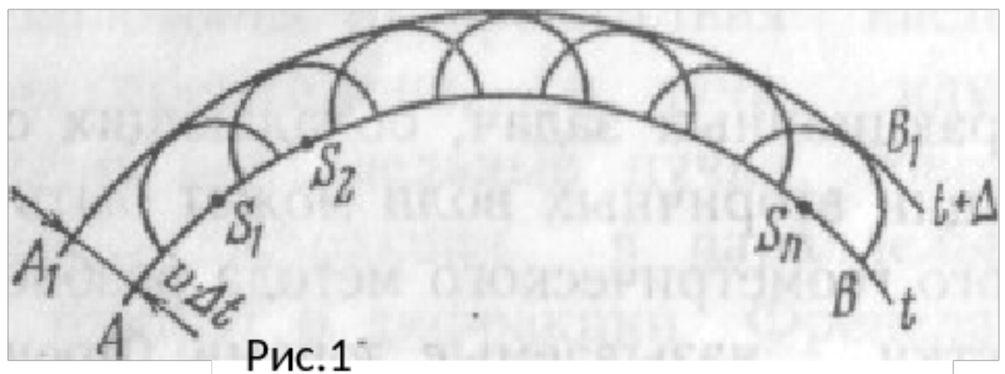


Рис.1

Принцип Гюйгенса является чисто геометрическим. Он позволяет, например, объяснить равенство углов падения i и отражения i' на поверхности MN среды при отражении света (рис.2). Разность хода CB лучей AA2 и BB2 создает такой фронт DB отраженной волны, что из прямоугольных треугольников ADB и ACB (AD=CB) следует равенство: i=i' (рис.2). Также можно объяснить закон преломления.

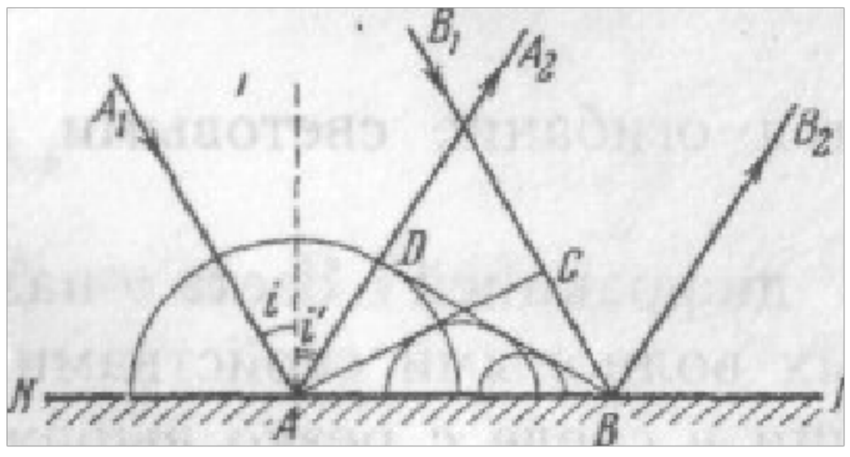


Рис.2

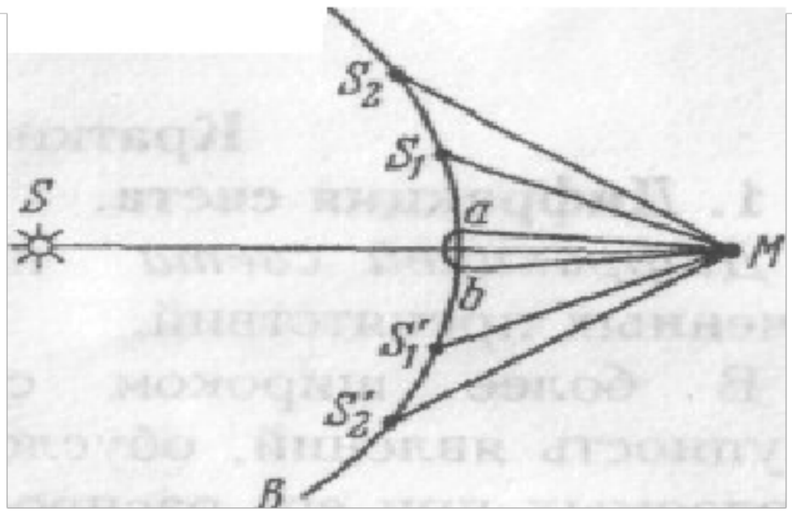


Рис.3

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Принцип Гюйгенса-Френеля: все вторичные источники S1, S2 …Sn, расположенные на поверхности фронта волн, когерентны между собой. Амплитуда и фаза волны в любой точке М пространства - это результат интерференции волн, излучаемых вторичными источниками (рис. 3).

Прямолинейное распространение луча SM, испущенного источником S в однородной среде, объясняется принципом Гюйгенса-Френеля. Все вторичные полны, излучаемые вторичными источниками, находящимися на поверхности фронта волны AB, гасятся в результате интерференции, кроме волн от источников, расположенных на малом участке сферического сегмента ab, перпендикулярного к SM (рис.3). Свет распространяется вдоль узкого конуса с очень малым основанием, т.е. практически прямолинейно.

В ряде дифракционных задач, обладающих осевой симметрией, расчет интерференции вторичных волн может быть сильно упрощен с помощью наглядного геометрического метода разбиения фронта волны на кольцевые участки, называемые зонами Френеля. Разбиение на зоны производится так, чтобы оптическая разность хода от сходственных границ (внутренних или внешних) каждой пары соседних зон до рассматриваемой точки М равнялась $\frac{\lambda}{2}$. Вторичные волны от сходственных точек двух соседних зон приходят в точку М в противоположных фазах и взаимно ослабляют друг друга при наложении.

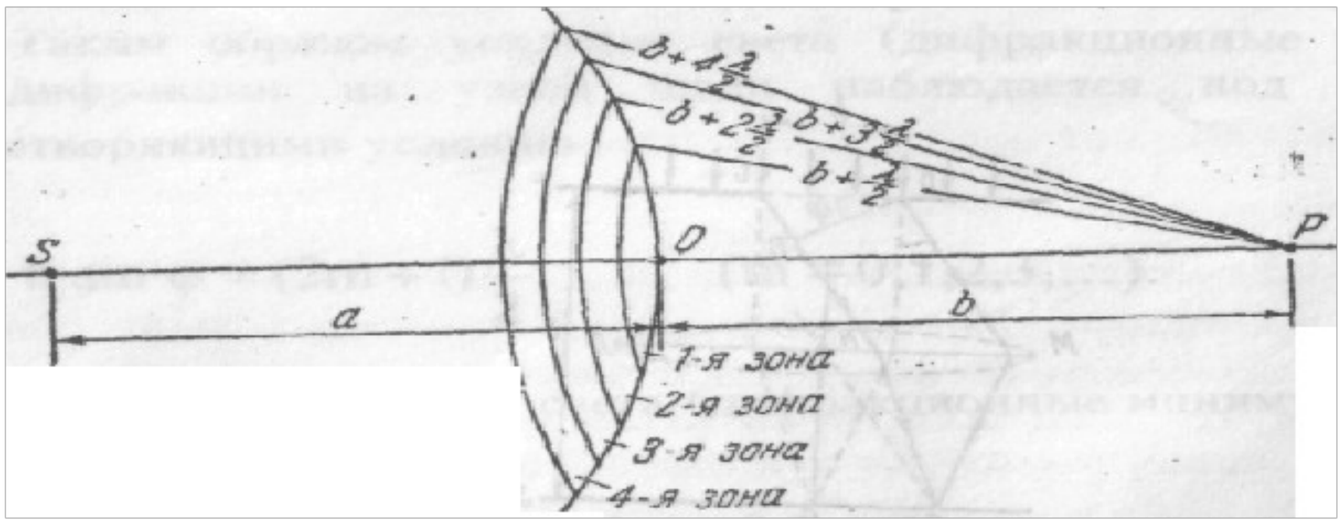


Рис. 4

На рис. 4 показано построение зон Френеля в случае сферической волны возбуждаемой источником S.

Так как a и b » λ, то при не слишком большом k площади первых k зон Френеля одинаковы:

$$S_1 = S_2 = \ldots S_k = \frac{\pi \cdot ab\lambda}{a+b}$$

В случае плоского волнового фронта

$$S_1 = S_2 = \ldots S_k = \pi \cdot b\lambda$$

Различают два случая дифракции. Если источник света и точка наблюдения P расположены от препятствия настолько далеко, что лучи, падающие на препятствие, и лучи, идущие в точку P образуют практически параллельные пучки, говорят о дифракции Фраунгофера или о дифракции в параллельных лучах. В противном случае говорят о дифракции Френеля, т.е. дифракцией Френеля называют такие дифракционные задачи, в которых нельзя пренебрегать кривизной волновых поверхностей падающей и дифрагировавшей волн.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

2. Дифракция света на щели. Дифракционная решетка.

Пусть на непрозрачный экран Е, в котором прорезана узкая щель ВС, имеющая постоянную ширину b=BC и длину L»b, падает перпендикулярно к экрану пучок параллельных лучей монохроматического света (рис 5).

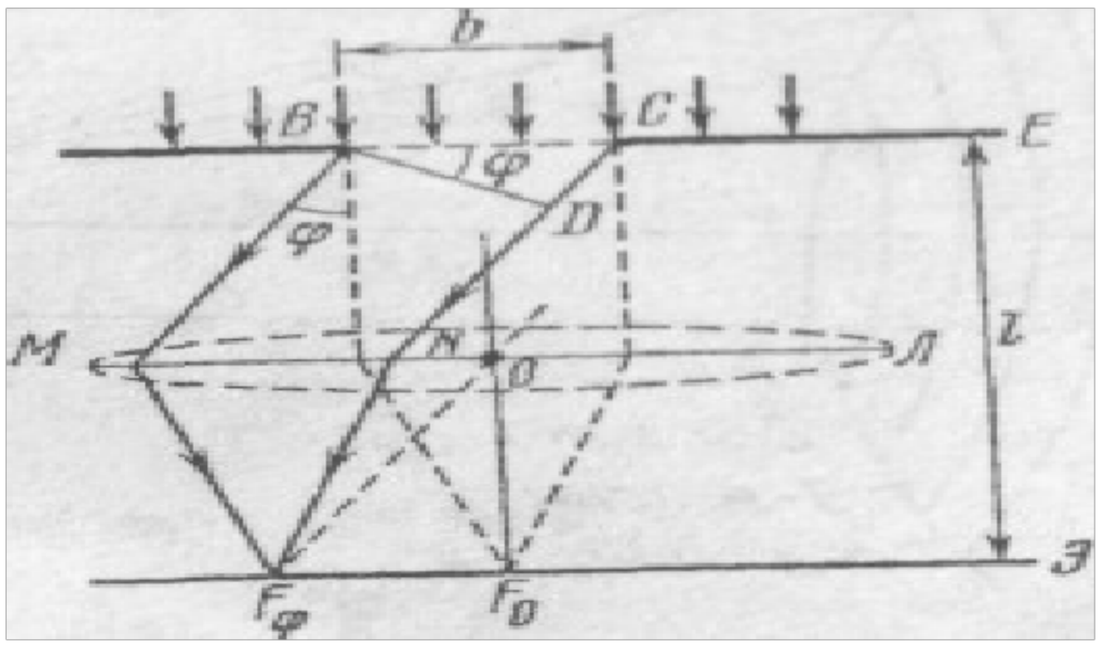


Рис. 5

На экране Э, удаленном от щели на расстоянии l, будет наблюдаться явление дифракции. Если бы этого явления не было, то на экране Э, установленном в фокальной плоскости собирающей линзы МЛ, в точке F0 главного фокуса линзы получилось бы изображение источника света. При дифракции на узкой щели на экране наблюдается интерференционная картина: последовательность размытых изображений источника света, разделенных темными промежутками. В точке Fφ на экране собираются все параллельные лучи, падающие на линзу под углом φ (угол дифракции) к оптической оси OF0 линзы, перпендикулярной к фронту волны.

Так как вторичные фиктивные источники фронта волн ВС точечные, то фронты волн, излучаемых ими сферические, а следовательно, дифрагированные лучи идут во всех направлениях. Выберем те, которые идут под углом φ к направлению падающих лучей. Падая на линзу эти лучи собираются в одной точке Fφ фокальной плоскости.

Мысленно разобьем щель на участки, крайние точки которых посылают лучи с разностью хода $\frac{\lambda}{2}$. В этом случае все лучи, посланные первым участком будут погашены лучами второго участка, лучи третьего - лучами четвертого и т.д. Следовательно, если число участков разбиения четное, т.е. если $\delta = 2m\frac{\lambda}{2}$, то в точке Fφ будет темно (минимум освещенности). Если же число участков разбиения нечетное, то точка Fφ будет освещена (максимум освещенности).

Таким образом, усиление света (дифракционные максимумы) при дифракции на узкой щели наблюдается под углами φ, удовлетворяющими условию

$$b\sin\varphi = (2m+1)\frac{\lambda}{2}, (m = 0,1,2,3....)$$

Условие ослабления света (дифракционные минимумы).

$$b\sin\varphi = 2m\frac{\lambda}{2}, (m = 0,2,....)$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Число m называется порядком дифракционного максимума или минимума. Величина $\delta = CD = b \sin\varphi$ представляет собой оптическую разность хода между крайними лучами CN и BM, идущими от щели под углом φ (рис.5). В направлении φ=0 наблюдается самый интенсивный центральный максимум нулевого порядка. В точке Fo всегда наблюдается усиление света, независимо от значения длины волны λ.

При наблюдении дифракции на щели в белом свете интерференционная картина на экране оказывается окрашенной. В дифракционном максимуме каждого порядка (m=const) ближе к центральному, неокрашенному максимуму оказываются дифракционные максимумы с меньшими длинами волн.

Дифракционной решеткой в оптике называется совокупность большого числа препятствий и отверстий, сосредоточенных в ограниченном пространстве, на которых происходит дифракция света.

Простейшей дифракционной решеткой является система из N одинаковых параллельных щелей в плоском непрозрачном экране ширимы b каждая, расположенных на равных непрозрачных промежутках a друг от друга (рис. 6).

Величина d=b+a называется постоянной дифракционной решетки.

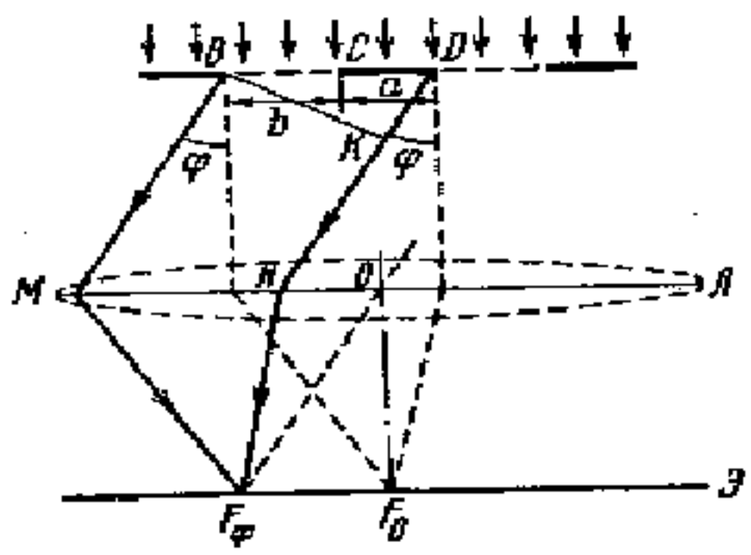


Рис.6

По принципу Гюйгенса-Френеля каждая щель является источником когерентных волн, способных интерферировать друг с другом. Если на дифракционную решетку перпендикулярно к ней падает пучок параллельных лучей света, то под углом дифракции φ на экране Э, расположенном в фокальной плоскости линзы, будет наблюдаться система дифракционных максимумов минимумов, полученная в результате интерференции света от различных щелей.

Пусть при падении плоской монохроматической волны на дифракционную решетку лучи, дифрагированные на одной щели дают в точке Fφ максимум освещенности. Это еще не значит, что в точке Fφ будет максимум освещенности, так как лучи посланные этой щелью могут быть погашены лучом от соседней, или наоборот усилены. Если усилены, то в точке Fφ будет большая освещенность, чем от одной щели. Тогда, учитывая условие усиления волн при интерференции, главные максимумы при дифракции на решетке наблюдаются под углами φ удовлетворяющими условию

$$d \sin\varphi = k\lambda,$$

где k= 0,1,2,3 называется порядком главного максимума. Величина $\delta = DK = d\sin\varphi$ является оптической разностью хода между сходственными лучами BM и DN, идущими от соседних щелей (рис.6).

Главные минимумы на дифракционной решетке наблюдаются под такими углами φ дифракции, для которых свет от разных частей каждой щели полностью гасится в на одной щели

$$b \sin\varphi = m\lambda, \quad (m= 0, 1,2,3,...).$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 3C0000043E9AB8B953205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Так как если ни одна из щелей не посылает лучей в этом направлении то в соответствующей точке на экране будет темнота.

При наблюдении дифракции в немонохроматическом свете все главные максимумы, кроме центрального нулевого максимума, окрашены. С увеличением длины волны главные максимумы внутри данного порядка располагаются под большими углами от центрального. Радужная полоска, содержащая семь цветов от фиолетового до красного (считается от центрального максимума), называется дифракционным спектром. Дифракционная решетка является одним из простейших достаточно точных устройств для измерения длин волн.

Теория метода и описание установки.

Рассмотрим один из методов определения длины светлой волны при помощи дифракционной решетки. На оптической скамье (или специальной рейке) укрепляется дифракционная решетка Р и перпендикулярно оси подвижная миллиметровая линейка АВ с щелью Щ. Деления линейки, щель и штрихи решетки располагают параллельно друг друга. Щель освещается источником S и рассматривается через решетку глазом (рис. 7). На линейке проецируются изображения главных максимумов и измеряется расстояние lk между максимумом 1-го порядка и максимумом нулевого порядка (т.е. от щели)

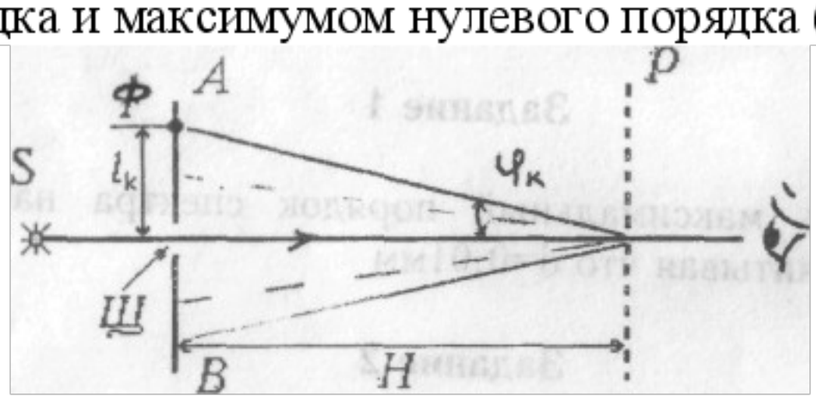


Рис. 7

Ход лучей после дифракционной решетки соответствует ходу лучей на рис. 6. От источника света S через широкую щель в линейке АВ проходит пучок белого света и попадает сначала на дифракционную решетку, а затем в глаз наблюдателя. Лучи, идущие параллельно главной оптической оси хрусталика дают в фокусе центральный (нулевой) максимум Fo освещенности белым светом.

Лучи, создающие в некоторой точке сетчатки Fφ максимум освещенности каким-либо цветом (например, фиолетовым) падают на хрусталик под углом φ. Следовательно, они видны как бы выходящими из точки Ф, положение которой определяется по шкале линейки АВ.

Таким образом роль линзы Л (см. рис. 6) выполняет хрусталик глаза, который фокусирует параллельные лучи, полученные в результате дифракции (например, лучи М и N) на сетчатой оболочке глаза (играющей роль экрана).

Условие максимума освещенности имеет вид.

$$d\sin\varphi = k\lambda \qquad (1)$$

Из рисунка видно, что

$$\sin\varphi = \frac{\ell}{\sqrt{H^2 + \ell^2}} \qquad (2)$$

Следовательно

$$\lambda = \frac{d\ell}{k\sqrt{H^2 + \ell^2}} \qquad (3)$$

Так, как H » l, то

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

$$\lambda = \frac{d\ell}{kH} \qquad (4)$$

Оборудование и материалы.

Установка с источником света, щелью и дифракционной решеткой.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

Определить максимальные порядок спектра наблюдаемого в данной работе, учитывая что d=0.01 мм.

1. Установить линейку АВ на заданном расстоянии Н от дифракционной решетки (Н > 300 мм). Включить источник света S и, глядя через дифракционную решетку не щель, провести наблюдение дифракционного спектра.

2. Определение положение *lk* для синей, зеленой и красной линии слева и справа для 1-го и 2-го порядков спектров.

Результаты занести в таблицу.

3.По формуле (4) вычислить длины волн указанных линий.

4. Указать и оценить основные погрешности данного метода измерения, а также погрешность, допускаемую при использовании формулы (4), а не (3)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ.

d=0,01 мм H= (мм)

Порядок спектра k	lk(мм)					
	Фиолетовый		Зеленый		Красный	
	левый	правый	левый	правый	левый	правый
I						
II						

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000643E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Что называется дифракционного света? Каковы условия наблюдения этого явления.
2. Сформулировать принцип Гюйгенса.
3. Сформулировать принцип Гюйгенса-Френеля.
4. Объяснить с использованием принципа Гюйгенса- Френеля закон прямолинейного распространения света.
5. Что такое «зоны Френеля». Как определяются площади первых к зон?
6. Что такое дифракционная решетка? Определить условия дифракции на решетке.
7. Вывести формулу (4).

Лабораторная работа № 15

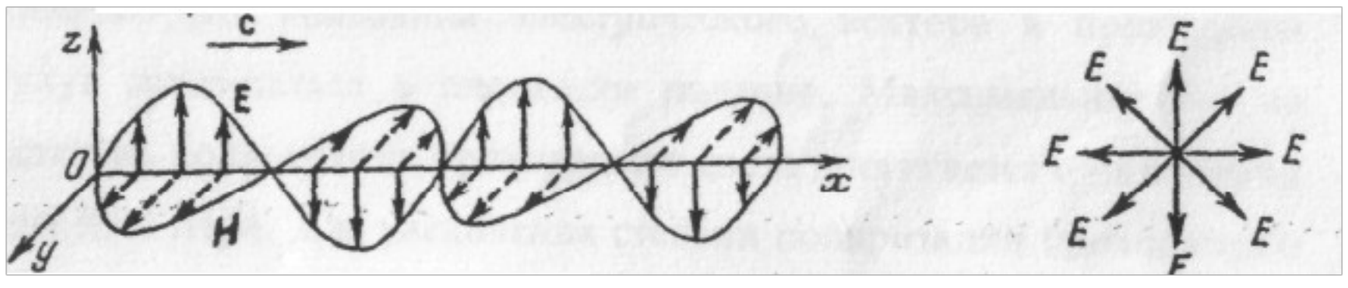
Тема работы. Изучение энергетического спектра электронов

Проверить выполнение переноса электронов.

Цель работы. Проверить выполнение переноса электров.

Теоретическая часть.

Как известно, плоская электромагнитная световая волна является поперечной и представляет распространение взаимно перпендикулярных колебаний: вектора напряженности электрического поля Е и вектора напряженности магнитного ноля Н (рис.1а). Как показывает опыт, физиологическое, фотохимическое, фотоэлектрическое и другие действия света вызываются в основном колебаниями электрического вектора. Вектор Е называется световым вектором, и все рассуждения мы ограничим рассмотрением этого вектора. Наличие вектора Н подразумевается.



а) б)

рис1.

Световой пучок, в котором различные направления вектора Е в поперечной к направлению распространения волны плоскости равновероятны, называется естественным (рис. 1 б)

Свет, в котором направления колебаний вектора упорядочены каким-либо образом и подчиняются некоторой закономерности, называется поляризованным. Если колебания вектора могут совершаться лишь в одном определенном направлении, то свет называется линейно или плоскополяризованным (рис. 2а).

Если же колебания вектора Е совершаются так, что его конец описывает круг или эллипс, то свет называется соответственно поляризованным по кругу (рис. 2б) или

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 3C0000043E9AB8B052205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

эллиптически поляризованным (рис.2в). При линейной поляризации плоскость, содержащая луч и вектор Е, называется плоскостью колебаний, или плоскостью поляризации волны.

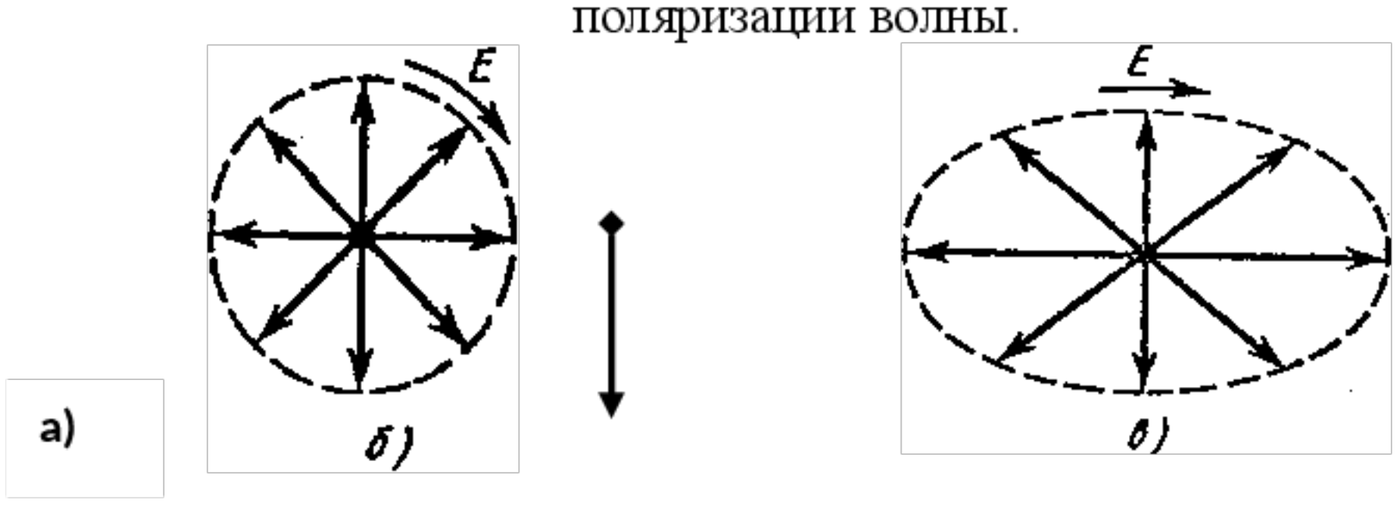


Рис 2.

Для получения линейно поляризованного света применяются специальные оптические приспособления- поляризаторы. Плоскость колебаний электрического 'вектора в волне, прошедшей через поляризатор, называется плоскостью поляризатора. Для получения плоскополяризованного света используют несколько способов.

а) Отражение света от поверхности диэлектриков.

Отраженный от диэлектрика свет всегда частично поляризован. На рисунке черные точки соответствуют колебаниям вектора Е перпендикулярным плоскости падения, а стрелочки - колебаниям в плоскости падения (Рис.3). Степень поляризации отраженного луча зависит от относительного показателя преломления n12 и от угла падения α. При падении луча Е на плоскость MN под углом Брюстера αБ отраженный луч $E_{\perp}$ полностью поляризован. Преломленный луч Е1 поляризован частично. Соотношение $tg\alpha_{Б} = n_{21}$ называется законом Брюстера. Плоскость колебаний электрического вектора в отраженном свете перпендикулярна плоскости падения.

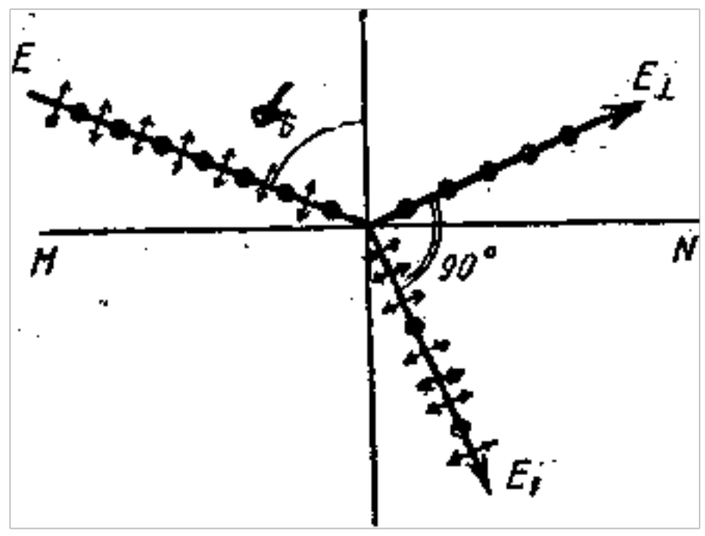


Рис.3

б) Преломление света в стопе стеклянных пластин (стопа Столетова).

Поскольку отраженный от диэлектрической пластинки свет частично (или даже полностью) поляризован, проходящий свет также частично поляризуется и становится смешанным светом. Преимущественные колебания электрического вектора в прошедшем свете будут совершаться в плоскости падения. Максимальная, но не полная степень поляризации проходящего света достигается при падении под углом Брюстера. Для увеличения степени поляризации проходящего света используют стопу стеклянных пластинок (стопу Столетова), расположенных под углом Брюстера к падающему свету. В этом случае можно получить практически полностью поляризованный проходящий свет, так как каждое отражение ослабляет пропущенные колебания, перпендикулярные плоскости падения в определенном отношении.

в) Преломление света в двоякопреломляющих кристаллах.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Некоторые кристаллы (исландский шпат, кварц, слюда и др.), а также некоторые изотропные вещества (под действием механических нагрузок или электрических полей) обладают свойством двойного лучепреломления. Преломляясь в таком кристалле, световой луч разделяется на два линейно поляризованных луча со взаимно перпендикулярными направлениями колебаний. Один из лучей называется обыкновенным и обозначается буквой о. а второй -необыкновенный и обозначается буквой е. Обыкновенный луч удовлетворяет обычному закону преломления и лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью. Для необыкновенного луча отношение синусов угла падения и угла преломления не остается постоянным при изменении угла падения.

Кроме того, необыкновенный луч, как правило, не лежит в плоскости падения и отклоняется от луча О даже при нормальном падении света. Отклоняя один из лучей в сторону, можно получить плоскополяризованный луч. Так устроена, например призма Николя (рис.4). Две естественные грани кристалла исландского шпата срезаются так, чтобы уменьшить угол между поверхностями до 68°.

Затем кристалл распиливается на две части по плоскости BD под углом 90° к новым граням. После полировки поверхности распила склеиваются канадским бальзамом, имеющим показатель преломления n, удовлетворяющий условию $n_e<n<n_0$, где n_0 и n_e - показатели преломления исландского шпата для обыкновенного и необыкновенного луча.

Падая под углом, больше предельного, на плоскость BD, обыкновенный луч претерпевает полное внутреннее отражение на границе шпат - бальзам. Необыкновенный луч, для которого, выходит из призмы линейно поляризованным.

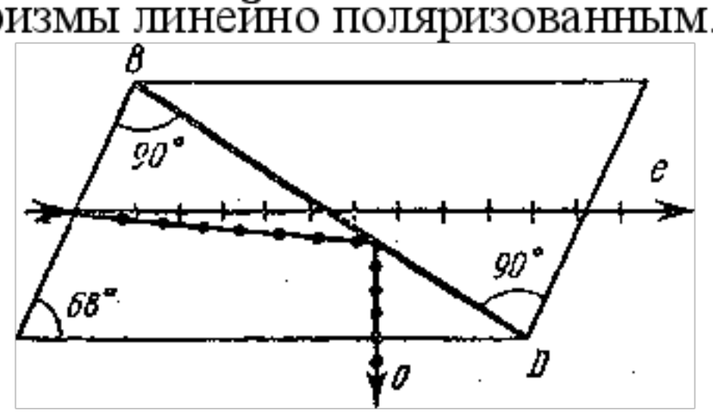


Рис.4

г) Поглощение света в дихроических пластинках.

У некоторых двоякопреломляющих кристаллов (например. турмалина) коэффициенты поглощения света для двух взаимно перпендикулярных поляризованных лучей отличаются настолько сильно, что уже при небольшой толщине кристалла один из лучей гасится практически полностью и из кристалла выходит линейно поляризированный пучок света. Это явление называется дихроизмом. В настоящее время дихроические пластинки изготовляют в виде тонких пленок - поляроидов, имеющих широкое применение. В большинстве случаев они состоят из множества маленьких (толщиной до 0,3 мм) параллельно ориентированных кристаллов сернокислого йодистого хинина-герапатита, находящихся внутри связующей среды - прозрачной пленки.

Для исследования характера и степени поляризации света применяют устройства, называемые анализаторами. В качестве анализаторов используют тоже устройства, которые служат для получения линейно-поляризированного света (поляризаторы).

Пусть на поляризатор падает плоскополяризованный свет амплитуды A_0 и интенсивностью Io (Рис. 5). Сквозь поляризатор пройдет составляющая колебания с амплитудой $A = A_0\cos\alpha$, где α - угол между плоскостью колебаний падающего света и плоскостью поляризатора. А так как интенсивность света пропорциональна квадрату его амплитуды, то интенсивность прошедшего света определяется выражением $I=I_0\cos\alpha$.

Это соотношение носит название закона Малюса.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043204B4E2E4B3A000800000432
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

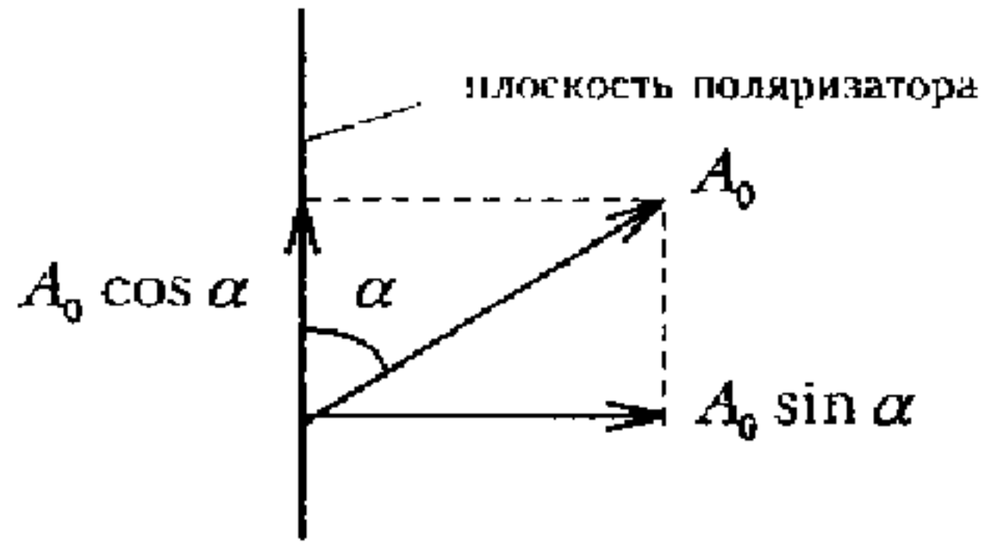


Рис. 5

Поставим на пути естественного луча поляризатор P и анализатор A (рис.6). Из поляризатора выйдет плоскополяризованный свет, интенсивность которого составит половину интенсивности естественного света, т.е. $I_1 = I_0 /2$. Согласно закону Малюса из анализатора выйдет свет интенсивностью: $I_2 = I_1 \cos 2\alpha$ (где а угол между плоскостями поляризатора и анализатора). Таким образом, интенсивность света, прошедшего через поляризатор и анализатор равна $I2 = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha$.

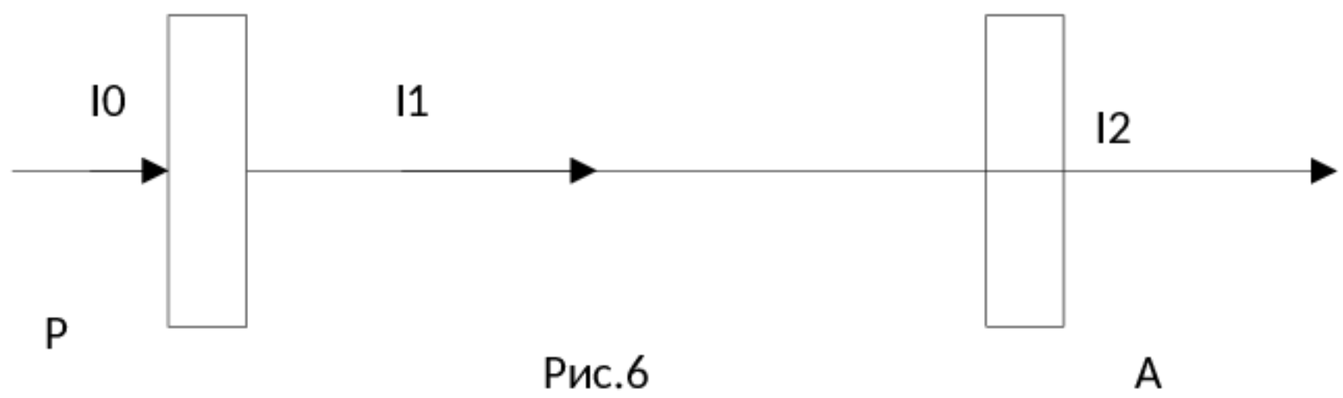


Рис.6

Описание установки.

В настоящей работе для получения и исследования линейного поляризованного света применяют поляроиды. Они изготавливаются из очень мелких кристаллов турмалина или герапатита, нанесенных на целлулоидную пленку. Оптические оси кристаллов специальным образом ориентируют в одном направлении. Кристаллы турмалина пропускают свет только с определенной ориентацией светового вектора и почти полностью поглощают все перпендикулярные составляющие светового вектора к направлению оси кристалла. Схема установки приведена на Рис 7.

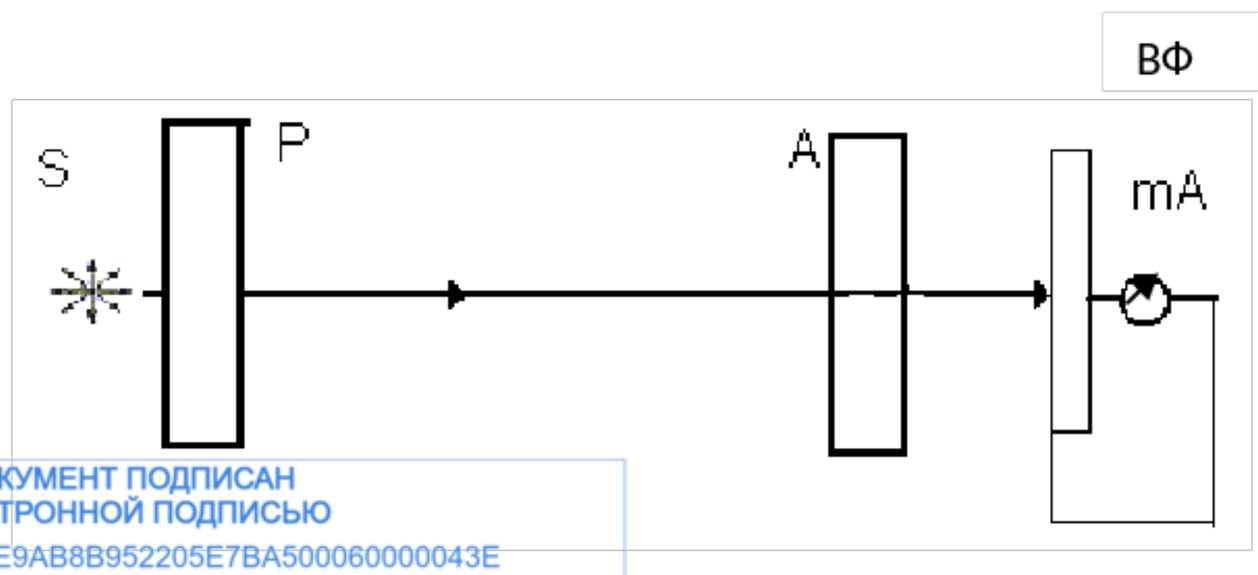


Рис. 7

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Свет от источника света S проходит через неподвижный поляризатор P. Анализатор A закреплен во вращающемся диске. Угол поворота анализатора измеряется по шкале диска, разделенной на 360 делений. Пройдя поляризатор и анализатор, свет падает на вентильный фотоэлемент ВФ (солнечный элемент). При не очень больших освещенностях сила фототока пропорциональна световому потоку. Величина фототока измеряется микроамперметром. Между поляризатором и анализатором имеется камера, в которую можно помещать образцы для наблюдения явления фотоупругости и интерференции поляризованных лучей.

Оборудование и материалы.

1. Установка для проверки закона Малюса. 2. Источник света. 3. Микроамперметр.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1.Включить источник света.

2.Вращая анализатор, добиться максимального отброса стрелки микроамперметра (А может быть следует добиваться минимального? Почему? Чему равен угол в этом случае?).

3.Записывают показания микроамперметра и в дальнейшем, поворачивая анализатор, через 10 градусов записывают соответствующие значение тока.

4.Каким образом по полученным данным можно убедиться в правильности закона Малюса? Какие графики из ниже перечисленных следует построить для проверки закона? (выбор аргументировать)

I=f(φ),I2=f(φ), $\frac{I}{I_0}=f(\varphi)$, $\frac{I}{I_0}=f(\cos\varphi)$, $\frac{I}{I_0}=f(\cos^2\varphi)$

5. Построить график зависимости.

6. Сделать вывод.

Результаты измерений.

α	I	cosα	cos2α

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Контрольные вопросы.

1. Что представляет из себя световая волна?
2. Какие действия оказывает свет? Благодаря чему это возможно?
3. Что такое поляризация? Какой свет называют естественным? Поляризованным?
4. Опишите виды поляризации.
5. Перечислите способы получения поляризованного света.
6. Сформулируйте закон Малюса.
7. Какие данные в работе позволяют убедится в справедливости закон Малюса ? (ответ сформулируйте).

Лабораторная работа № 16

Тема работы. **Изучение космического излучения**

Цель работы. Определение скорости перемещения.

Теоретическая часть.

Различают три вида фотоэффекта:

- *Внешним фотоэффектом* называется вырывание электронов из вещества под действием электромагнитного излучения. Внешний фотоэффект наблюдается преимущественно в проводниках.
- При *внутреннем фотоэффекте* электроны под действием света теряют связь со своими атомами и молекулами, но остаются внутри вещества. Такой вид фотоэффекта возможен только в полупроводниках.
- *Вентильный фотоэффект* заключается в возникновении фото-э.д.с. при освещении контакта двух разных полупроводников или полупроводника и металла без наличия внешнего электрического поля.

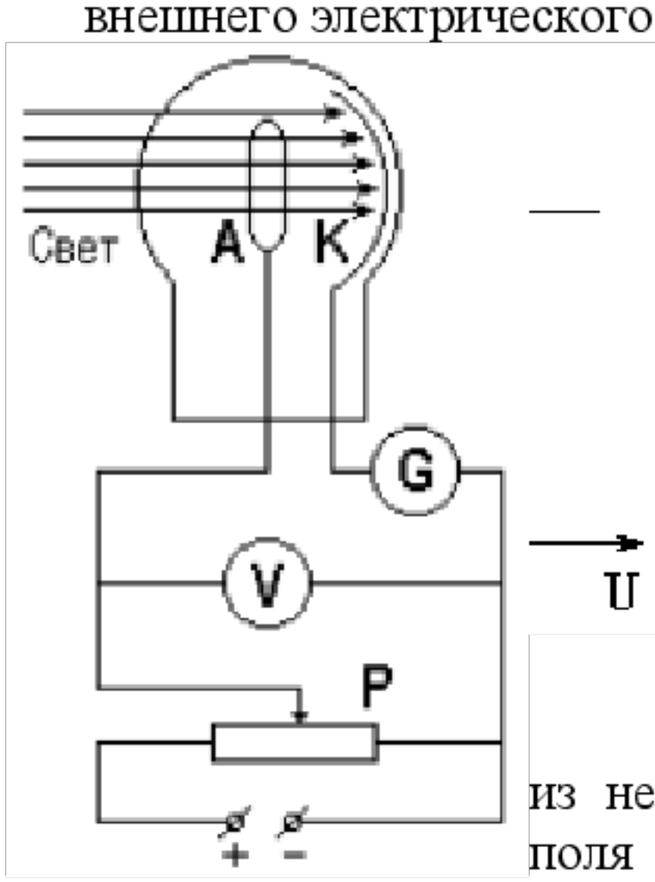


Рис. 1

В данной работе для изучения закономерностей *внешнего фотоэффекта* используют вакуумный фото-элемент. Он представляет собой стеклянный откачанный сферический баллон, в центре которого расположен анод **A** в виде кольца или пластинки (рис.1). Часть внутренней поверхности баллона покрыта тонким слоем металла, который служит *фотокатодом*. На рис.1. изображена принципиальная схема, с помощью которой исследуется внешний фотоэффект. Между **анодом** и **катодом** источник тока создает электрическое поле. Так как электрическая цепь разомкнута, то при отсутствии света электрический ток через фотоэлемент не идет. При освещении катода свет вырывает из него электроны, которые под действием сил электрического поля движутся к аноду. В цепи появляется электрический ток, называемый *фототоком*. Сила фототока измеряется гальванометром **G**, напряжение между анодом **A** и фотокатодом **K** — вольтметром **V**. Изменяя напряжение с помощью потенциометра **P**, находят зависимость силы фототока от напряжения — вольтамперную характеристику.

На рис. 2 изображена вольтамперная характеристика вакуумного фотоэлемента. При **U = 0** (между катодом и анодом электрического поля нет) сила фототока все равно не равна нулю. Это обусловлено тем, что электроны, вырванные светом из катода, имеют некоторую начальную скорость **V** (а значит, и кинетическую энергию) и часть из них может достигать анода и при отсутствии электрического поля.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: [illegible]
Владелец: Шебаухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Если увеличивать напряжение между катодом и анодом (подавая отрицательный потенциал на катод, а на анод — положительный), будет увеличиваться сила тока. Это объясняется тем, что теперь электроны, которые при $U = 0$ не достигали анода, под действием сил электрического поля притягиваются к аноду.

Из графика видно, что при некотором значении $U = U_н$ сила фототока достигает наибольшего значения, получившего название тока насыщения $I_н$. Дальнейшее увеличение напряжения уже не вызывает роста силы тока. Это значит, что все электроны, вырванные светом из катода, достигают анода. Если *за единицу времени* свет вырывает из фотокатода n электронов, то ток насыщения будет равен

$$I_н = e \cdot n, \qquad (1)$$

где e — заряд электрона.

Если поменять полярность электронов, то есть подать на **катод** положительный потенциал, а на **анод —** отрицательный, то электрическое поле будет тормозить движение электронов от катода к аноду. За счет работы сил электрического поля ($A_E = eU$) кинетическая энергия движущихся электронов будет уменьшаться. Если первоначальная кинетическая энергия электрона $W_к$ будет больше работы электрического поля ($W_к > A_E$), электроны будут достигать анода, в цепи будет идти ток. При $W_к \leq eU$ электроны анода не достигнут и ток прекратится. Наименьшее напряжение, при котором прекращается фототок, называется задерживающим.

При $U = U_з$ даже самые быстрые электроны, имеющие максимальную скорость, не достигают анода. В этих условиях

$$eU_з = \frac{mv_{max}^2}{2}. \qquad (2)$$

Таким образом, измеряя на опыте $U_з$, можно вычислить максимальную кинетическую энергию электронов, вылетающих из катода.

Оборудование и материалы.

При изучении закономерностей фотоэффекта в работе используется вакуумный фотоэлемент, принципиальная схема включения которого в электрическую цепь приведена на рис. 4.

1. Фотоэлемент **Ф**, светофильтр **СФ** и источник света (спектральная ртутная лампа) **Л** помещены в закрытый контейнер. Свет от лампы, проходя через светофильтр **СФ**, становится монохроматическим и, падая на катод фотоэлемента, вызывает фотоэффект. Микроамперметр **μA** измеряет силу фототока, а вольтметр **V** — напряжение на фотоэлементе.
2. Установка состоит из объекта исследования и устройства измерительного, выполненных в виде конструктивно законченных изделий, устанавливаемых на лабораторном столе и соединяемых между собой кабелем.
3. Объект исследования конструктивно выполнен в виде сборного корпуса, в котором установлены осветитель (спектральная ртутная лампа) с источником питания, блок интерференционных светофильтров №1 (λ=407 мкм), №2 (λ=435 мкм), №3 (λ=546 мкм), №4 (λ=578 мкм) и устройство регулировки освещенности. Положение "0" блока светофильтров соответствует прохождению света без светофильтров и может применяться для снятия интегральных вольтамперных и люксамперных характеристик, а положение "5" - перекрывает лампу и используется для установки ноля. К корпусу с помощью кронштейна прикреплен усилитель фототока, на верхнюю крышку которого устанавливаются сменные фотоприемники с фотоэлементами Ф-8 и Ф-13. При установке фотоприемников их приемное окно совмещается с выходным окном осветителя и

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: [illegible]
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

закрывают при помощи бленды.

На передней панели объекта исследования находятся сетевой выключатель с индикатором включения сети. На задней панели объекта исследования расположены клемма заземления, держатели предохранителей и сетевой шнур с вилкой. На боковой стенке расположено выходное окно осветителя и устройства для смены интерференционных светофильтров и регулировки освещенности. На боковых поверхностях усилителя фототока расположены соединительный шнур с разъемом для подключения объекта исследования к устройству измерительному и регуляторы баланса усилителя ГРУБО и ТОЧНО.

Объект исследования с помощью сетевого шнура подключается к сети 220 В, 50 Гц.

4. Устройство измерительное выполнено в виде конструктивно законченного изделия. В нем применена однокристальная микро - ЭВМ с соответствующими дополнительными устройствами, позволяющими производить измерение тока фотоэлемента, установленного в объекте исследования, устанавливать и измерять питающие напряжения на фотоэлементе, а также осуществлять функции управления установкой (установка режимов прямого или обратного измерения и т.п.). В состав устройства измерительного входят также источники его питания.

На передней панели устройства измерительного размещены следующие органы управления и индикации: кнопка ПРЯМАЯ - ОБРАТНАЯ с соответствующими индикаторами - предназначена для включения прямого или обратного режимов измерения; кнопки "+", "-" и СБРОС - предназначены для регулировки напряжения на фотоэлементе и его сброса в ноль; индикаторы В и мкА - предназначены для индикации значений величин напряжения на фотоэлементе и фототока в процессе работы. На задней панели устройства измерительного расположены выключатель СЕТЬ, клемма заземления, держатели предохранителей (закрыты предохранительной скобой), сетевой шнур с вилкой и разъем для подключения объекта исследования .

Устройство измерительное с помощью сетевого шнура подключается к сети 220 В, 50 Гц.

5. Принцип действия установки основан на измерении тока через фотоэлемент при изменении полярности и величины приложенного к нему напряжения и изменения спектрального состава и величины освещенности катода фотоэлемента.

6. В процессе выполнения лабораторных работ снимаются зависимости тока через фотоэлемент от приложенного к нему напряжения. При этом меняется полярность напряжения (т.е. раздельно снимаются прямая и обратная ветви вольтамперной характеристики фотоэлемента). Характеристики снимаются при различных значениях освещенности и при изменении длины волны освещения фотоэлемента. По результатам измерений строятся семейства вольтамперных характеристик и, используя соответствующие методы расчета, численно оценивается значение постоянной Планка.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C[illegible]B8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Задания.

Построение вольтамперной характеристики фотоэлемента.

1. Установите на объект исследования фотоприемник с исследуемым фотоэлементом и

задвиньте бленду осветителя в окно фотоэлемента.

2. Подключите сетевые шнуры устройства измерительного и объекта исследования к сети и включите устройство измерительное выключателем СЕТЬ на его задней панели. При этом должен загореться индикаторы ОБРАТНАЯ, В и мкА устройства измерительного. На индикаторе В должны установиться нули (допускается индикация до значения 2 младшего разряда). После 5 минутного прогрева ручками УСТАНОВКА НУЛЯ на объекте исследования установить нулевое значение на индикаторе мкА устройства измерительного.

3. Включите объект исследования выключателем СЕТЬ на его передней панели. При этом должен загореться индикатор СЕТЬ объекта исследования.

4. Дать лампе осветителя прогреться в течение 15 мин.

5. С помощью кнопки ПРЯМАЯ - ОБРАТНАЯ выбрать необходимый режим измерения.

6. Установить светофильтр №1 поворотом диска блока **СФ**.

7. Изменяя значения напряжения через 0,5 В с помощью кнопок "+" и "-" и считывая показания фототока с индикатора "мкА" получите данные для построения вольтамперной характеристики.

8. Устанавливая диск со светофильтрами в положение "5" и проверяя установку нуля тока при нулевом значении напряжения, повторите действия по пп. 5...7 настоящего раздела для других светофильтров (СФ2-СФ4).

Примечание 1: При необходимости с помощью поворота кольца, расположенного на выходном окне объекта исследования можно изменять освещенность фотоэлемента.

Примечание 2: При определении запирающего напряжения фотоэлемента необходимо нулевое значение тока считывать при уменьшении напряжения от нулевого значения до значения запирающего напряжения, а не наоборот. Не рекомендуется также устанавливать значение напряжения ниже запирающего.

9. По окончании работы необходимо отключить питание установки выключателями СЕТЬ (на задней панели устройства измерительного и передней панели объекта исследования) и отключить сетевые вилки устройства измерительного и объекта исследования от питающей сети.

10. Режим работы установки прерывистый - через каждые 45 минут работы перерыв на 15-20 мин.

СФ №1	*U, В*																	
	I, мкА																	
СФ №2	*U, В*																	
	I, мкА																	
СФ №3	*U, В*																	
	I, мкА																	
СФ №4	*U, В*																	
	I, мкА																	

По данным таблицы 1 построить вольтамперную характеристику, то есть график зависимости силы фототока ***I*** (абсцисса) от напряжения на фотоэлементе ***U*** (ордината).

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Таблица 1

Определение работы выхода электрона, красной границы фотоэффекта и постоянной Планка

1. С помощью кнопки ПРЯМАЯ - ОБРАТНАЯ выбрать режим измерения ОБРАТНАЯ (не делаем установку нуля как в первой части работы!).
2. Изменяя значения напряжения с помощью кнопок "+" и "-" установить показания индикатора фототока "мкА" равным 0. Занести полученное значение задерживающего напряжения $U_З$ в таблицу 2.
3. Повторить пункты 1 и 2 для других светофильтров.
4. По полученным экспериментальным значениям $U_З$ рассчитать:
   a) кинетическую энергию фотоэлектронов: $W_К = e \cdot U_З$
   b) работу выхода электронов:

$$A_{ВЫХ} = \frac{h \cdot c}{\lambda} - e \cdot U_З$$

$$\lambda_{max} = \frac{h \cdot c}{A_{ВЫХ}}$$

   c) красную границу фотоэффекта:

Таблица 2

№ п/п	λ, мкм	$U_З$, В	$W_К$ 10^{-19}Дж	$A_{вых}$, 10^{-19}Дж	λ_{max}, мкм

5. По полученным данным построить график зависимости $U_З$ от **ν**, где $\nu = \frac{c}{\lambda}$.
6. Используя полученный график, вычислить по формуле $tg\,\alpha = \frac{\Delta U_З}{\Delta \nu} = \frac{h}{e}$ и оценить погрешность измерений.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:
- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Что называется фотоэффектом? Какие бывают виды фотоэффекта?
2. В чем заключаются законы фотоэффекта?
3. Как связаны длина волны и частота фотона?
4. Какая именно особенность фотоэффекта не может быть объяснена с точки зрения волновой теории света?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C8900943F9AB8B95320F7BA50006009043F
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

5. Запишите и объясните уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
6. Что называется красной границей фотоэффекта и от чего она зависит?
7. От чего зависит максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов?
8. Нарисуйте и объясните вольтамперную характеристику фотоэффекта.
9. На чем основан способ определения красной границы фотоэффекта в данной работе?

Лабораторная работа № 17

Тема работы. **Проверка закона Малюса**

Цель работы. Определение длины пробега элементарных частиц в воздухе при атмосферном давлении и определение максимальной энергии бета-частиц при помощи метода поглощения.

Теоретическая часть.

Явление радиоактивности было обнаружено Беккерелем (1890 г.). Он заметил, что некоторые вещества, содержащие уран, обладают замечательной особенностью самопроизвольно, без всякого внешнего воздействия, излучать лучи, способные проходить сквозь непрозрачные для видимого света вещества.

Радиоактивное излучение бывает трех видов: α -лучи, β -лучи и γ -лучи.

α -лучи представляют поток ядер гелиевых атомов, или, иными словами, поток гелиевых ионов с зарядом $+2e$.

Тождественность α -лучей с потоком гелиевых ядер была установлена с помощью следующего опыта, произведенного Содди.

Сосуд А (рис. 1) с помощью тонкой стеклянной перегородки G разделялся на две части В и С. В части В Помещалось радиоактивное вещество F, излучающее α -лучи. Перегородка G подбиралась такой толщины, чтобы α -лучи могли проходить сквозь нее. Другая часть этого сосуда С соединялась через кран К с вакуумным насосом, и в этой частя создавалось достаточно сильное разрежение.

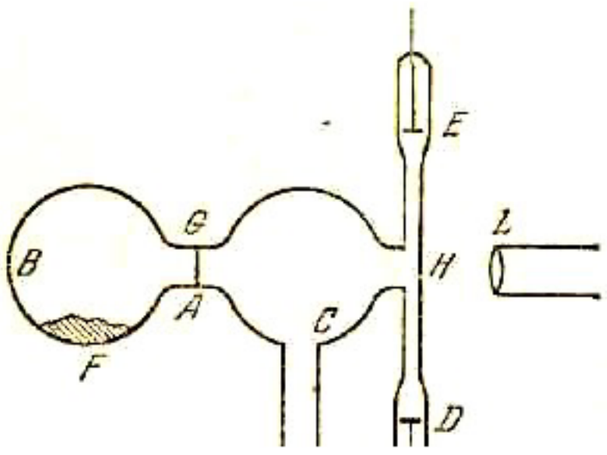


Рис.1 Опыт Содди

В трубке Н, соединенной с сосудом С, помещались два электрода D, E, с помощью которых можно было вызвать разряд в трубке Н. Вакуум в сосуде С создавался столь высокий, что при приложении к D и E разности потенциалов в несколько сотен вольт электрический разряд не возникал. После откачки сосуд А отсоединялся от насоса. Спустя несколько дней, однако, после приложения разности потенциалов между D и E возникал электрический разряд, интенсивность которого с течением времени возрастала.

Свет, исходящий при разряде из трубки Н, был проанализирован с помощью спектрографа. Оказалось, что спектр этого излучения в точности совпадает со спектром излучения, возникающим при электрическом разряде в газообразном гелии.

В трубке Н гелия не было, но сюда из В проникали α -частицы, излучаемые радиоактивным препаратом. Поскольку в результате такого проникновения в трубке С появились атомы гелия, то, следовательно, α -частицы и являются гелием, правда, не атомами, а ядрами гелия. Ядра гелия (α -частицы) захватывают из окружающей среды 2 электрона и превращаются в «нормальные» атомы гелия. Итак, α -частицы являются ядрами атомов гелия.

Характерной величиной их является энергия. Энергия α -частиц велика — порядка нескольких миллионов электронвольт. Различные радиоактивные вещества излучают α

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: [illegible]
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

-частицы различной энергии, но все α -частицы, излученные данным радиоактивным веществом, имеют вполне определенную энергию.

β -лучи являются потоком отрицательно заряженных частиц. Знак - (минус) при букве β подчеркивает, что эти частицы несут отрицательный заряд. Отношение $\frac{e}{m}$ для них оказалось в точности таким же, как и для электронов. β -лучи являются в действительности потоком электронов. Отличие β -лучей от обычных катодных лучей не качественное, а количественное. Энергия электронов

β -лучей значительно превосходит энергию катодных лучей и имеет величину порядка миллиона электронвольт.

γ -лучи, не отклоняемые ни магнитным, ни электрическим полем, не несут электрического заряда. По своей природе γ -лучи аналогичны рентгеновым лучам, но отличаются от них большей величиной квантов.

Как уже указывалось, радиоактивное излучение производит сильное ионизирующее и фотохимическое действие и по этому действию может быть регистрируемо. Так как отдельные частицы, входящие в состав радиоактивного излучения (α -частицы, β -частицы, γ -кванты), обладают большой энергией, порядка миллиона электронвольт, то представляется возможность наблюдать и регистрировать не только радиоактивное излучение в целом, но и отдельные частицы, входящие в состав этого излучения.

Наиболее часто для регистрации и наблюдения отдельных быстрых частиц применяют три метода:

а) Камера Вильсона. В главе VI был указан принцип действия камеры Вильсона и показаны фотографии путей α -частиц. Камера Вильсона пригодна и для наблюдения путей β -частиц. Значительное усовершенствование в метод камеры Вильсона было внесено Д. В. Скобельцыным.

Скобельцын поместил камеру Вильсона в магнитное поле. Магнитное поле искривляет траекторию β -частиц. В случае, когда β -частица движется перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного ноля, ее траекторией является окружность радиуса $R=\frac{mcu}{eH}$

где u - скорость частицы, H - напряженность магнитного поля, e - заряд электрона, c - скорость света. В камере Вильсона, помещенной в магнитном поле, треки электронов представляют части окружностей. По величине радиуса этой окружности можно определить скорость электрона.

б) Счетчик Гейгера-Мюллера. Существуют два варианта счетчиков: счетчик с острием (счетчик Гейгера) и счетчик с нитью (счетчик Гейгера-Мюллера).

Счетчик с нитью (рис.2) представляет цилиндр С, по оси которого натянута нить АВ - тонкая металлическая проволока. Нить в электрическом отношении изолируется от корпуса счетчика С. Счетчик наполняют газом при небольшом давлении.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9A38B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

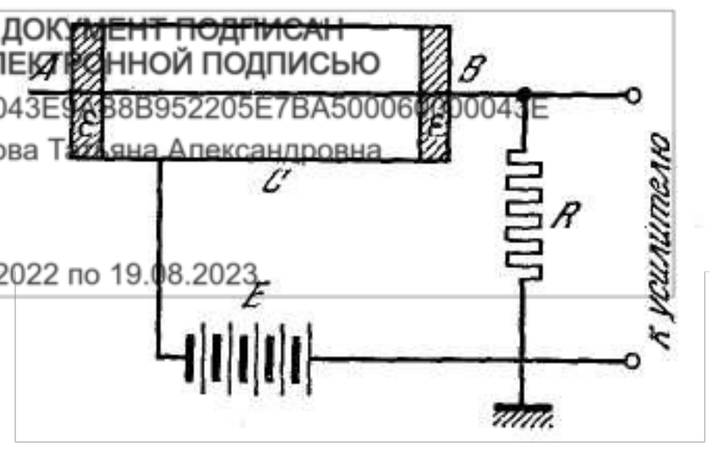


Рис.2 Схема устройства счетчика Гейгера-Мюллера

Между нитью и цилиндрическим корпусом счетчика с помощью батареи Е или специального выпрямительного устройства создают электрическое поле

Такого напряжения, при котором в счетчике может развиваться коронный разряд. Коронный разряд начнет развиваться, если в пространстве между нитью и корпусом окажутся заряженные частицы. Поэтому коронный разряд возникает в счетчике всякий раз, когда в него проникнет ионизирующая частица-электрон или α -частица. Такая частица, двигаясь внутри счетчика, производит ионизацию газа, вследствие чего и возникает коронный разряд. Последовательно с нитью счетчика подключается сопротивление R, величину которого подбирают так, чтобы при развитии коронного разряда на этом сопротивлении возникало достаточное падение потенциала. Если это падение потенциала окажется достаточным (около сотни вольт), то возникший в счетчике коронный разряд прервется.

По возникшему в счетчике Гейгера импульсу тока и судят о том, что через счетчик прошла ионизирующая частица. Наша промышленность выпускает так называемые установки типа «Б», содержащие аппаратуру, необходимую для питания счетчиков, усилитель, с помощью которого импульс тока в счетчике усиливается до такой величины, что приводит в действие реле нумератора, предназначенного для отсчета числа возникших в счетчике Гейгера импульсов. Для того чтобы счетчик Гейгера «сработал», ионизирующая частица должна проникнуть внутрь его - пройти через стенки. Если излучение поглощается стенками счетчика, то применяют для регистрации таких частиц либо очень тонкие стенки, либо специальные тонкие окошки.

В торцевых счетчиках нить заменяется иглой А. В передней стенке счетчика делается отверстие В, закрываемое фольгой нужной толщины (рис. 3).

Счетчики Гейгера применяются и для счета γ -квантов, γ -кванты вызывают в стенках счетчика фотоэлектрический эффект или комптон-эффект. Вырванные из стенок счетчика фото- и комптон-электроны и возбуждают разряд в счетчике.

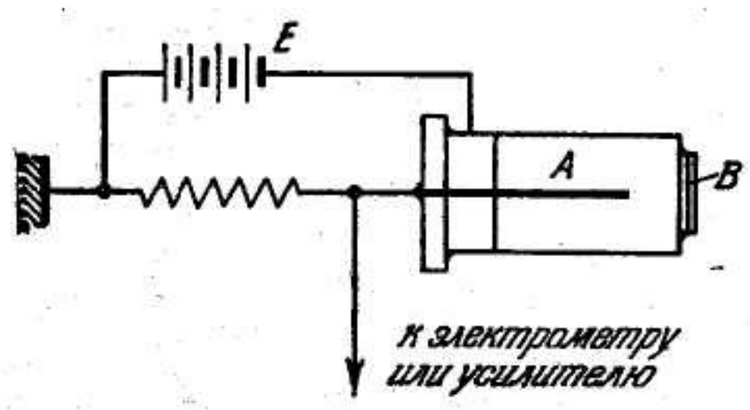


Рис.3 Схема торцевого счетчика.

в) Метод толстослойной фотопластинки. Метод толстослойных фотопластинок был разработан Мысовским и Ждановым. Ими изготовлялись специальные фотопластинки с утолщенным слоем фотоэмульсии (50—300 мк). α -частицы при движении в таком слое вызывают разложение бромистого серебра только в тех зернах, через которые они прошли. После проявления такой пластинки в ней возникают «дорожки» из осадившегося серебра, хорошо видимые в микроскопе. Каждая такая дорожка представляет собой след двигавшейся частицы. По величине пробега α -частицы можно определить ее энергию.

Толстослойные фотопластинки пригодны для регистрации не только α -лучей, но и других сильно ионизирующих частиц - протонов, дейтронов. В настоящее время изготовляются и такие фотопластинки, в которых можно обнаруживать следы частиц не столь сильно ионизирующих, в частности, электронов большой энергии.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Оборудование и материалы.

В работе используется торцовый счетчик Гейгера-Мюллера. Исследуемый радиоактивный источник в герметической капсуле размещен на держателе, свободно перемещающемся по скамье относительно счетчика. Для измерения расстояния между счетчиком и образцом на скамье установлена измерительная линейка, а на держателе образца нанесена риска. Поглотителем бета-частиц является набор тонких алюминиевых пластин, помещенных на специальном держателе. Толщина каждой пластины указана на кольце держателя.

Указания по технике безопасности.

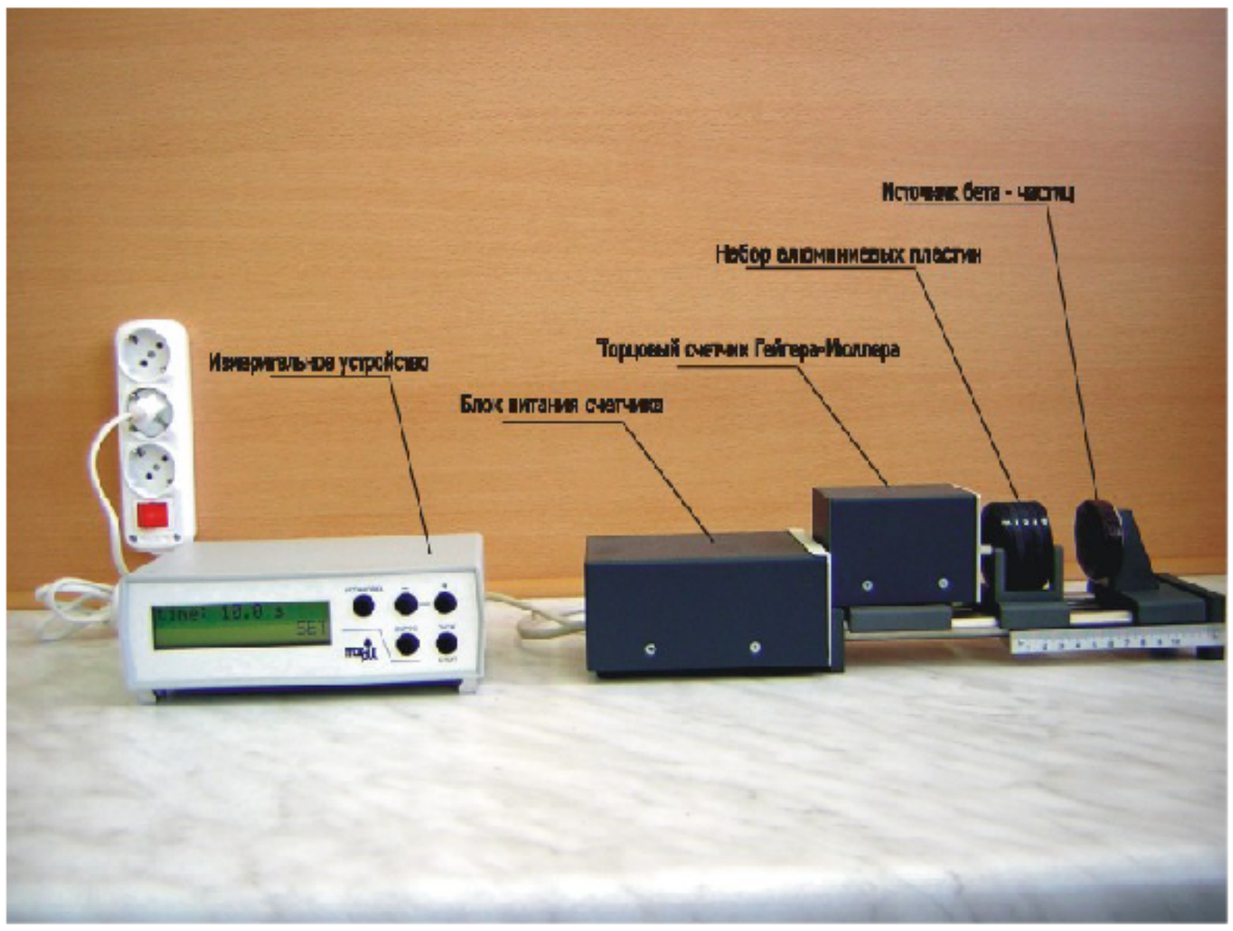
1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. Включить приборы установки и дать им прогреться в течение 10 мин.

2. Установить на счетчике рабочее напряжение и определить «фон» счетчика.

3. Поместить в «домик» исследуемый источник бета-излучения и определить начальную интенсивность бета-излучения при отсутствии поглотителя.



4. Используя набор алюминиевых пластин, снять зависимость интенсивности бета-излучения от толщины d поглотителя. Построить по полученным данным кривую поглощения.

5. В целях более точного определения максимального пробега $R_{макс}$ экстраполяцию необходимо произвести по графику кривой поглощения (по оси ординат откладывают значения $\ln I$, а по оси абсцисс – d).

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

6. Используя формулу (8) и найденное путем экстраполяции значение $R_{макс}$, определить величину максимальной энергии бета-частиц.

7. Оценить погрешность результатов.

Снятие зависимости интенсивности элементарных частиц от расстояния до источника излучения

1. Включить установку в сеть установить время регистрации 10 секунд.

3. Установить начальное расстояние R между сцинтилляционным экраном и препаратом, соответствующее нулевой точке шкалы.

4. Используя установку, определить интенсивность I элементарных частиц для начального расстояния R.

5. Увеличить расстояние между экраном и препаратом на 0,5 см и повторить измерения интенсивности.

6. Продолжая увеличивать расстояния R через 0,5 см, повторять измерения интенсивности элементарных частиц по всей длине линейки прибора.

7. По полученным данным построить график зависимости I = f (R) и определить средний пробег R_0, экстраполированный $R_э$ и параметр разброса s.

8. Продифференцировав графически полученную кривую I = f (R) определить средний пробег R_0 как абсциссу максимума кривой: $\frac{dI}{dR}=\psi(R)$

9. Оценить погрешность результатов.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Что такое радиоактивность? Виды радиоактивного излучения.
2. Физическая природа α -, β - и γ - излучений.
3. Методы регистрации радиоактивных излучений.
4. Описать работу счетчика Гейгера-Мюллера.
5. Сформулировать правила радиоактивного излучения.
6. Записать формулу радиоактивного распада. Почему классический метод не объясняет природу α -распада?
7. Описать α -распад с позиций квантовой механики.
8. Описать β -распад с позиций квантовой механики.
9. В чем заключается метод определения длины свободного пробега элементарной частицы в данной работе?
10. Записать формулу Гейгера.
11. В чем заключается метод определения энергии элементарных частиц (метод поглощения)?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Физика для вузов: механика и молекулярная физика [Электронный ресурс]: учебник / В.А. Никеров. - Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2017. - 136 с. : табл., граф., схем. - ISBN 978-5-394-00691-3;-URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=450772

2. Ташлыкова-Бушкевич, И.И. Физика : в 2 ч. / И.И. Ташлыкова-Бушкевич. – 2-е изд., испр. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. – Ч. 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм. – 304 с. : ил., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=235732

3. Ташлыкова-Бушкевич, И.И. Физика : в 2 ч. / И.И. Ташлыкова-Бушкевич. – 2-е изд., испр. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. – Ч. 2. Оптика. Квантовая физика. Строение и физические свойства вещества. – 232 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=460883

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Лекции по учебной дисциплине «Основы теоретической физики». Электродинамика. [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.И. Кухарь. — Электрон. текстовые данные. — Волгоград: Волгоградский государственный социально-педагогический университет, 2017. — 57 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/70731.html

2. Никеров, В.А. Физика: современный курс / В.А. Никеров. – 2-е изд. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. – 452 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=453287.

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Физика».
2. Методические рекомендации для подготовки к лабораторным занятиям по дисциплине «Физика».
3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физика».

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. http://www.biblioclub.ru -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. http://www.iprbookshop.ru/ - Электронно- библиотечная система IPRbooks

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению практических работ
по дисциплине «ФИЗИКА» для студентов направления подготовки
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов,
"Автомобильный сервис"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование практических работ	
4.	Содержание практических работ	
4.1	Практическая работа №1 Кинематика материальной точки.	
4.2	Практическая работа №2 Динамика материальной точки.	
4.3.	Практическая работа №3 Работа и энергия. Механика твердого тела.	
4.4	Практическая работа №4 Механические колебания и волны.	
4.5	Практическая работа №5 Основы молекулярно-кинетической теории.	
4.6	Практическая работа №6 Основы термодинамики.	
4.7	Практическая работа №7 Электростатика.	
4.8	Практическая работа №8 Проводники в электрическом поле. Электрическое поле в диэлектриках.	
4.9	Практическая работа №9 Законы постоянного тока.	
4.10	Практическая работа №10. Понятие о магнитном поле. Закон Био – Савара-Лапласа.	
4.11	Практическая работа №11. Электромагнитное поле.	
4.12	Практическая работа №12. Переменный электрический ток.	
4.13	Практическая работа №13. Геометрическая оптика.	
4.14	Практическая работа №14. Волновая оптика. Интерференция и дифракция света.	
4.15	Практическая работа №15. Квантовая природа излучения.	
4.16	Практическая работа №16. Модели атома Томсона и Резерфорда. Теория атома водорода по Бору.	
4.17	Практическая работа №17. Основы физики атомного ядра. Элементарные частицы.	
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
5.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000413E24B9E3512C9E7BA7A000000041E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Введение

Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины «Физика», использование специального лабораторного оборудования и технических средств. Практические занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Практические занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Физика» является формирование у студентов компетенций позволяющий выработать навыки физических исследований в сферах академической, профессиональной и общенаучной деятельности.

Задачи освоения дисциплины:

- изучение законов окружающего мира в их взаимосвязи;
- овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач;
- формирование навыков по применению положений фундаментальной физики к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новых технологий;
- освоение основных физических теорий, позволяющих описать явления в природе, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных технологических задач.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

3. Наименование практических работ

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
1 семестр			
1	**Практическая работа № 1. Кинематика материальной точки**. Кинематика поступательного движения. Кинематика вращательного движения материальной точки. Тангенциальное, нормальное и полное ускорения	1,5	
2	**Практическая работа № 2. Динамика материальной точки.** Первый закон Ньютона. Сила, масса, импульс. Второй закон Ньютона. Принцип независимости действия сил. Третий закон Ньютона. Закон сохранения импульса. Закон движения центра масс	1,5	
3	**Практическая работа №3. Работа и**	1,5	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500000000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

	энергия. Механика твердого тела. Работа, мощность, энергия: понятия и взаимосвязь. Закон сохранения энергии. Момент инерции. Законы механики вращательного движения твёрдого тела. Кинетическая энергия при вращательном движении.		
4	**Практическая работа №4. Механические колебания и волны.** Колебательные процессы в механике. Гармонические колебания. Свободные затухающие колебания. Вынужденные колебания. Резонанс. Волновые процессы в механике	1,5	
5	**Практическая работа №5. Основы молекулярно-кинетической теории.** Основные понятия и законы молекулярно-кинетической теории. Статистические распределения и следствия из них. Элементы физической кинетики	1,5	
6	**Практическая работа №6. Основы термодинамики.** Внутренняя энергия идеального газа. Внутренняя энергия многоатомного газа Работа в термодинамике. Работа газа при изотермическом процессе. Начала термодинамики и следствия из них.	1,5	
7	**Практическая работа №7. Электростатика.** Электрические заряды и закон сохранения заряда. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность поля. Теорема Гаусса для напряженности электрического поля. Разность потенциалов. Связь напряженности и разности потенциалов. Основные уравнения электростатики в вакууме	1,5	
8	**Практическая работа №8. Проводники в электрическом поле. Электрическое поле в диэлектриках.** Проводник во внешнем электрическом поле. Электроемкость. Конденсаторы. Энергия заряженного проводника. Энергия электрического поля. Поляризация диэлектриков. Диэлектрики в электрическом поле.	1,5	
9	**Практическая работа №9. Законы постоянного тока**. Постоянный электрический ток. Закон Ома. Правила Кирхгофа и их применение к расчету электрических цепей. Закон Джоуля – Ленца. Работа и мощность тока. Классическая электронная теория	1,5	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

	проводимости металлов		
	Итого за 1 семестр:	**13,5**	
2 семестр			
10	**Практическая работа №10. Понятие о магнитном поле. Закон Био – Савара-Лапласа.** Характеристики магнитного поля. Закон Био – Савара – Лапласа и его применение к расчету магнитного поля. Теорема о циркуляции магнитного поля. Закон Ампера. Взаимодействие параллельных токов	1,5	
11	**Практическая работа №11. Электромагнитное поле.** Закон полного тока. Ток смещения. Единая теория электрических и магнитных явлений Максвелла. Система уравнений Максвелла. Скорость распространения электромагнитного поля Релятивистская трактовка магнитных явлений	1,5	
12	**Практическая работа №12. Переменный электрический ток.** Переменный электрический ток: основные понятия и законы. Вихревое электрическое поле. Мощность, выделяемая в цепи переменного тока	1,5	
13	**Практическая работа №13. Геометрическая оптика.** Фотометрия. Основы геометрической оптики. Законы отражения и преломления света. Явление полного внутреннего отражения. Принцип Ферма. Линзы, формула тонкой линзы. Оптическая сила линзы. Изображение предметов с помощью линз. Зеркала. Система линз как основа оптических приборов	1,5	
14	**Практическая работа №14. Волновая оптика. Интерференция и дифракция света.** Явление интерференции световых волн. Дифракция световых волн. Дифракционная решетка. Взаимодействие электромагнитных волн с веществом. Дисперсия света. Поглощение света. Рассеяние света. Эффект Доплера. Поляризация света	1,5	
15	**Практическая работа №15. Квантовая природа излучения.** Законы теплового излучения. Закон Стефана-Больцмана. Закон Вина. Фотоэффект. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Масса, энергия и	1,5	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

	импульс фотона. Давление света. Эффект Комптона и его элементарная природа		
16	**Практическая работа №16. Модели атома Томсона и Резерфорда. Теория атома водорода по Бору.** Модели атома Томсона и Резерфорда. Линейчатый спектр атома водорода. Постулаты Бора. Спектр атома водорода по Бору. Корпускулярно-волновой дуализм свойств вещества. Некоторые свойства волн де Бройля. Общее уравнение Шредингера. Элементы современной физики атомов и молекул	1,5	
17	**Практическая работа №17. Основы физики атомного ядра**. **Элементарные частицы.** Состав, заряд атомного ядра. Массовое и зарядовое числа. Дефект массы и энергия связи ядра. Спин ядра и его магнитный момент. Ядерные силы, их свойства, модели ядра. Закон радиоактивного распада. Элементарные частицы. Космическое излучение. Классификация элементарных частиц. Физическая картина мира.	1,5	
	Итого за 2 семестр	**12**	
	Итого	**25,5**	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023