

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Хатямов Рушан Фаритович
Должность: Директор ПТЖТ - филиала ПривГУПС
Дата подписания: 09.09.2026 16:47:18
Уникальный программный ключ:
69ece84290c49e5186ad52595c914e77484890f7

Приложение
ОПОП-ППССЗ по специальности
13.02.07 Электроснабжение

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ ОУД.11 ФИЗИКА**

*Базовая подготовка
среднего профессионального образования*

год начала подготовки - 2024

2024

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1.1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы:

Учебная дисциплина «Физика» является частью основной профессиональной образовательной программы СПО, реализуемой на базе основного общего образования, и входит в общеобразовательный цикл учебного плана.

Методические указания учебной дисциплины разработаны на основе Федерального государственного образовательного стандарта среднего общего образования (утв. приказом Министерства образования и науки РФ 16.11.2022 г. № 993) и примерной основной образовательной программы, одобренной решением федерального учебно-методического объединения по общему образованию (протокол от 15.09.2022 г. №6/22)

1.2. Цели и планируемые результаты освоения дисциплины:

- формирование у обучающихся уверенности в ценности образования, значимости физических знаний для современного квалифицированного специалиста при осуществлении его профессиональной деятельности;
- овладение специфической системой физических понятий, терминологией и символикой;
- освоение основных физических теорий, законов, закономерностей;
- овладение основными методами научного познания природы, используемыми в физике (наблюдение, описание, измерение, выдвижение гипотез, проведение эксперимента);
- овладение умениями обрабатывать данные эксперимента, объяснять полученные результаты, устанавливать зависимости между физическими величинами в наблюдаемом явлении, делать выводы;
- формирование умения решать физические задачи разных уровней сложности;
- развитие познавательных интересов, интеллектуальных и творческих способностей в процессе приобретения знаний с использованием различных источников информации и современных информационных технологий; умений формулировать и обосновывать собственную позицию по отношению к физической информации, получаемой из разных источников;
- воспитание чувства гордости за российскую физическую науку.

Особенностью формирования совокупности задач изучения физики для системы среднего профессионального образования заключается в необходимости реализации профессиональной направленности решаемых задач, учёта особенностей сферы деятельности будущих специалистов.

Освоение курса ОД «Физика» предполагает решение следующих задач:

- приобретение знаний о фундаментальных физических законах, лежащих в основе современной физической картины мира, принципов действия технических устройств и производственных процессов, о наиболее важных открытиях в области физики, оказавших определяющее влияние на развитие техники и технологии;
- понимание физической сущности явлений, проявляющихся в рамках производственной деятельности;
- освоение способов использования физических знаний для решения практических и профессиональных задач, объяснения явлений природы, производственных и технологических процессов, принципов действия технических приборов и устройств, обеспечения безопасности производства и охраны природы;
- формирование умений решать учебно- практические задачи физического содержания с учётом профессиональной направленности;
- приобретение опыта познания и самопознания; умений ставить задачи и решать проблемы с учётом профессиональной направленности;
- формирование умений искать, анализировать и обрабатывать физическую информацию с учётом профессиональной направленности;
- подготовка обучающихся к успешному освоению дисциплин и модулей профессионального цикла: формирование у них умений и опыта деятельности, характерных для профессий / должностей служащих или специальностей, получаемых в профессиональных образовательных организациях;
- подготовка к формированию общих компетенций будущего специалиста: самообразования, коммуникации, сотрудничества, принятия решений в стандартной и нестандартной ситуациях, проектирования, проведения физических измерений, эффективного и безопасного использования различных технических устройств, соблюдения правил охраны труда при работе с физическими приборами и оборудованием.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен **знать**:

- смысл понятий: физическое явление, гипотеза, закон, теория, вещество, взаимодействие, электромагнитное поле, волна, фотон, атом, атомное ядро, ионизирующие излучения;
- смысл физических величин: скорость, ускорение, масса, сила, импульс, работа, механическая энергия, внутренняя энергия, абсолютная температура, средняя кинетическая энергия частиц вещества, количество теплоты, элементарный электрический заряд;
- смысл физических законов классической механики, всемирного тяготения, сохранения энергии, импульса и электрического заряда, термодинамики, электромагнитной индукции, фотоэффекта;
- вклад российских и зарубежных ученых, оказавших наибольшее влияние на развитие физики;

В результате освоения дисциплины обучающийся должен **уметь**:

- проводить наблюдения, планировать и выполнять эксперименты,
- выдвигать гипотезы и строить модели,
- применять полученные знания по физике для объяснения разнообразных

физических явлений и свойств веществ;

- практически использовать физические знания;
- оценивать достоверность естественнонаучной информации;
- использовать приобретенные знания и умения для решения практических задач повседневной жизни, обеспечения безопасности собственной жизни, рационального природопользования и охраны окружающей среды.

- описывать и объяснять физические явления и свойства тел: свойства газов, жидкостей и твердых тел; электромагнитную индукцию, распространение электромагнитных волн; волновые свойства света; излучение и поглощение света атомом; фотоэффект;

- отличать гипотезы от научных теорий;

- делать выводы на основе экспериментальных данных;

- приводить примеры, показывающие, что: наблюдения и эксперимент являются основой для выдвижения гипотез и теорий, позволяют проверить истинность теоретических выводов; физическая теория дает возможность объяснять известные явления природы и научные факты, предсказывать еще неизвестные явления;

- приводить примеры практического использования физических знаний: законов механики, термодинамики и электродинамики в энергетике; различных видов электромагнитных излучений для развития радио и телекоммуникаций, квантовой физики в создании ядерной энергетики, лазеров;

- воспринимать и на основе полученных знаний самостоятельно оценивать информацию, содержащуюся в сообщениях СМИ, Интернете, научно-популярных статьях.

- применять полученные знания для решения физических задач;

- определять характер физического процесса по графику, таблице, формуле;

- измерять ряд физических величин, представляя результаты измерений с учетом их погрешностей.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен сформировать следующие компетенции:

Код и наименование формируемых компетенций	Планируемые результаты освоения дисциплины		
	Личностные:	Метапредметн ые:	Предметные:

ОК 01 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;	Л.1. Развитие чувства гордости и уважения к истории и достижениям отечественной физической науки; физически грамотное поведение в профессиональной деятельности и быту при обращении с приборами и устройствами	М.1.Использование различных видов познавательной деятельности для решения физических задач, применение основных методов познания (наблюдения, описания, измерения, эксперимента) для изучения различных сторон окружающей действительности и	П.1.Формирование представлений о роли и месте физики в современной научной картине мира; понимание физической сущности наблюдаемых во Вселенной явлений, роли физики в формировании кругозора и функциональной грамотности человека для решения практических задач
ОК 02 Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, и	Л.2. Готовность к продолжению образования и повышения квалификации в избранной профессиональ	М.2.Развитие использования основных интеллектуальн ых операций: постановки задачи,	П.2.Формирование основополагающих физических понятий, закономерностей, законов и теорий; уверенное использование

информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности;	ной деятельности и объективное осознание роли физических компетенций в этом;	формулирования гипотез, анализа и синтеза, сравнения, обобщения, систематизации, выявления причинно-следственных связей, поиска аналогов, формулирования выводов для изучения различных сторон физических объектов, явлений и процессов, которыми возникает необходимость сталкиваться в профессиональной сфере	физической терминологии и символики
ОК 03 Планировать и реализовывать	Л.3.Развитие умения использовать	М.3.Развитие умения генерировать	П.3.Формирование владения основными методами научного

собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях;	достижения современной физической науки и физических технологий для повышения собственного интеллектуального развития в выбранной профессиональной деятельности	идеи и определять средства, необходимые для их реализации	познания, используемыми в физике: наблюдением, описанием, измерением, экспериментом
ОК 04 Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде;	Л.4. Умение самостоятельно добывать новые для себя физические знания, используя для этого доступные источники информации;	М.4. умение использовать различные источники для получения физической информации, оценивать ее достоверность;	П.4. Умения обрабатывать результаты измерений, обнаруживать зависимость между физическими величинами, объяснять полученные результаты и делать выводы;

ОК 05 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста;	Л.5.Умение выстраивать конструктивные взаимоотношения в команде по решению общих задач;	М.5. умение анализировать и представлять информацию в различных видах;	П.5.Сформированность умения решать физические задачи;
---	--	---	--

ОК 06 Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей, в том числе с учетом гармонизации межнациональных и межрелигиозных отношений, применять стандарты антикоррупционного поведения;	Л.6. Умение управлять своей познавательной деятельностью, проводить самооценку уровня собственного интеллектуального развития	М.6. Умение публично представлять результаты собственного исследования, вести дискуссии, доступно и гармонично сочетая содержание и формы представляемой информации;	П.6. Сформированность умения применять полученные знания для объяснения условий протекания физических явлений в природе, профессиональной сфере и для принятия практических решений в повседневной жизни;
--	---	--	---

ОК 07 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережен ию, применять знания об изменении климата, принципы бережливого производства, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях;			П.7.Сформированнос ть собственной позиции по отношению к физической информации, получаемой из разных источников.
--	--	--	--

Личностные результаты реализации программы воспитания:

- **ЛР 2** Проявляющий активную гражданскую позицию, демонстрирующий приверженность принципам честности, порядочности, открытости, экономически активный и участвующий в студенческом и территориальном самоуправлении, в том числе на условиях добровольчества, продуктивно взаимодействующий и участвующий в деятельности общественных организаций.
- **ЛР 4** Проявляющий и демонстрирующий уважение к людям труда, осознающий ценность собственного труда. Стремящийся к формированию в сетевой среде личностно и профессионального конструктивного «цифрового следа».

- **ЛР 23** Получение обучающимися возможности самораскрытия и самореализация личности.
- **ЛР 30** Осуществляющий поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения различных задач, профессионального и личностного развития.

Лабораторная работа № 1

Тема: Изучение изобарного процесса (опытная проверка закона Гей-Люссака, Бойля - Мариотта)

Цель работы: экспериментальным путем проверить верность закона Гей-Люссака (доказать постоянство отношения V/T для данной массы газа).

Оборудования: Виртуальная лаборатория «Исследование изобарного процесса в газах»

- <http://efizika.ru/html5/18/index.html>.

Установка моделирует лабораторную работу «Проверка закона изобарного процесса Гей-Люссака».

Краткая теория

В 1802 году, французский ученый Жозеф Луи Гей-Люссак опубликовал закон определяющий зависимость объема газа от температуры при постоянном давлении и неизменной массе. Изобарный процесс - это процесс при котором изменяется состояние термодинамической системы при постоянном давлении. Если переводить с греческого то дословно получается: *isos* – равный и *baros* – тяжесть, вес. Стекланный сосуд заполнен определенным газом, и этот сосуд присоединен к продолговатой стеклянной трубке. Каплей ртути закупорен газ в этой трубке. В следствии того, что трубка находится в горизонтальном расположении, давление в сосуде постоянно остаётся равным атмосферному. Температура газа увеличивается от 0 до 100°C. Увидеть изменение объема можно при помощи капельки ртути, которая будет перемещаться по стенке стеклянной трубки. Гей- Люссак измерял объем газа в интервале температур от 0 до 100°C. Исследуя различные газы он получил для них следующие значения температурного коэффициента объемного расширения $\alpha = (V - V_0) / V_0 \cdot t$:

Таблица 2.1. Температурный коэффициент объемного расширения газов

Газ	Температурный коэффициент объемного расширения, 1/°C
Воздух	0,003671
Водород	0,003661
Окись азота	0,003720
Циан	0,003877
CO ₂	0,003710
CO	0,003669
S O ₂	0,003903

Получив такие данные, Гей-Люссак сделал следующие выводы:

- при одинаковом повышении температуры, все газы и пары одинаково расширяются;
- для всех газов увеличение объема в интервале температур от температуры таяния льда до температуры кипения воды равно 100/26666 первоначального объема.

Таким образом, на основании наблюдений Гей-Люссак установил закон: относительное изменение объема газа данной массы при постоянном давлении прямо

пропорционально изменению температуры t . $(V - V_0)/V_0 = \alpha \cdot t$, где α – температурный коэффициент объёмного расширения, численно равный относительному изменению объёма газа при изменении его температуры на 1 градус. Опыт показывает, что при малых плотностях коэффициент объёмного расширения одинаков для всех газов: $\alpha = 1/273 \text{ } 1/^\circ\text{C}$. С точки зрения МКТ этот факт объясняется тем, что молекулы газа находятся в среднем на больших расстояниях друг от друга, и особенности межмолекулярных сил для различных газов в этих условиях не сказываются. Закон можно записать в виде: $V = V_0(1 + \alpha t)$. Объём данной массы газа при постоянном давлении меняется линейно при изменении температуры.

Если продолжить изобару в область низких температур, где измерения не проводились, то прямая пересекает ось температуры в точке, соответствующей объёму, равному нулю. Однако, это еще не значит, что объём газа действительно обращается в ноль. Ведь все газы при сильном охлаждении превращаются в жидкости, а к жидкостям ни закон Бойля – Мариотта, ни закон Гей-Люссака не применимы. Реальные газы подчиняются основным газовым законам лишь приближённо и тем менее точно, чем больше плотность газа и ниже его температура. Газ, который в точности подчиняется газовым законам, называют идеальным.

В молекулярно-кинетической теории модель «идеальный газ» удовлетворяет следующим требованиям:

1. объём всех молекул газа много меньше объёма сосуда;
2. силы притяжения между молекулами малы, и ими пренебрегают;
3. молекулы взаимодействуют только при соударении (удар упругий), при этом действуют силы отталкивания;

время столкновения много меньше времени между столкновениями. Тот факт, что численное значение температурного коэффициента объёмного расширения в предельном случае малых плотностей одинаково для всех газов, позволяет установить температурную шкалу, не зависящую от вещества, – идеальную газовую шкалу температур.

Взяв за основу шкалу Цельсия, можно определить температуру из соотношения: $t = (V - V_0)/V_0$, где V – объём газа при 0°C , а V – его объём при температуре t . Так осуществляется определение температуры, не зависящее от вещества термометра.

Предельную температуру, при которой объём идеального газа становится равным нулю, принимают за абсолютный нуль температуры. Найдём значение абсолютного нуля по шкале Цельсия. Приравняв объём V к нулю и учитывая, что $\alpha = 1/273 \text{ } 1/^\circ\text{C}$, получим: $0 = V_0(1 + 1/273 \cdot t)$. И получаем, что абсолютный нуль температуры равен: $t = -273^\circ\text{C}$. Это предельная, самая низкая температура в природе, та «наибольшая или последняя степень холода», существование которой предсказал Ломоносов.

Такой учёный как Уильям Кельвин из Англии, ввёл абсолютную шкалу температур. Нулевая температура по шкале Кельвина равна абсолютному нулю, а единица температуры по этой шкале – градусу по шкале Цельсия, из за этого абсолютная температура T связана с температурой по шкале Цельсия формулой: $T = t + 273^\circ\text{C}$, причём $1^\circ\text{C} = 1 \text{ К}$. Если посмотреть с точки зрения молекулярно –

кинетической теории, то получается, что $T = 0$ К, и тепловое движение молекул прекращается.

С помощью шкалы Кельвина, закон Гей-Люссака можно записать проще:

$$1 + \alpha \cdot t = 1 + 1/273(T - 273) = \alpha \cdot T, \text{ тогда } V = V_0 \cdot \alpha \cdot T.$$

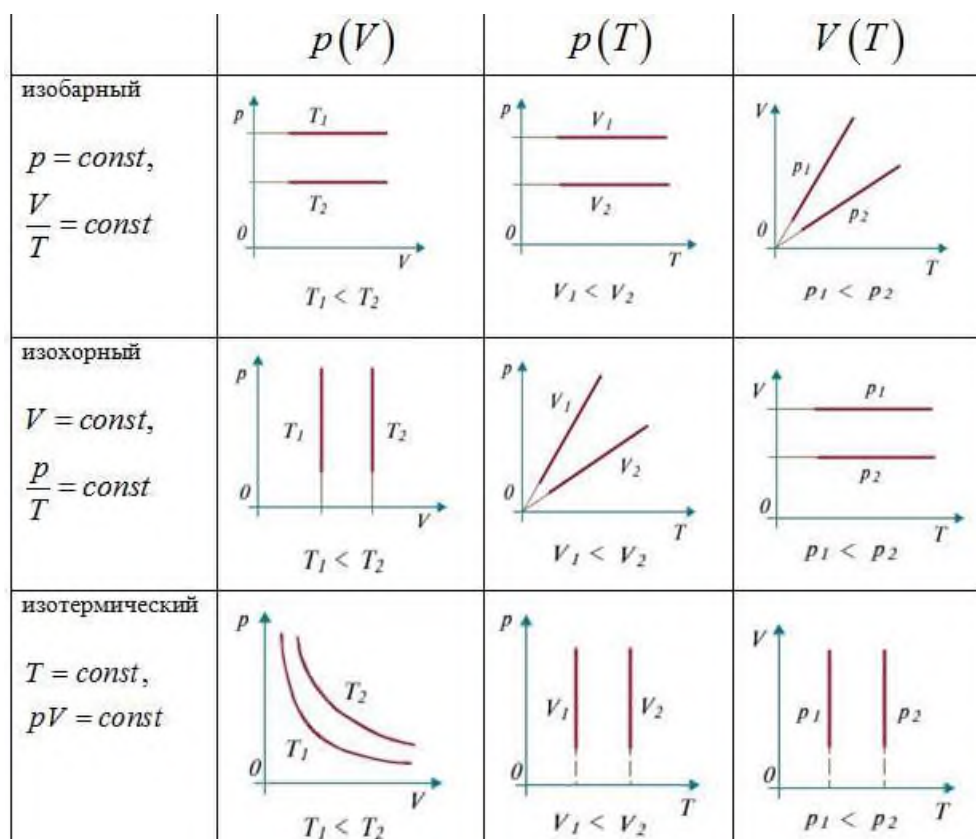
Объём газа данной массы при постоянном давлении прямо пропорционален абсолютной температуре.

Следовательно отношение объёмов газа одной и той же массы в различных состояниях при постоянном давлении равно отношению абсолютных температур:

$$V_1 / V_2 = T_1 / T_2.$$

Таблица 2.2. Характеристики изобарного процесса

Постоянный параметр	Название изопроцесса	Связь между другими параметрами	Объяснение связи между параметрами с точки зрения МКТ
$P = \text{const}$ при $m = \text{const}$.	Изобарный процесс (закон Гей-Люссака, 1802 год).	$V / T = \text{const}; V_1 / T_1 = V_2 / T_2; V_1 / V_2 = T_1 / T_2.$	Рост температуры означает увеличение средней кинетической энергии теплового движения молекул газа. Чтобы поддерживать давление постоянным, необходимо не допустить увеличения числа ударов о единицу площади поверхности стенки



Ход работы

1. Запустить виртуальный стенд - <http://efizika.ru/html5/18/index.html>
2. Установить начальные параметры газа: давление P_0 , температуру t_0

- и объем V_0 .
- Выбрать для исследования газ из пяти возможных: воздух, ацетилен, метан, аргон, углекислый газ.
- Нажать на кнопку «Пуск» для начала нагревания газа.
- При достижении кратных температур или давлений останавливать нагрев кнопкой «Пауза».
- Снять показания установившегося объема газа V_i и температуры t_i и найти отношение V_i/T_i .
- Продолжить нагрев, нажав на кнопку «Пуск».
- Вновь останавливать нагрев кнопкой «Пауза».
- Записать значения конечного объема V_i при увеличении температуры T_i .
- Найти отношения V_i/T_i и убедиться в их примерном равенстве, т.е. в справедливости закона Гей-Люссака.
- Определить оценку абсолютной и относительной погрешностей измерения.
- Данные исследования занести в таблицу.

№, п/п	газ	M, кг/моль (молярная масса)	m, кг (масса газа)	Начальные показатели				Конечные показатели				V_i/T_i , м ³ /К	V_0/T_0 , м ³ /К	$\Delta(V/T)$, м ³ /К	$\varepsilon(V/T)$, %
				P_0 , кПа (давление)	V_0 , м ³ (объем)	t_0 , °C (температура по Цельсию)	T_0 , К (температура Кельвина)	P_i , кПа (давление)	V_i , м ³ (объем)	t_i , °C (температура по Цельсию)	T_i , К (температура Кельвина)				
1															
2															

- Сформулировать выводы.

Контрольные вопросы

- Запишите основные приборы и оборудование необходимые для проведения данной работы.
- Рассказать в чем состоит закон Гей-Люссака.
- В чем отличие изобарного процесса от других изопроцессов.
- Каким требованиям удовлетворяет модель «идеального» газа в молекулярно - кинетической теории.
- Кто ввел абсолютную шкалу температур? Чем эта шкала отличается от шкалы по Цельсию.
- Из чего состоит экспериментальная установка данной лабораторной работы? Опишите предназначение каждого из них.
- Запишите основные приборы и оборудование, необходимые для проведения данной работы.

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2, ЛР4, ЛР23, ЛР30

Лабораторная работа № 2

Тема: Определение влажности воздуха

Цель работы: Освоение методов измерения абсолютной и относительной влажности воздуха, определение точки росы.

Приборы и принадлежности: Психрометр Августа, аспирационный гигрометр Ассмана, электронный датчик влажности, барометр.

Краткая теория

Атмосферный воздух содержит некоторое количество водяных паров. Главным источником влажности воздуха является испарение воды с поверхности океанов, морей, водоемов, влажной почвы и растений. Водяной пар переносится вверх турбулентностью и конвекцией, а по горизонтали – ветром.

В атмосфере Земли в среднем содержится $1,24 \cdot 10^{16}$ кг водяного пара. Сконденсировавшись, он мог бы образовать слой воды на поверхности Земли толщиной 2,4 см. Количество водяного пара быстро убывает с понижением температуры. Поэтому для атмосферы характерно уменьшение количества водяного пара от экватора к полюсам и очень быстрое уменьшение с высотой. Среднее объемное содержание водяного пара у поверхности Земли составляет: у экватора – 2,6%, а в полярных районах – 0,2%. От поверхности Земли до высоты 1,5–2 км среднее содержание водяного пара уменьшается вдвое. Выше воздух становится очень сухой. Лишь изредка, на высотах 17–82 км образуются перламутровые (стратосферные) облака, что свидетельствует о наличии насыщающей влажности воздуха.

Под влиянием различных процессов водяной пар конденсируется, образуя облака, туманы, осадки и наземные гидрометеоры: росу, иней и т.д. Фазовые переходы воды в атмосфере сопровождаются выделением или поглощением тепла, поэтому им придается большое значение в энергетике и термодинамике атмосферы. Водяной пар имеет способность к поглощению электромагнитного излучения в инфракрасном диапазоне частот. Наиболее интенсивное поглощение приходится на длины волн $\lambda = 5,5 \div 7,0$ мкм и $\lambda > 17$ мкм. Поэтому влажность воздуха сильно влияет на тепловой баланс атмосферы.

Рассмотрим основные определения.

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется насыщающим или насыщенным. Динамическое равновесие – это состояние при котором число молекул, вылетающих из жидкости, равно числу молекул, возвращающихся обратно. Если динамическое равновесие не соблюдается – пар является ненасыщенным.

Масса водяного пара, содержащегося в 1 м³ воздуха, называется *абсолютной влажностью*. С повышением абсолютной влажности пары воды все больше приближаются к состоянию насыщающего пара. *Максимальной абсолютной*

влажностью при данной температуре является масса насыщающего водяного пара в 1 м³ воздуха.

Пар не является газом в строгом смысле этого слова. Газ – это агрегатное состояние вещества при данных температуре и давлении. Пар же не является агрегатным состоянием вещества, потому что агрегатным состоянием вещества при данных температуре и давлении является жидкое состояние. В связи с этим поведение пара отличается от поведения газа. В грубом приближении газовые законы могут быть применимы к ненасыщенным парам. Поэтому для описания состояния водяного пара в атмосфере обычно используют уравнение Клапейрона–Менделеева:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT_{(1)}$$

Здесь, P – парциальное давление (упругость) водяных паров, V – объем, занимаемый паром, m – его масса, μ – молярная масса, R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура.

Парциальное давление – часть общего давления, относящаяся к одному из компонентов газовой смеси. Математически оно равно давлению, которое газ оказывал бы в отсутствии других компонентов газовой смеси.

При одинаковой температуре отношение абсолютных влажностей в двух различных состояниях имеет вид:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{P_1}{P_2} \quad (2)$$

где ρ_1 и ρ_2 – плотность водяных паров в двух различных состояниях.

Из (2) следует, что мерой абсолютной влажности может быть величина парциального давления водяных паров в атмосфере. Поэтому обычно *абсолютной влажностью* принято называть упругость водяного пара и выражать ее в миллиметрах ртутного столба. В системе СИ эта величина измеряется в Паскалях.

Относительной влажностью называется отношение *абсолютной влажности* к *максимальной абсолютной влажности* при данной температуре, выраженное в процентах. Она определяется выражением:

$$f = \frac{P}{P_{н(сух)}} 100\%, \quad (3)$$

где P – упругость водяных паров при температуре t , $P_{н(сух)}$ – упругость паров, насыщающих воздух при той же температуре (температуре сухого термометра). Физически, P численно равна абсолютной влажности воздуха.

Относительная влажность характеризует степень насыщения воздуха водяным паром.

Температуру t_p , при которой водяной пар становится насыщенным, называют точкой росы. При охлаждении воздуха до точки росы начинается конденсация паров: появляется туман, выпадает роса. Точка росы характеризует влажность воздуха, так как она позволяет определить парциальное давление водяного пара и относительную влажность.

Влажность воздуха измеряется с помощью гигрометров (греч. ὑ γρός – влажный) и психрометров (ψυχρός – холодный). Существуют дистанционные методы определения влажности воздуха, использующие лазерные и радиометрические приборы. Эти методы позволяют производить измерения с борта самолета и метеорологических спутников Земли. В дистанционных психрометрах используются термометры сопротивления, термисторы, термопары. В Оренбургском государственном университете в «Институте микро- и нанотехнологий» ведутся исследования по созданию очень точного датчика влажности. Датчик основан на оптических свойствах молекул ДНК, способных поглощать водяные пары в воздухе. Рассмотрим классические методы определения влажности воздуха.

Определение относительной влажности с помощью психрометров

Психрометр Августа состоит из двух термометров, помещенных на одной штатке. Баллончик одного из термометров обвязан батистом, конец которого погружен в стаканчик с водой. Сухой термометр показывает комнатную температуру. Благодаря испарению воды с батиста, облегающего баллончик, так называемого «влажного термометра», последний показывает температуру более низкую, чем соседний сухой термометр. Чем меньше влажность окружающего воздуха, тем интенсивнее испарение и тем ниже показание влажного термометра. Отметки по двум термометрам дают разность температур, которая и характеризует влажность воздуха. Для определения относительной влажности воздуха пользуются таблицами психрометрической разности. По разности показаний сухого и влажного термометров отыскивают искомое значение f . Зная относительную влажность, можно определить и абсолютную. При известной относительной влажности абсолютная влажность равна:

$$P = \frac{f \cdot P_n^{(сух)}}{100\%} \quad (4)$$

Значение $P_n^{(сух)}$ находят по таблице значений (приложение 1).

Аспирационный психрометр Ассмана состоит из двух термометров, укрепленных на одной штативе. Баллончик одного из термометров обвязан батистом, конец которого погружен в стаканчик с водой. В верхней части штатива имеется вентилятор, приводимый во вращение часовым механизмом, который заводится ключом, при установившемся режиме испарения. Когда температура влажного термометра тоже установится, приход тепла Q_1 извне будет равен расходу тепла Q_2 на испарение воды с поверхности термометра. Тогда по закону Ньютона-Рихмана имеем:

$$Q_1 = \alpha (t - t_1) \cdot S_1, \quad (5)$$

где $(t - t_1)$ – наблюдаемая разность температур, S_1 – поверхность баллончика термометра (влажного), α – коэффициент пропорциональности.

Скорость испарения воды с охлаждающей поверхности влажного термометра (масса воды, испаряющаяся в единицу времени)

$$M \approx \frac{S_2 P_n^{(влаж)} - P}{P_{атм}}, \quad (6)$$

где S_2 – площадь испаряющей поверхности, P – упругость паров, находящихся в воздухе, $P_{(влаж)}$ – упругость насыщенных паров при температуре влажного термометра, $P_{атм}$ – атмосферное давление.

Вводя коэффициент пропорциональности k , имеем

$$M = \frac{k \cdot S_2 \cdot P_{(влаж)} - P}{P_{атм}} \quad (7)$$

Расход энергии на испарение:

$$Q_2 = M \cdot \lambda = \frac{k \cdot \lambda \cdot S_2 \cdot P_{(влаж)} - P}{P_{атм}} \quad (8)$$

где λ – удельная теплота испарения.

Приравняв Q_1 к Q_2 получим: $P = P_{(влаж)} - A^* \cdot P_{атм} \cdot t - t_1$ (9)

$$A^* = \frac{\alpha \cdot S_1}{k \cdot \lambda S_2} = \frac{P_{(влаж)} - P}{P_{атм} \cdot t - t_1} \quad (10)$$

Здесь A^* – постоянная, которая в значительной мере зависит от скорости движения воздуха и поэтому для всякого психометра определяется отдельно.

Выражение (9) носит название психометрической формулы. Обычно влажный термометр покрыт батистом так, чтобы можно было считать $S_1=S_2$. Тогда

$$A = \frac{\alpha}{\lambda} \cdot (11)$$

В таком случае зависимость коэффициента A от скорости обтекания воздухом резервуаров термометров представлена на рисунке.

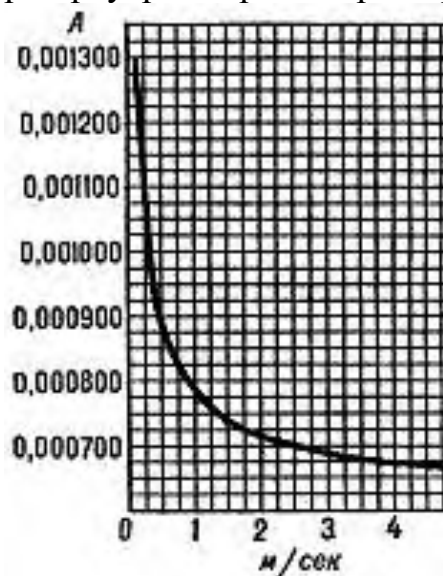


Рисунок 1 – Зависимость величины A от скорости прохождения воздуха через прибор

Скорость воздушного потока, создаваемого пружинным аспиратором (вентилятором), обычно составляет (2–2,5) м/с.

При помощи ключа заводят часовой механизм до предела и после установления процесса испарения отсчитывают температуру на обоих термометрах (t и t_1). Величины P_n берут из психометрических таблиц. $P_{атм.}$ определяют по барометру. Значение A рассчитывается по формуле (10). Для определения A величину P следует взять из данных измерений психрометром Августа.

Аспирационный психрометр Ассмана МВ-4М

Работа психрометра Ассмана МВ-4М основана на зависимости разности температур сухого и смоченного термометров от влажности окружающего воздуха. Психрометр состоит из двух одинаковых ртутных термометров, закрепленных в специальной оправе, и аспирационной головки. Оправа представляет собой трубку, раздваивающуюся книзу, с защитной пленкой. К нижней раздвоенной части трубки с помощью пластмассовых втулок прикреплены два патрубка, являющихся радиационной защитой резервуаров термометров. Верхний конец трубки соединен с аспиратором. Аспирационная головка состоит из заводного механизма и вентилятора, которые закрыты колпаком. Пружина заводного механизма психрометра Ассмана

МВ-4М заводится ключом. При вращении вентилятора, в прибор всасывается воздух, который обтекает резервуары термометров и проходит по воздухопроводной трубке к вентилятору и выбрасывается наружу через прорези в аспираторной головке. Сухой термометр будет показывать температуру воздуха, а показания смоченного термометра будут меньше из-за охлаждения, вызванного испарением воды с поверхности батиста облегающего баллончик термометра. Для определения влажности по показаниям сухого и влажного термометров используют психрометрические таблицы.

Для определения абсолютной влажности необходимо использовать значения атмосферного давления, которое измеряется барометром.

Барометр-анероид

Барометр является прибором непрерывного действия, предназначенным для ориентированных наблюдений в помещениях за изменением атмосферного давления в географических районах, расположенных не выше 300 метров над уровнем моря. Барометр представляет собой механический стрелочный прибор, работающий от воздействия атмосферного давления на anerоидный чувствительный элемент. В конструкции барометра предусмотрен биметаллический (состоящий из 3 металлов) стрелочный термометр, измеряющий температуру воздуха. Диапазон измерений давления от 695 до 805 мм. рт. ст. (от 0,927 до 0,1073 МПа).

Для определения характера изменения давления фиксирующаяся золотистая стрелка совмещается (при помощи ручки, расположенной на стрелке барометра) с показывающей черной стрелкой. Данное действие следует выполнять только с разрешения преподавателя или инженера лаборатории!

Электронный датчик влажности и температуры

Электронный датчик влажности и температуры выполнен на основе цифрового датчика DHT11. DHT11 - это цифровой датчик влажности и температуры, состоящий из термистора и емкостного датчика влажности. Также датчик содержит в себе АЦП для преобразования аналоговых значений влажности и температуры. Для работы с датчиком DHT11 используется Arduino библиотека DHT. Для точности определения относительной влажности воздуха, показания прибора необходимо снимать, когда он проработал не менее 10 минут. Чтобы выключить электронный датчик влажности достаточно вытащить его вилку из электрической сети.

Порядок выполнения работы

Часть 1. Определение относительной и абсолютной влажности воздуха с помощью психрометра Августа

1. Начертите таблицу 1

Таблица 1 – Значения, полученные с помощью психрометра Августа

$t_{\text{сух}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{влаж}}, ^\circ\text{C}$	$f, \%$	(сух) $P_n, \text{Па}$	$P, \text{Па}$	$\rho, \text{кг/м}^3$
----------------------------------	-----------------------------------	---------	------------------------------------	----------------	-----------------------

--	--	--	--	--	--

- Определите температуру сухого $t_{\text{сух}}$ и влажного $t_{\text{влаж}}$ термометра. Показания занесите в таблицу 1. Температуру округляйте до целых чисел.
- Используя психометрическую таблицу, расположенную на стенде, найдите относительную влажность f . Для этого рассчитайте разность температур влажного и сухого термометров ($t_{\text{сух}} - t_{\text{влаж}}$). Показания занесите в таблицу 1.
- Используя приложение А, найдите давление насыщенных паров P_n (сух) для температуры сухого термометра. Показания занесите в таблицу 1.
- Используя формулу (4) рассчитайте абсолютную влажность воздуха P , Па. Показания занесите в таблицу 1.
- Рассчитайте абсолютную влажность воздуха ρ в кг/м³. Для этого из уравнения (1) выразите плотность:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{P}{T_{\text{сух}}} \cdot \frac{\mu}{R} = \frac{P}{T_{\text{сух}} \cdot R_V}, \quad (12)$$

где $R_V = 461,5$ Дж/(кг·К) – универсальная газовая постоянная для водяного пара;
 $T_{\text{сух}} = t_{\text{сух}} + 273,15$ – температура сухого термометра (в кельвинах).

Часть 2. Определение относительной и абсолютной влажности воздуха с помощью психрометра Ассмана МВ-4М

- Начертите таблицу 2

Таблица 2 – Значения, полученные с помощью психрометра Ассмана МВ-4М

$t_{\text{сух}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{влаж}}, ^\circ\text{C}$	$f, \%$	(влаж) $P_n, \text{Па}$	$P_{\text{атм}}, \text{Па}$	$P, \text{Па}$	$\rho, \text{кг/м}^3$

- Определите температуру сухого термометра $t_{\text{сух}}$. Показания занесите в таблицу 2. Температуру округляйте до целых чисел.
- Перед выполнением данной части лабораторной работы, уточните у инженера лаборатории или преподавателя, готова ли установка к проведению лабораторных исследований. Когда лабораторная установка готова к работе, заведите пружинный механизм вентилятора с помощью ключа (почти до предела). Ожидайте остановки вентилятора.
- Когда вентилятор остановился, определите температуру влажного термометра $t_{\text{влаж}}$. Показание занесите в таблицу 2. Температуру округляйте до целых чисел.
- Используя график из приложения Б, определите величину относительной влажности воздуха. Показание занесите в таблицу 2.

6. Определите величину атмосферного давления в паскалях, используя барометр (760 мм. рт. ст. = 101 325 Па).
7. Используя приложение 1, найдите давление насыщенных паров для температуры влажного P_n (влаж) термометра. Показания занесите в таблицу 2.
8. Преобразуя формулы (9) и (11), получим формулу для абсолютной влажности воздуха в паскалях:

$$P = P_n^{(влаж)} - A \cdot P_{атм} \cdot t_{сух} - t_{влаж} \cdot (13)$$

В данной лабораторной работе коэффициент A принимает значение равное $6,62 \cdot 10^{-4}$ °C. Показание занесите в таблицу 2.

9. Рассчитайте абсолютную влажность воздуха ρ в кг/м³ с помощью формулы (12). Показание занесите в таблицу 2.

Часть 3. Определение относительной влажности воздуха с помощью электронного датчика влажности

1. Включите электронный датчик влажности.
2. Определите значение относительной влажности воздуха.

Для работы с электронным датчиком влажности необходимо включить вилку датчика в электрическую сеть. На экране дисплея высветятся два сообщения. Приведем пример сообщений:

Temperature: 28 C – означает, что температура в помещении составляет 28 °C;

Humidity: 18% – означает, что относительная влажность в помещении составляет 18 %.

3. Выключите электронный датчик влажности.

Часть 4. Сравнительный анализ величин относительной и абсолютной влажности воздуха

Для сравнительного анализа значений относительной влажности воздуха, полученных с помощью разных приборов, необходимо нанести полученные значения на числовую ось с учетом доверительного интервала. Для трех используемых приборов известны значения абсолютной ошибки относительной влажности воздуха, получаемой в результате экспериментов. Они составляют:

1. для психрометра Августа $\Delta f = 7\%$
2. для аспирационного психрометра Ассмана $\Delta f = 6\%$
3. для электронного датчика влажности $\Delta f = 5\%$

Результирующее значение относительной влажности воздуха получим на пересечении доверительных интервалов для трех приборов.

В случае если доверительные интервалы не пересекаются, результирующее значение относительной влажности воздуха находим как среднее арифметическое показаний от трех приборов.

Резльтирующее значение абсолютной влажности воздуха найти как среднее арифметическое для значений, полученных с помощью психрометра Августа и аспирационного психрометра Ассмана.

Пример:

Пусть, в результате измерений относительной влажности воздуха, психрометр Августа определил его равным $f = 35\%$, аспирационный психрометр Ассмана $f = 31\%$, а электронный датчик влажности $f = 29\%$. Нанесем эти значения на числовую ось с учетом величины абсолютной ошибки (рисунок 2):

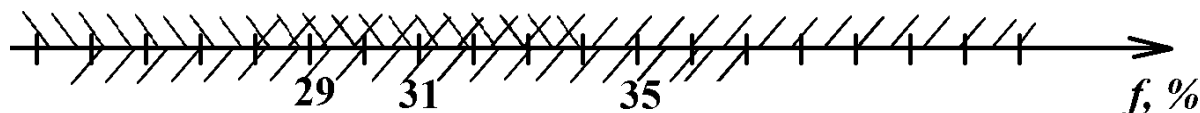


Рисунок 2 – Сравнительный анализ величин относительной влажности воздуха

Из полученного рисунка видно, что значение относительной влажности воздуха составляет $f = 31 \pm 3\%$.

Часть 5*. Определение значения точки росы в помещении

Используя величину относительной влажности воздуха, полученную в части 4, определите точку росы в помещении. Для этого воспользуйтесь таблицей в приложении В, при этом используйте среднее значение относительной влажности воздуха (округляя в большую сторону) и показание термометра в электронном датчике влажности.

Запишите вывод по всей лабораторной работе.

В случае дистанционного обучения необходимо выполнить виртуальную лабораторную работу.

Виртуальный Психрометр Августа

Для выполнения лабораторной работы перейдите на данный сайт: efizika.ru

Перед вами расположен стенд, который состоит из двух термометров (сухого и влажного), пульта управления и психрометрической таблицы (рисунок 3).



Рисунок 3 – Стенд виртуальной лабораторной работы

Для активации таблицы установите галочку в пункте «Психрометрическая таблица».

Ход работы

1. Начертите таблицу

Таблица 3 – Значения, полученные с помощью психрометра Августа

$t_{\text{сух}}, ^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{влаж}}, ^{\circ}\text{C}$	$f, \%$	(сух) $P_n, \text{Па}$	$P, \text{Па}$	$\rho, \text{кг/м}^3$

2. Снимите показания с сухого термометра $t_{\text{сух}}$.
2. В пульте управления нажмите кнопку «Пуск». Обратите внимание, что температура на влажном термометре начала падать!
3. Когда температура на влажном термометре перестанет изменяться – снимите показание установившейся температуры $t_{\text{влаж}}$. Значение, полученное на пульте управление не учитывать.

4. Используя психрометрическую таблицу, найдите относительную влажность воздуха f .
5. Рассчитайте абсолютную влажность воздуха, используя формулу (4).
Используя приложение 1, найдите давление насыщенных паров $P_n^{(сух)}$

для температуры сухого термометра.

Контрольные вопросы

1. Что называется абсолютной и относительной влажностью? Указать единицы их измерений.
2. Что называется насыщенным паром, точкой росы?
3. Что представляют собой такие приборы, как психрометр Августа, аспирационный психрометр Ассмана, барометр.
4. Как вычислить относительную и абсолютную влажность воздуха с помощью психрометра Августа?

Приложение А

(справочное)

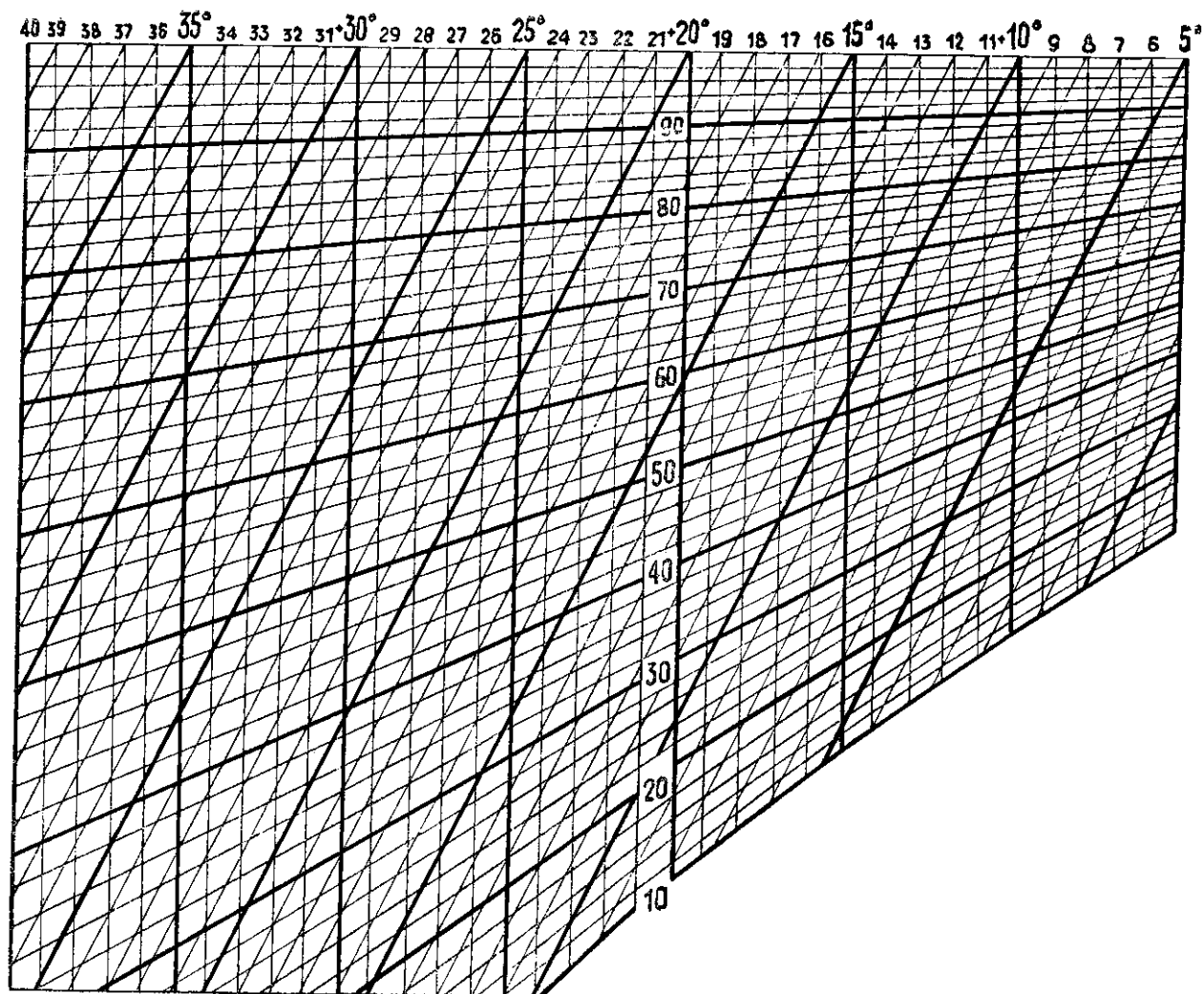
Деление насыщенного пара воды от 15 °C до 35 °C

$t, ^\circ\text{C}$	$P_n, \text{кПа}$
15	1,7056
16	1,8185
17	1,9380
18	2,0644
19	2,1978
20	2,3388
21	2,4877
22	2,6447
23	2,8104
24	2,9850
25	3,1690
26	3,3629
27	3,5670
28	3,7818
29	4,0078
30	4,2455
31	4,4953
32	4,7578
33	5,0335
34	5,3229
35	5,6267

Приложение Б

Определение относительной влажности по психрометрическому графику производится в следующем порядке:

1. по вертикальным линиям отмечаются показания сухого термометра;
2. по наклонным линиям отмечаются показания влажного термометра;
3. на пересечении этих линий получают значения относительной влажности, выраженные в процентах (полученные значения округлять в меньшую сторону).



Приложение В
(справочное)
Таблица для определения точки росы

влажнос ть % / температ ура °С	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
-5	-15,3	-14,04	-12,9	-11,84	-10,83	-9,96	-9,11	-8,31	-7,62	-6,89	-6,24	-5,6
-4	-14,4	-13,1	-11,93	-10,84	-9,89	-8,99	-8,11	-7,34	-6,62	-5,89	-5,24	-4,6
-3	-13,42	-12,16	-10,98	-9,91	-8,95	-7,99	-7,16	-6,37	-5,62	-4,9	-4,24	-3,6
-2	-12,58	-11,22	-10,04	-8,98	-7,95	-7,04	-6,21	-5,4	-4,62	-3,9	-3,34	-2,6
-1	-11,61	-10,28	-9,1	-7,98	-7,0	-6,09	-5,21	-4,43	-3,66	-2,94	-2,34	-1,6
0	-10,65	-9,34	-8,16	-7,05	-6,06	-5,14	-4,26	-3,46	-2,7	-1,96	-1,34	-0,62
1	-9,85	-8,52	-7,32	-6,22	-5,21	-4,26	-3,4	-2,58	-1,82	-1,08	-0,41	0,31
2	-9,07	-7,72	-6,52	-5,39	-4,38	-3,44	-2,56	-1,74	-0,97	-0,24	0,52	1,29
3	-8,22	-6,88	-5,66	-4,53	-3,52	-2,57	-1,69	-0,88	-0,08	0,74	1,52	2,29
4	-7,45	-6,07	-4,84	-3,74	-2,7	-1,75	-0,87	-0,01	0,87	1,72	2,5	3,26
5	-6,66	-5,26	-4,03	-2,91	-1,87	-0,92	-0,01	0,94	1,83	2,68	3,49	4,26
6	-5,81	-4,45	-3,22	-2,08	-1,04	-0,08	0,94	1,89	2,8	3,68	4,48	5,25
7	-5,01	-3,64	-2,39	-1,25	-0,21	0,87	1,9	2,85	3,77	4,66	5,47	6,25
8	-4,21	-2,83	-1,56	-0,42	-0,72	1,82	2,86	3,85	4,77	5,64	6,46	7,24
9	-3,41	-2,02	-0,78	0,46	1,66	2,77	3,82	4,81	5,74	6,62	7,45	8,24
10	-2,62	-1,22	0,08	1,39	2,6	3,72	4,78	5,77	6,71	7,6	8,44	9,23
11	-1,83	-0,42	0,98	1,32	3,54	4,68	5,74	6,74	7,68	8,58	9,43	10,23
12	-1,04	0,44	1,9	3,25	4,48	5,63	6,7	7,71	8,65	9,56	10,42	11,22
13	-0,25	1,35	2,82	4,18	5,42	6,58	7,66	8,68	9,62	10,54	11,41	12,21
14	0,63	2,26	3,76	5,11	6,36	7,53	8,62	9,64	10,59	11,52	12,4	13,21
15	1,51	3,17	4,68	6,04	7,3	8,48	9,58	10,6	11,59	12,5	13,38	14,21
16	2,41	4,08	5,6	6,97	8,24	9,43	10,54	11,57	12,56	13,48	14,36	15,2
17	3,31	4,99	6,52	7,9	9,18	10,37	11,5	12,54	13,53	14,46	15,36	16,19
18	4,2	5,9	7,44	8,83	10,12	11,32	12,46	13,51	14,5	15,44	16,34	17,19
19	5,09	6,81	8,36	9,76	11,06	12,27	13,42	14,48	15,47	16,42	17,32	18,19
20	6,0	7,72	9,28	10,69	12,0	13,22	14,38	15,44	16,44	17,4	18,32	19,18
21	6,9	8,62	10,2	11,62	12,94	14,17	15,33	16,4	17,41	18,38	19,3	20,18
22	7,69	9,52	11,12	12,56	13,88	15,12	16,28	17,37	18,38	19,36	20,3	21,6

23	8,68	10,43	12,03	13,48	14,82	16,07	17,23	18,34	19,38	20,34	21,28	22,15
24	9,57	11,34	12,94	14,41	15,76	17,02	18,19	19,3	20,35	21,32	22,26	23,15
25	10,46	12,75	13,86	15,34	16,7	17,97	19,15	20,26	21,32	22,3	23,24	24,14
26	11,35	13,15	14,78	16,27	17,64	18,95	20,11	21,22	22,29	23,28	24,22	25,14
27	12,24	14,05	15,7	17,19	18,57	19,87	21,06	22,18	23,26	24,26	25,22	26,13
28	13,13	14,95	16,61	18,11	19,5	20,81	22,01	23,14	24,23	25,24	26,2	27,12
29	14,02	15,86	17,52	19,04	20,44	21,75	22,96	24,11	25,2	26,22	27,2	28,12
30	14,92	16,77	18,44	19,97	21,38	22,69	23,92	25,08	26,17	27,2	28,18	29,11
31	15,82	17,68	19,36	20,9	22,32	23,64	24,88	26,04	27,14	28,08	29,16	30,1
32	16,71	18,58	20,27	21,83	23,26	24,59	25,83	27,0	28,11	29,16	30,16	31,19
33	17,6	19,48	21,18	22,76	24,2	25,54	26,78	27,97	29,08	30,14	31,14	32,19
34	18,49	20,38	22,1	23,68	25,14	26,49	27,74	28,94	30,05	31,12	32,12	33,08
35	19,38	21,28	23,02	24,6	26,08	27,64	28,7	29,91	31,02	32,1	33,12	34,08
влажност % температура °C	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2, ЛР4, ЛР23, ЛР30

Лабораторная работа № 3

Тема: Определение поверхностного натяжения жидкости.

Цель занятия: научиться определять поверхностное натяжение воды методом отрыва рамки.

Перед началом занятия необходимо знать: определение и формулу поверхностного натяжения воды методом отрыва рамки.

После занятия необходимо уметь: определять коэффициент поверхностного натяжения с использованием формулы поверхностного натяжения.

Оборудование: компьютер, Интернет, инструкционная карта.

Содержание и теория.

У всякой жидкости – существование свободной поверхности. Молекулярное давление направлено внутрь жидкости, перпендикулярно к свободной поверхности.

Силы поверхностного натяжения в любой точке поверхности направлены по касательной к ней и по нормали к любому элементу линии, мысленно проведенной на поверхности жидкости.

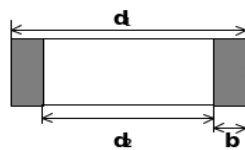
Коэффициент поверхностного натяжения численно равен силе поверхностного натяжения, действующей на единицу длины линии,

разделяющей поверхность на части:
$$\sigma = \frac{F}{L} \quad (1)$$

В системе СИ коэффициент поверхностного натяжения σ измеряется в Н/м.

Коэффициент поверхностного натяжения зависит от природы жидкости. А зависит также от того, какая среда находится над свободной поверхностью жидкости. Следствием силы поверхностного натяжения, действующей на единицу площади поверхностного слоя, является молекулярное давление. Коэффициент поверхностного натяжения можно определить путем измерения силы, которую нужно приложить перпендикулярно к поверхности жидкости для отрыва различных твердых тел от этой поверхности. Если сила, действующая на тело, равна по величине силе поверхностного натяжения, то тело оторвется.

Одним из способов измерения коэффициента σ является метод отрыва кольца. Кольцо, изготовленное из материала, хорошо смачиваемого жидкостью, приводится в соприкосновение с её поверхностью. Рассмотрим кольцо с внешним диаметром d_1 и внутренним диаметром d_2 , касающееся поверхности жидкости. Толщина кольца b .



При поднятии кольца с поверхности происходит разрыв поверхности жидкости по кромкам кольца. Длина границы перед отрывом кольца, по которой происходит разрыв поверхности, составляет

$$L = \pi(d_1 + d_2) = \pi(d_1 + (d_1 - b)) = 2\pi(d_1 - b) = 2\pi(d_2 + b) \quad (2)$$

Измерить силу F , необходимую для отрыва кольца, можно по

формуле:
$$\bar{F} = \bar{k} \cdot \bar{\Delta x} \quad (3),$$

где $\bar{\Delta x}$ – среднее удлинение пружины в момент отрыва кольца.

Принципиальная схема установки для определения коэффициента поверхностного натяжения изображена на рис. 1.

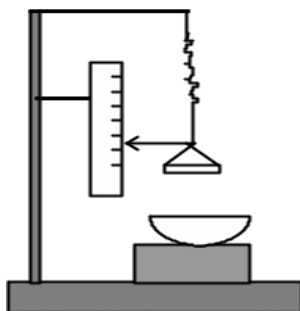
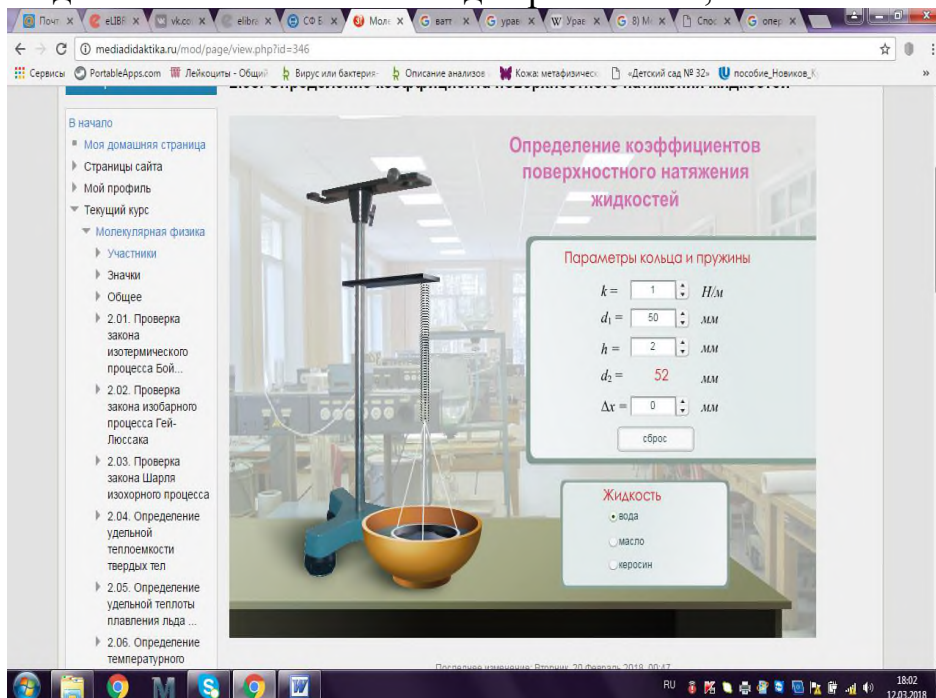


Рис. 1. Схема установки

К пружине подвешивается металлическое кольцо. Перед началом каждого опыта кольцо протирают и просушивают. Вращением винта опускаем кольцо до соприкосновения с поверхностью жидкости, при этом нужно следить, чтобы жидкости не касался столик для разновесов, вписанный в кольцо.



Описание установки виртуальной лабораторной работы

Экспериментальная установка представлена на рисунке. В правом нижнем углу дана панель «жидкость», на которой можно выбрать род жидкости. Посередине, находится панель «параметры пружины и кольца». На ней

можно менять коэффициент жесткости пружины, диаметр кольца и толщину кольца. Наведя на кольцо и удерживая правую кнопку мыши можно привести в движения кольца. Для того, чтоб прийти в исходное положения необходимо нажать на кнопку «сброс». Используя представленную установку, достигается цель поставленной лабораторной работы.

План выполнения работы

1. Перейдите по ссылке <https://www.youtube.com/watch?v=9pcaBm2IJf8> и просмотрите видеоурок который пояснит, каким образом проводится лабораторная работа в реальных условиях.
2. Перейдите на сайт efizika.ru и выполняйте последовательность действий, описанных ниже.

Задание. Определение поверхностного натяжения воды, масла, керосина.

1. Запустить виртуальный стенд
2. Выбрать исследуемую жидкость из трех возможных: вода, масло, керосин.

3. Установить параметры кольца и пружины: жесткость k , внутренний диаметр d_1 , толщину кольца h (выбор данных величин на ваше усмотрение)
4. Определить длину границы разрыва по одному из равенств в формуле (2)
5. Привести кольцо в соприкосновение с жидкостью $\Delta x = 0$.
6. Медленно поднимать кольцо, придавая приращение сжатию пружины $\Delta x \neq 0$. Зафиксировать показание Δx в момент отрыва кольца.
7. Нажать кнопку «сброс». Провести опыт 3–5 раз.
8. Рассчитать среднюю силу упругости, которая в момент отрыва кольца равна силе поверхностного натяжения по формуле (3)
9. Рассчитайте коэффициент поверхностного натяжения по формуле (1).
10. Результаты измерений занесите в таблицу (расчеты ниже записаны должны обязательно).
11. Рассчитать погрешность измерений.

№ п/п	жидкость	k , Н/м	d_1 , м	d_2 , м	h , м	Δx , м	$\overline{\Delta x}$, м	L , м	$\overline{F}$, Н	$\overline{\sigma}$, Н/м	σ_t , Н/м	$\Delta \sigma$, Н/м	ε_σ , %
1													
2													
3													

12. Сформулировать выводы.

Контрольные вопросы

1. В какую сторону действует сила поверхностного натяжения?
2. Объяснить явление поверхностного натяжения. Что называется коэффициентом поверхностного натяжения?
3. Какие косвенные методы определения коэффициента поверхностного натяжения Вы знаете, их суть?
4. Объясните поднятие и опускание жидкостей в капиллярных трубках, можно ли определить σ , используя капиллярные трубки и как?

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2, ЛР4, ЛР23, ЛР30

Лабораторная работа № 4

Тема: Измерение электроемкости плоского конденсатора

Цель работы: определение ёмкости плоского конденсатора и батареи из соединении конденсатора при последовательном соединении.

Приборы и принадлежности: Используемая платформа

(<https://phet.colorado.edu/en/simulations/filter?subjects=physics&type=html&sort=alpha&view=grid>) конденсатор известной ёмкости (эталонный), вольтметр, реостат, источник напряжения, двойной переключатель, ключ, соединительные провода.

Краткое теоретическое введение

Система, состоящая из двух проводников, разделенных слоем диэлектрика и расположенных на малом расстоянии друг от друга так, что электрическое поле заключено только в пространстве между проводниками, называется конденсатором. Электроёмкостью конденсатора называется величина, численно равная отношению заряда q , находящегося на одной из обкладок, к разности потенциалов между этими обкладками

$$C = \frac{q}{U} \quad (1).$$

Единица измерения $[U] = [\text{Фадар}] = [\Phi]$.

Электроёмкость зависит от формы, размеров конденсатора, материала диэлектрика и его температуры. Так ёмкость плоского конденсатора можно вычислить по формуле

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d} \quad (2),$$

где S – площадь обкладок, а d – расстояние между обкладками, причем предполагается, что выполняется соотношение $\sqrt{S} \gg a$.

Электроёмкость цилиндрического конденсатора вычисляют по формуле

$$C = \frac{2 \pi \varepsilon \varepsilon_0 l}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)} \quad (3)$$

где l – длина образующей цилиндра; r_1 и r_2 – радиусы соответственно внутренней и внешней обкладок;

Несколько конденсаторов можно соединить в батарею. При параллельном соединении ёмкость батареи равна сумме ёмкостей каждого из конденсаторов

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \quad (4).$$

При последовательном соединении ёмкость батареи рассчитывают по формуле

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (5).$$

Она зависит только от геометрических характеристик конденсатора: площади обкладок и расстояния между ними. Предположим теперь, что пространство между обкладками заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε . Как изменится ёмкость конденсатора? Напряжённость поля внутри конденсатора уменьшится в ε раз, поэтому напряжённость поля внутри конденсатора будет иметь следующую формулу

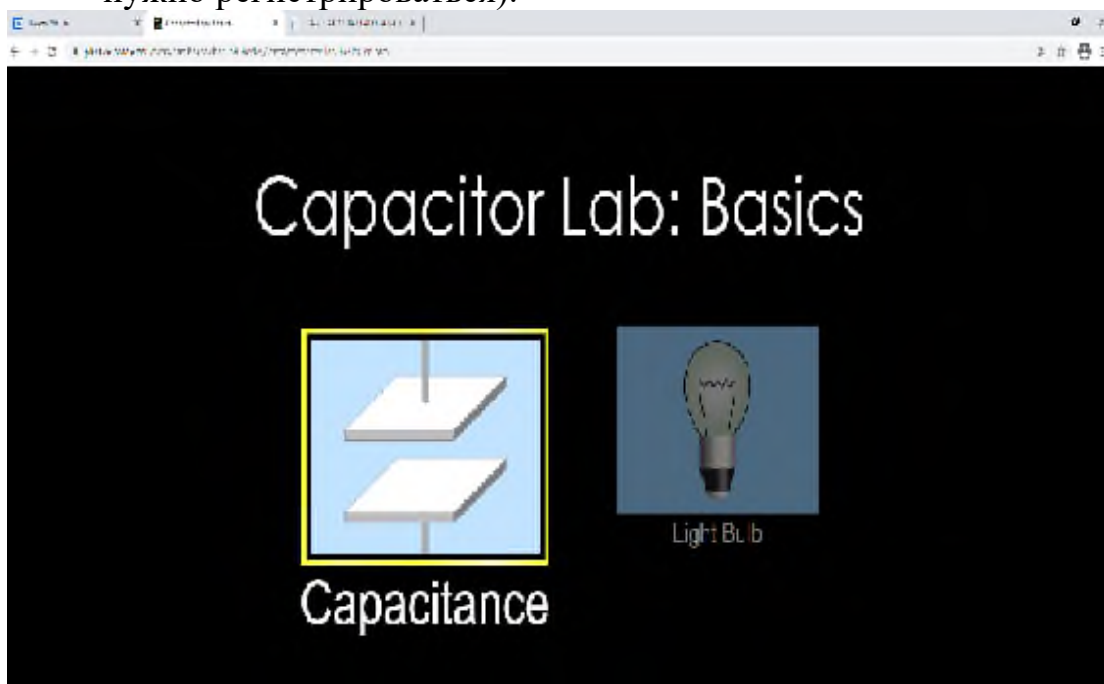
$$E = \frac{q}{\varepsilon \varepsilon_0 S} \quad (6)$$

Как любой проводник, несущий заряд, конденсатор имеет энергию, которую находят по формуле

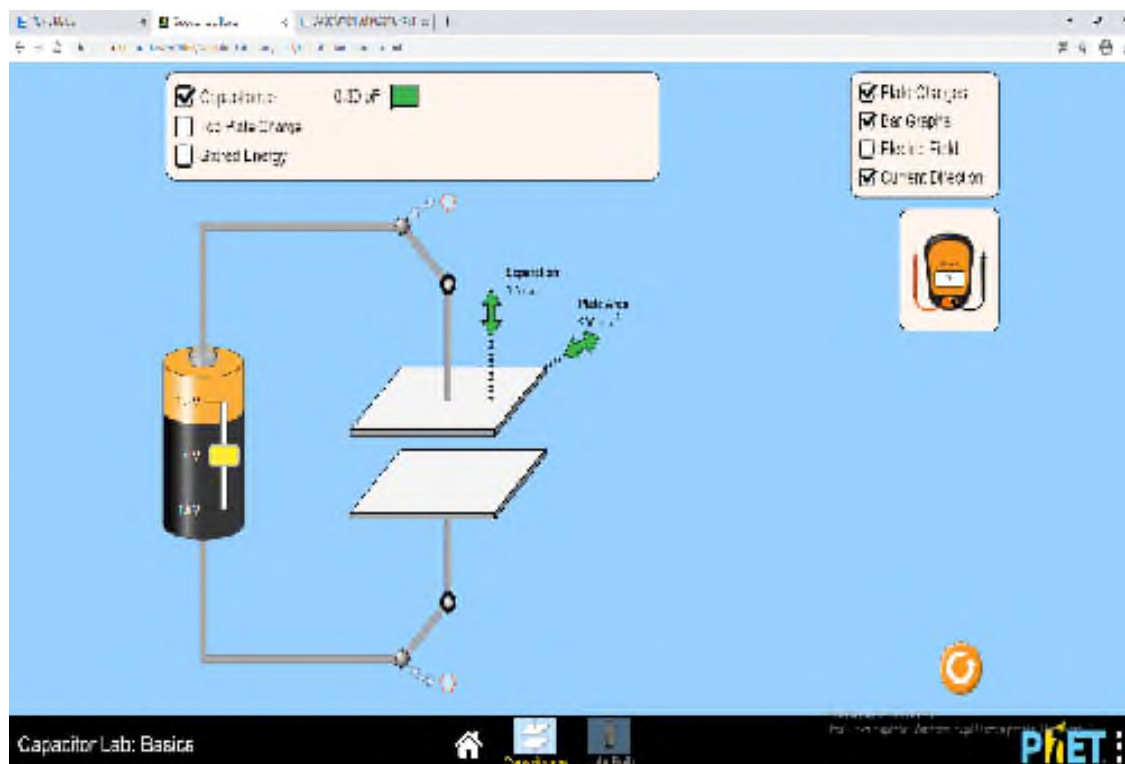
$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} \quad (7).$$

Последовательность выполнения работы:

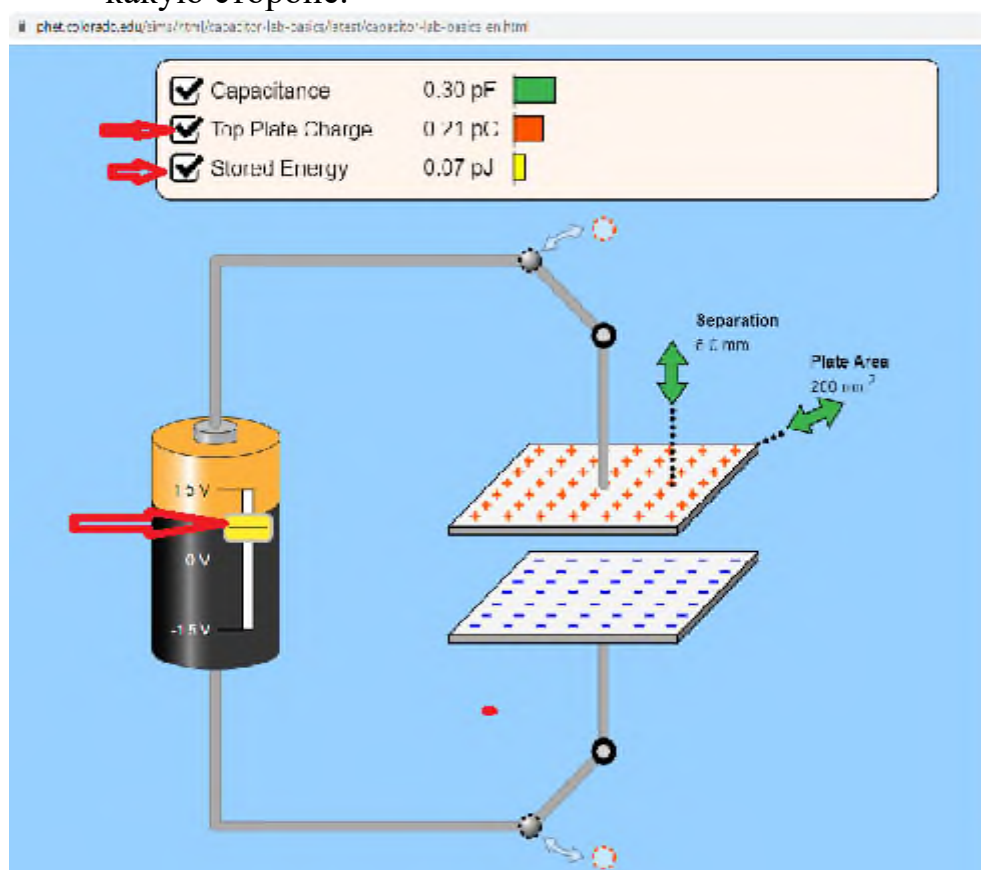
1. Заходим на платформу через ссылку: https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_en.html (можно через любой гаджеты, не нужно регистрироваться).



2. Нажимаем клавишей рисунку плоский конденсатор (Capacitance).
3. На экран выходить следующая диалоговая окно.



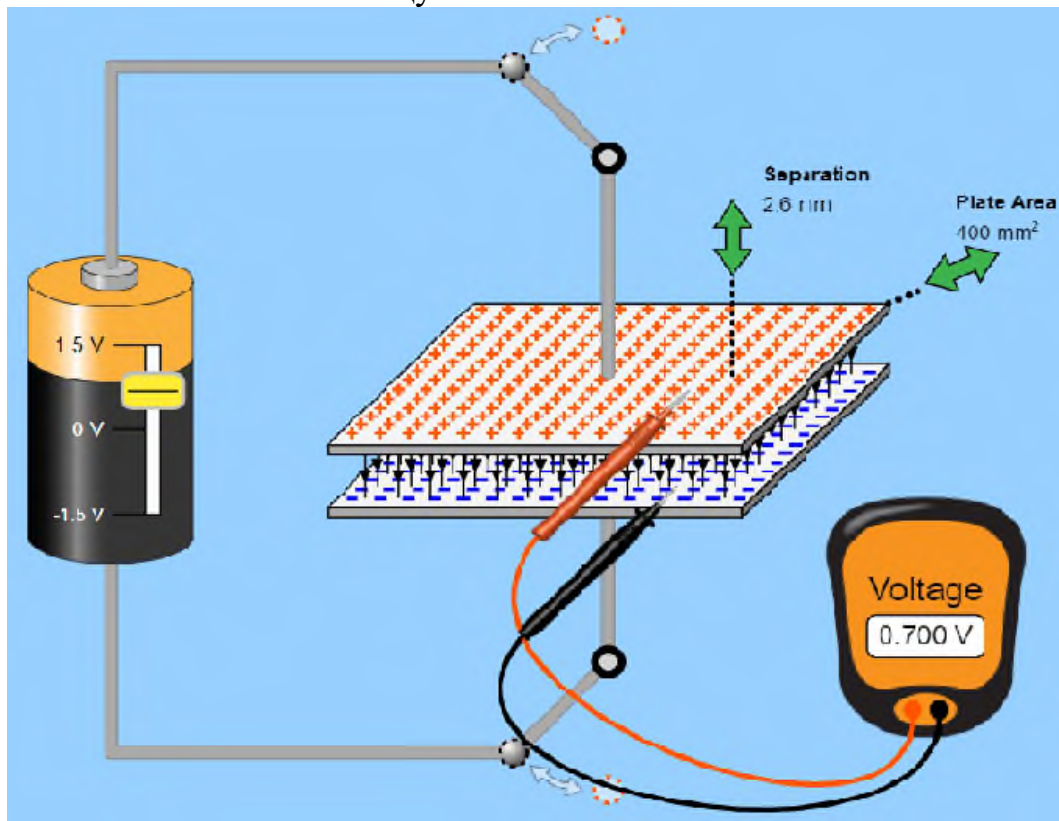
4. Нажимаем в левой стороне галочки и передвигаем стрелку на батареи на какую стороне.



5. Изменить площадь и расстояние между обкладками. (Значение написать в таблицу)

6. Через мультиметр (вольтметр) измерить напряжение (разность потенциалов) между обкладками. Измеряем через простеньких "щупов" (красный и черный)

проводов). Красный ставим на “+” обкладку, а черный в “-“ обкладку. И значение пишем в таблицу.



7.Используя формулы (2) и (1), (6), (7) нужно найти электроёмкость плоского конденсатора и заряд обкладки конденсатора, энергию конденсатора и заполнить таблицу 1.

8.Расчеты нужно повторить три раза из пункта 5-7.

9.Рассчитать среднее значение C_{cp} , среднюю абсолютную ΔC_{cp} и относительную с погрешности определения одной из ёмкостей по формулам

$$C_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (6)$$

$$|\Delta C_{cp}| = |C_i - C_{cp}| \quad (7)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta C_{cp}}{C_{cp}} * 100\% \quad (8).$$

10.Результаты расчета занести в таблицу 1.

Таблица 1.

№	S (м²)	d (м)	C (Ф)	E (В/м)	W (Дж)	C _{cp}	ΔC _{cp}	ε
1								
2								
3								

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение электроёмкости проводника. В каких единицах измеряется электроёмкость?
2. Запишите формулу электроёмкости сферического проводника.
3. От чего зависит электроёмкость проводника?
4. Что такое конденсатор?
5. Дайте определение электроёмкости конденсатора.
6. От чего зависит электроёмкость конденсатора?
7. Запишите формулу электроёмкости плоского, цилиндрического, сферического конденсаторов.
8. Выведите формулу электроёмкости плоского, цилиндрического, сферического конденсаторов.
9. Запишите формулу для вычисления суммарной ёмкости батареи конденсаторов при их последовательном и параллельном соединении.
10. Выведите формулу для вычисления суммарной ёмкости батареи конденсаторов при их последовательном и параллельном соединении.

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2, ЛР4, ЛР23, ЛР30

Лабораторная работа № 5

Тема: Изучение законов последовательного и параллельного соединения проводников

Цель работы: ознакомиться с различными методами измерения сопротивления, измерить величины неизвестных сопротивлений, проверить законы последовательного и параллельного соединения сопротивлений.

Приборы и принадлежности: реохорд, магазин сопротивлений, резисторы с неизвестным сопротивлением, гальванометр, источник тока, ключ, реостат.

Краткая теория

В физике различают проводники первого и второго рода. Прохождение тока в проводниках первого рода не связано с изменением их химической природы и заметным переносом вещества. К ним относятся все металлы.

В проводниках второго рода прохождение тока связано с химическими изменениями, ведущими к выделению составляющих эти проводники веществ в

местах их соприкосновения с другими проводниками. Расплавленные соли, растворы солей, кислот, щелочей являются проводниками второго рода.

Если в однородном участке цепи создать электрическое поле, то в этом участке возникает электрический ток. Созданное поле характеризуется напряжением U , приложенным к участку цепи.

В результате опытов Ом установил, что при постоянной температуре отношение напряжения U на концах проводника к силе тока I в нем является постоянной величиной:

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

Эту величину называют электрическим сопротивлением R участка цепи (проводника). Согласно электронной теории, сопротивление металлических проводников электрическому току возникает вследствие того, что носители тока – электроны проводимости – при своем движении испытывают соударения с ионами кристаллической решетки. При этом движущиеся электроны передают ионам часть своей энергии, приобретенной при свободном пробеге в электрическом поле. Энергия, переданная ионам, превращается в энергию беспорядочного колебания ионов, т. е. во внутреннюю энергию. Различие в сопротивлении различных металлов объясняется различием средних свободных пробегов электронов и количества свободных электронов в единице объема металла.

Единицей сопротивления в системе СИ является ом (Ом), равный сопротивлению такого проводника, в котором при напряжении 1 В течет ток силой 1 А. Величина, обратная сопротивлению, называется проводимостью. Единицей проводимости является величина, обратная ому, – сименс (См).

Для однородного цилиндрического проводника сопротивление определяется по формуле:

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

где l – длина проводника; S – площадь поперечного сечения проводника; ρ – удельное сопротивление материала, из которого изготовлен проводник.

Числовое значение удельного сопротивления ρ равно сопротивлению проводника длиной 1 м, а площадь поперечного сечения равна 1 м². Единица удельного сопротивления носит название «ом – метр» (Ом*м). Величина, обратная удельному сопротивлению, называется удельной проводимостью материала:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Единица удельной проводимости – «сименс на метр» (См/м).

Наличие примесей в металлическом проводнике увеличивает его удельное сопротивление. В тех случаях, где требуется малое сопротивление проводов, применяются чистые металлы. Металлические сплавы применяются для получения больших значений сопротивлений.

Сопротивление проводников изменяется при изменении их температуры. При увеличении температуры сопротивление металлических проводников увеличивается. Зависимость удельного сопротивления от температуры характеризуется температурным коэффициентом сопротивления α данного вещества: $\alpha = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dt}$

Для многих проводников (в т. ч. металлов) при небольших интервалах температуры зависимость удельного сопротивления ρ от температуры описывается линейным законом:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t),$$

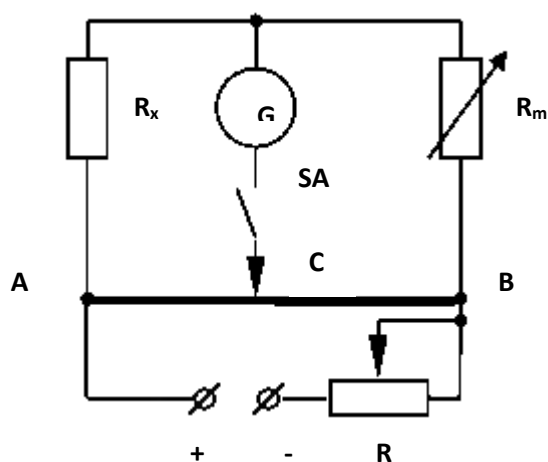
где ρ_0 – удельное сопротивление при 0°C ; t – температура проводника, $^\circ\text{C}$; α – средний температурный коэффициент сопротивления для определенного интервала температур.

Для точных измерений пользуются методами, сводящимися к сравнению измеряемого сопротивления со стандартными (эталоны). Одним из них является метод моста постоянного тока (мостик Уитстона). Принципиальная схема метода моста была рассмотрена выше.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Измерение сопротивления резистора с помощью моста Уитстона.

1. Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рис. 1.
2. Поставить движок C реохорда AB в среднее положение.
3. Сбалансировать мост подбором сопротивлений R_m , так чтобы показания гальванометра оказались равными нулю. Значения R_m , L_1 , L_2 записать в табл. 1.



4. Найти неизвестное сопротивление по формуле:

$$R_x = R_m \frac{L_1}{L_2}$$

5. где L_1 и L_2 – длина проволоки реохорда на участках АС и СВ соответственно ($L_1=AC$, $L_2=CB$). Результат занести в табл. 2.
6. Повторить измерения указанные в пп. 3, 3 еще два раза, сместив движок реохорда вправо и влево от среднего положения.
7. Вычислить среднее значение измеренного резистора.

Таблица 1

№	R_m , Ом	L_1 , м	L_2 , м	R_1 , Ом	$\overline{R_1}$, Ом

8. Аналогично измерить сопротивление второго резистора и записать окончательные результаты в табл. 2.

Таблица 2

№	R_m , Ом	L_1 , м	L_2 , м	R_2 , Ом	$\overline{R_2}$, Ом

Задание 2. Проверка законов последовательного и параллельного соединений резисторов.

1. Пользуясь формулами последовательного и параллельного соединений, рассчитать общее сопротивление резисторов, измеренных в задании 2.

2. Сравнить измеренные значения R_{noc} и R_{nap} с вычисленными. Сделать вывод о выполняемости законов последовательного и параллельного соединений резисторов.

Таблица 3.

№	R_m , Ом	L_1 , м	L_2 , м	$R_{nap_э}$, Ом	R_{nap} , Ом	$R_{nap_т}$, Ом

Таблица 4

№	R_m , Ом	L_1 , м	L_2 , м	$R_{noc_э}$, Ом	R_{noc} , Ом	$R_{noc_т}$, Ом

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия простейшего омметра.
2. В чем конструктивное отличие амперметра, вольтметра, гальванометра магнитоэлектрической системы?
3. Какими преимуществами обладает метод определения сопротивления мостом Уитстона по сравнению с методом амперметра и вольтметра?
4. Почему ошибка измерений мостом Уитстона меньше, если сопротивление R_x и R_m близки друг к другу?
5. Почему большинство гальванометров имеет шкалу с нулем посередине?
6. Можно ли в схеме моста Уитстона производить измерения, поменяв местами гальванометр и источник тока?
7. Нарушается ли равновесие моста Уитстона, если изменить величину напряжения источника тока?
8. Вывести условия равновесия моста Уитстона, используя законы Кирхгофа.

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2, ЛР4, ЛР23, ЛР30

Инструкционная карта к лабораторной работе № 6

Тема занятия: измерить ЭДС и определение внутреннего сопротивления источника тока.

Цель занятия: научиться экспериментально, измерять ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

Перед началом занятия необходимо знать. Закон Ома для участка цепи, закон Ома для полной цепи, как подключаются в цепь приборы измерения силы тока и напряжения, технику безопасности при работе с электрическими цепями.

После окончания занятия необходимо уметь. Собирать электрические цепи параллельно соединённых проводников, снимать показания приборов, рассчитывать полное сопротивление параллельно соединённых проводников.

Оборудование: компьютер, Интернет, инструкционная карта.

Содержание и теория.

Возникновение разности потенциалов на полюсах любого источника является результатом разделения в нем положительных и отрицательных зарядов. Это разделение происходит благодаря работе, совершаемой сторонними силами.

Силы неэлектрического происхождения, действующие на свободные носители заряда со стороны источников тока, называются сторонними силами.

При перемещении электрических зарядов по цепи постоянного тока сторонние силы, действующие внутри источников тока, совершают работу.

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

$$\mathcal{E} = \varepsilon = \frac{A_{ст}}{q}$$

ЭДС определяется работой, совершаемой сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда. Электродвижущая сила, как и разность потенциалов, измеряется в вольтах. Чтобы измерить ЭДС источника, надо присоединить к нему вольтметр при разомкнутой цепи.

Источник тока является проводником и всегда имеет некоторое сопротивление, поэтому ток выделяет в нем тепло. Это сопротивление называют внутренним сопротивлением источника и обозначают r .

Если цепь разомкнута, то работа сторонних сил превращается в потенциальную энергию источника тока. При замкнутой цепи эта потенциальная энергия расходуется на работу по перемещению зарядов во внешней цепи с сопротивлением R и во внутренней части цепи с сопротивлением r , т.е. $\varepsilon = IR + Ir$.

Если цепь состоит из внешней части сопротивлением R и внутренней сопротивлением r , то, согласно закону сохранения энергии, ЭДС источника будет равна сумме напряжений на внешнем и внутреннем участках цепи, т.к. при перемещении по замкнутой цепи заряд возвращается в исходное положение $\varepsilon = IR + Ir$, где IR – напряжение на внешнем участке цепи, а Ir – напряжение на внутреннем участке цепи.

Таким образом, для участка цепи, содержащего ЭДС:

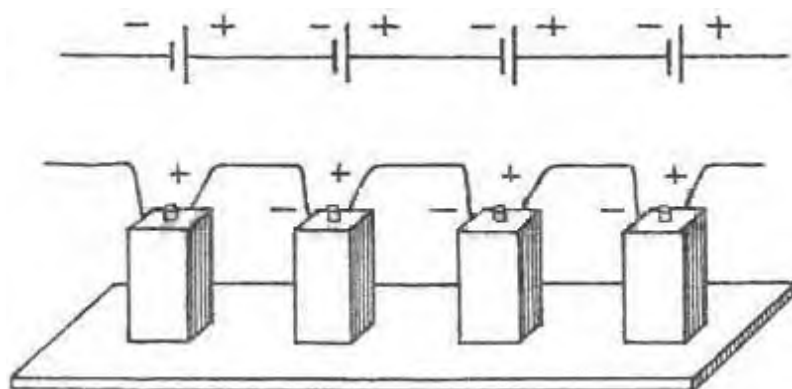
$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Эта формула выражает закон Ома для полной цепи: сила тока в полной цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе источника и обратно пропорциональна сумме сопротивлений внешнего и внутреннего участков цепи.

Часто источники электрической энергии соединяют между собой для питания цепи. Соединение источников в батарею может быть последовательным и параллельным.

При последовательном соединении два соседних источника соединяются разноименными полюсами.

Получившаяся при последовательном соединении аккумуляторная батарея имеет ту же емкость, что и у одиночного аккумулятора, а напряжение такой аккумуляторной батареи равно сумме напряжений входящих в нее аккумуляторов. Т.е. если аккумуляторы имеют одинаковые напряжения, то напряжение батареи равно напряжению одного аккумулятора, умноженному на количество аккумуляторов в аккумуляторной батарее.

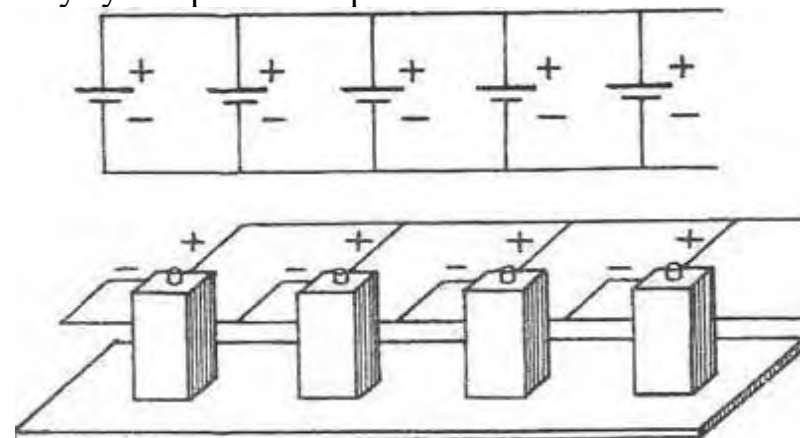


1. ЭДС батареи равна сумме ЭДС отдельных источников $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$
2. Общее сопротивление батареи источников равно сумме внутренних сопротивлений отдельных источников $r_{\text{батареи}} = r_1 + r_2 + r_3$
Если в батарею соединены n одинаковых источников, то ЭДС батареи $\mathcal{E} = n\mathcal{E}_1$, а сопротивление $r_{\text{батареи}} = nr_1$

3. Сила тока в такой цепи по закону Ома
$$I = \frac{n\mathcal{E}}{R + nr}$$

При параллельном соединении соединяют между собой все положительные и все отрицательные полюсы двух или n источников.

Параллельно соединяют только источники с одинаковой ЭДС. Получившаяся при параллельном соединении аккумуляторная батарея имеет то же напряжение, что и у одиночного аккумулятора, а емкость такой аккумуляторной батареи равна сумме емкостей входящих в нее аккумуляторов. Т.е. если аккумуляторы имеют одинаковые емкости, то емкость аккумуляторной батареи равна емкости одного аккумулятора, умноженной на количество аккумуляторов в батарее.



1. ЭДС батареи одинаковых источников равна ЭДС одного источника. $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_3$
2. Сопротивление батареи меньше, чем сопротивление одного источника $r_{\text{батареи}} = r_1/n$

3. Сила тока в такой цепи по закону Ома
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r/n}$$

Электрическая энергия, накопленная в аккумуляторной батарее равна сумме энергий отдельных аккумуляторов (произведению энергий отдельных

аккумуляторов, если аккумуляторы одинаковые), независимо от того, как соединены аккумуляторы - параллельно или последовательно.

Внутреннее сопротивление аккумуляторов, изготовленных по одной технологии, примерно обратно пропорционально емкости аккумулятора. Поэтому т.к. при параллельном соединении емкость аккумуляторной батареи равна сумме емкостей входящих в нее аккумуляторов, т.е. увеличивается, то внутреннее сопротивление уменьшается.

$$\text{Отсюда } \varepsilon = I_1 R_1 + I_1 r \quad \varepsilon = I_2 R_2 + I_2 r$$

Поскольку $I_1 R_1 = U_1$ и $I_2 R_2 = U_2$, то

$$U_1 + I_1 r = U_2 + I_2 r \quad \text{или} \quad I_1 r - I_2 r = U_2 - U_1$$

Отсюда следует, что внутреннее сопротивление источника

$$r = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} \quad (1)$$

а ЭДС будет $-\varepsilon = U_1 + I_1 r \quad (2)$

Описание установки виртуальной лабораторной работы



Экспериментальная установка представлена на рисунке. В левом верхнем углу представлена панель «источник тока», на которой можно выбрать один из пяти источников тока. Внизу расположен ключ, который необходимо будет замыкать после эксперимента.

В крайнем нижнем правом углу расположен реостат.

Можно перемещать ползунок и менять значение сопротивления. Используя представленную установку, достигается цель поставленной лабораторной работы.

План выполнения работы

1. Перейдите по ссылке <https://www.youtube.com/watch?v=H8F2aQzK7j0> просмотрите видеоурок который пояснит, каким образом проводится лабораторная работа в реальных условиях.

2. Перейдите на сайт efizika.ru и выполняйте последовательность действий, описанных ниже.

1.Задание. Рассчитайте ЭДС и внутреннее сопротивление цепи.

1. Запустить виртуальный стенд
2. Выберите источник тока 1.
3. Курсором наводим на ключ и замыкаем цепь.
4. Курсором наводим на реостат, двигаем ползунок реостата.
5. Установите ползунок реостата приблизительно в среднее положение, измерьте силу тока I_1 и напряжение U_1 , занесите в таблицу 1.
6. Передвиньте ползунок реостата, измерьте силу тока I_2 и напряжение U_2 , занесите в таблицу 1.
7. Вычислите внутреннее сопротивление r и ЭДС $\mathcal{E}$ источника тока по формулам (1) и (2)
8. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 1.
9. Выполните такие же действия для источников тока 2,3,4,5.

Таблица 1.

N п/п	$\mathcal{E}_{\text{изм.}}, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$r, \text{Ом}$	$\mathcal{E}_{\text{выч.}}, \text{В}$

10.Сделать вывод.

Контрольные вопросы.

- 1.Почему показания вольтметра при разомкнутом и замкнутом ключе различны?
- 2.Как повысить точность измерения ЭДС источника тока?
- 3.Можете ли вы предложить другие способы измерения ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока?

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2, ЛР4, ЛР23, ЛР30

Инструкционная карта к лабораторной работе № 7

Тема занятия: определение удельного сопротивления проводника

Цель занятия: определение удельного электрического сопротивления резисторного провода по техническому методу.

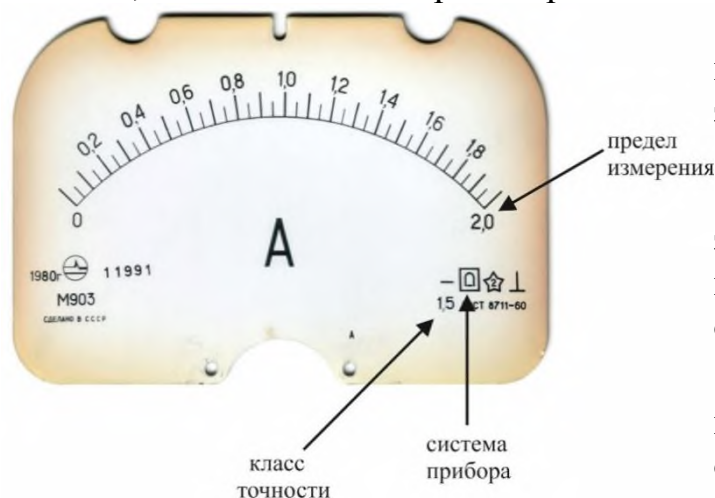
Перед началом занятия необходимо знать: что такое удельное сопротивление и от чего оно зависит; знать принцип действие измерительных приборов.

После окончания занятия необходимо уметь: вычислять удельное сопротивление проводников для различных металлов.

Оборудование: компьютер, Интернет, инструкционная карта.

Содержание и теория.

Класс устройств, которые применяются для измерения электрических величин, называются электроизмерительными приборами.



Существуют большое количество различных электроизмерительных приборов.

По принципу действия электроизмерительные приборы подразделяются на следующие основные типы:

1. Приборы магнитоэлектрической системы $\square$, основанные на принципе взаимодействия катушки с током и внешнего магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом.

2. Приборы электродинамической системы $\equiv$, основанные на принципе электродинамического взаимодействия двух катушек с токами, из которых одна неподвижна, а другая подвижна.

3. Приборы электромагнитной системы $\text{---} \text{---} \text{---}$, в которых используется принцип взаимодействия магнитного поля неподвижной катушки с током и подвижной железной пластинки, намагниченной этим полем.

4. Тепловые измерительные приборы, использующие тепловое действие электрического тока. Нагретая током проволока удлиняется, провисает, и вследствие этого подвижная часть прибора получает возможность повернуться под действием пружины, выбирающей образовавшуюся слабину проволоки.

5. Приборы индукционной системы $\odot$, основанные на принципе взаимодействия вращающегося магнитного поля с токами, индуцированными этим полем в подвижном металлическом цилиндре.

6. Приборы электростатической системы --- , основанные на принципе взаимодействия подвижных и неподвижных металлических пластин, заряженных разноименными электрическими зарядами.

7. Приборы термоэлектрической системы, представляющие собой совокупность термопары с каким-либо чувствительным прибором, например магнитоэлектрической системы. Измеряемый ток, проходя через термопару, способствует возникновению термотока, воздействующего на магнитоэлектрический прибор.

8. Приборы вибрационной системы, основанные на принципе механического резонанса вибрирующих тел. При заданной частоте тока наиболее интенсивно вибрирует тот из якорьков электромагнита, период собственных колебаний которого совпадает с периодом навязанных колебаний.

9. Электронные измерительные приборы - приборы, измерительные цепи которых содержат электронные элементы. Они используются для измерений практически всех электрических величин, а также неэлектрических величин, предварительно преобразованных в электрические.

По типу отсчетного устройства различают аналоговые и цифровые приборы.

Характеристики электроизмерительных приборов.

Пределом измерения электроизмерительного прибора называется максимальное значение измеряемой физической величины x_{max} , которое вызывает отклонение указателя шкалы прибора на всю шкалу.

Чувствительность S – это способность прибора реагировать на изменение измеряемой величины, т.е. величина, которая показывает, на сколько делений Δn перемещается указатель прибора при изменении значения измеряемой величины Δx на единицу:

$$S = \frac{\Delta n}{\Delta x}.$$

Единицы измерения чувствительности зависят от рода измеряемой величины (дел/В, дел/А и т.д.).

Цена деления численно равна значению измеряемой величины x , вызвавшей отклонение указателя прибора на одно деление шкалы:

$$C = \frac{x}{n}.$$

Цена деления измеряется в В/дел., А/дел. и т.д. Цена деления – это количество измеряемой величины, приходящееся на одно деление шкалы прибора.

Приведенной погрешностью прибора называется отношение абсолютной погрешности к наибольшему возможному отклонению показателя прибора (номинальному показанию прибора):

$$\gamma = \pm \left(\frac{\Delta x}{x_{max}} \right) \cdot 100\%.$$

В данной работе находится удельное сопротивление проводника. Электрическое сопротивление характеризует противодействие проводника протеканию тока.

Для постоянного тока согласно закону Ома $R = \frac{U}{I}$

Для однородного проводника с поперечным сечением S и длиной l $R = \rho \frac{l}{S}$

откуда получим $\rho = \frac{R \cdot S}{l}$. (1)

Удельное электрическое сопротивление ρ является характеристикой материала проводника. Оно также зависит и от температуры проводника, согласно закону:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t),$$

где ρ_0 и ρ - соответственно удельные сопротивления при температурах 0°C и $t^\circ\text{C}$, α – температурный коэффициент сопротивления. Для металлов $\alpha > 0$, т.е. с повышением температуры сопротивление металлов увеличивается.

Удельное сопротивление резисторного провода на основании определится следующим образом:

$$\rho = \frac{R_p \cdot S}{l}$$



Подставляя в это выражение (5) и (6), получим:

$$\rho = \frac{R_p \cdot S}{l} = S \left(\frac{U_B - I_A R_A}{I_A \cdot l} \right) \quad (2)$$

Описание установки виртуальной лабораторной работы

Экспериментальная установка представлена на рисунке. В левом нижнем углу расположена панель «параметры установки», можно установить следующие параметры такие, как длину активной части проводника, его диаметр, внутреннее сопротивление амперметра, произвольно. Справа расположена панель «материал проводника», по которой можно выбрать материал: нихром, фехрель, манганин, константан. С помощью панели «линейка» можно измерить длину проводника. Используя представленную установку, достигается цель поставленной лабораторной работы.

План выполнения работы

1. Перейдите по ссылке <https://www.youtube.com/watch?v=g8ZvZSwnAmM> просмотрите видеурок который пояснит, каким образом проводится лабораторная работа в реальных условиях.
2. Перейдите на сайт efizika.ru и выполняйте последовательность действий, описанных ниже.

1. Задание. Рассчитайте удельное сопротивление нихрома, фехрель, манганина, константана.

1. Запустить виртуальный стенд, выберите материал проводника нихром.
2. Установить, в соответствии, с вариантом совпадающем с последней цифрой по списку группы, он находится в конце документа, длину активной части проводника l , его диаметр d , а также внутреннее сопротивление амперметра R_A . Занести эти данные в таблицу 1.
3. При помощи регулятора тока установить произвольное значение силы тока I_A . Записать в таблицу 1 соответствующее ему напряжение U_B .

3. Аналогичные измерения, описанные в п.3, провести для нескольких значений силы тока.

4. По данным таблицы 1 рассчитать величину удельного сопротивления проводника по формуле (2).

5. Рассчитать абсолютную и относительные погрешности измерений (приложение 1).

6. Выполнить аналогичные действия для фехрель, манганина, константана.

Таблица 1

№	I , А	U , В	ρ , Ом·мм ² /м	Параметры
1				диаметр проводника: $d = \dots$ мм длина активной части: $l = \dots$ м площадь сечения проволоки: $S = \frac{\pi d^2}{4} = \dots$ мм ² внутренне сопротивление амперметра $R_A = \dots$ А
2				
3				
среднее				

6. Сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. От каких величин зависит электрическое сопротивление проводника?

2. Укажите формулу для расчета сопротивления по размерам проводника.

3. От каких величин зависит удельное сопротивление проводника?

4. Назовите методы измерений сопротивления проводника.

5. Запишите формулы для определения сопротивления проводника в техническом методе? Какие величины измеряют в этом методе?

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2, ЛР4, ЛР23, ЛР30

Лабораторная работа № 8

Тема: Исследование зависимости температуры нити лампы накаливания от напряжения на её зажимах

Цель работы: при условиях свечения нити накаливания определить ее температуру.

Приборы и принадлежности: лампа накаливания 220 В на подставке, вольтметр 220 В, амперметр 1А, регулируемый источник питания 1 – 220 В, омметр, соединительные провода.

Краткая теория

Экспериментальная проверка наиболее распространенных бытовых ламп накаливания мощностью 25, 40, 60, 75, 100 Вт показывает, что их сопротивление в холодном состоянии при 0 °С составляет 155,5; 103,5; 61,5; 51,5; 40 Ом, а в рабочем — 1936; 1210; 815; 650; 490 Ом, соответственно. Тогда отношение «горячего» сопротивления к «холодному» равняется 12,45; 11,7; 13,25; 12,62; 12,4, а в среднем оно составляет 12,5. Лампы накаливания мощностью 100 Вт с 2010г. не выпускаются.

В результате лампа накаливания при включении работает в экстремальных условиях при токах, которые превышают номинальный, что приводит к ускоренному износу нити накала и преждевременному выходу лампы из строя, особенно при превышениях напряжения в питающей сети. Последнее обстоятельство при длительных превышениях напряжения относительно номинального приводит к резкому сокращению срока службы лампы.

Срок службы лампы накаливания колеблется в широких пределах, потому что зависит:

- от качества соединений в электропроводке и светильнике; . от стабильности номинального напряжения;
- от наличия или отсутствия механических воздействий на лампу, толчков, сотрясений, вибраций;
- от температуры окружающей среды;
- от типа примененного выключателя и скорости нарастания величины тока при подаче питания на лампу.

При продолжительной работе лампы накаливания ее нить накала под воздействием высокой температуры нагрева постепенно испаряется, уменьшаясь в диаметре, рвется (перегорает).

Чем выше температура нагрева нити накала, тем больше света излучает лампа. При этом интенсивнее протекает процесс испарения нити, и сокращается срок службы лампы. Поэтому для ламп накаливания устанавливается такая температура накала нити, при которой обеспечивается необходимая светоотдача лампы и определенная продолжительность ее службы.

Средняя продолжительность горения лампы накаливания при расчетном напряжении не превышает 1000 часов. После 750 часов горения световой поток снижается в среднем на 15%.

Лампы накаливания очень чувствительны даже к относительно небольшим повышению напряжения: при повышении напряжения всего на 6% срок службы снижается вдвое. По этой причине лампы накаливания, освещающие лестничные клетки, довольно часто перегорают, так как ночью электросеть мало нагружена и напряжение повышено.

Согласно классической электронной теории металлические проводники имеют кристаллическую структуру. В узлах кристаллической решетки находятся

положительные ионы, а в пространстве между ионами имеются свободные электроны, которые составляют "электронный газ", заполняющий кристаллическую решётку. Свободные электроны, как и молекулы газа, совершают хаотическое беспорядочное движение, скорость которых зависит от температуры. При этом каждый описывает сложную траекторию, подобную траектории молекулы газа или частицы, совершающей броуновское движение (рис. 1).

Вследствие беспорядочности теплового движения количество электронов, движущихся в любом направлении, в среднем всегда равно числу электронов, перемещающихся в противоположном направлении. Поэтому, в отсутствии внешнего поля, суммарный заряд, переносимый электронами в любом направлении, равен нулю, т.е. в металле нет электрического тока. При создании разности потенциалов на концах металлического проводника, в проводнике появляется электрическое поле, под действием которого электроны обретут частично упорядоченное движение в направлении, противоположном направлению поля (т.к. электроны обладают отрицательным зарядом). Поэтому при наличии внешнего поля фактическое движение электронов представляет собой сумму беспорядочного и упорядоченного движений, что приводит к появлению преимущественного направления движения. Количество электронов, движущихся противоположно полю, будет больше количества электронов, перемещающихся в направлении поля, следовательно, возникает перенос электрического заряда в направлении, противоположном полю, который и называют электрическим током. На рис.1б представлена траектория движения электрона в присутствии электрического поля.

При наличии поля на каждый электрон действует сила равная ей, под действием которой электрон движется ускоренно. При своем движении электрон сталкивается с ионами кристаллической решетки. В момент удара электрон отдает часть или всю энергию ионам. После этого снова под действием сил электрического поля ускоряется, увеличивает свою скорость и снова при следующем соударении с ионом отдает свою энергию остову кристаллической решетки.



Рис.1. Траектория движения электрона: а) без поля; б) в электрическом поле напряженностью E .

Энергия, переданная ионам кристаллической решетки, превращается в энергию беспорядочного колебательного движения ионов, т.е. в тепло. Эти столкновения приводят к затруднению направленного движения электронов, к

[illegible]

1. Измерьте электрическое сопротивление нити лампы накаливания при комнатной температуре с помощью омметра.
2. Соберите электрическую цепь согласно схеме:

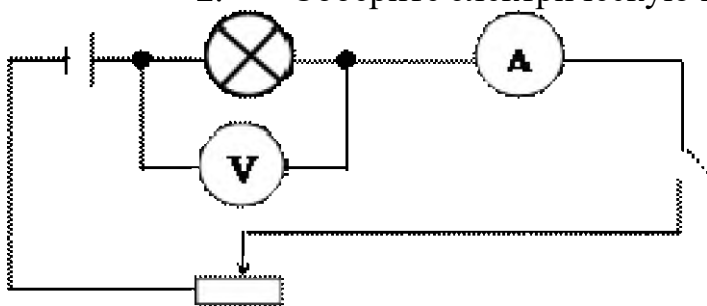


Рис. 2. Схема установки

2. Вычислите значение R_0 электрического сопротивления нити лампы при 0°C . Термический коэффициент α электрического сопротивления вольфрама при значениях температуры, близких к 0°C , равен примерно $4,8 \cdot 10^{-3}^\circ\text{C}^{-1}$.

3. Подключите установку к источнику питания, соблюдая полярность. Измерьте силу тока в цепи при разных значениях U на концах нити накаливания лампы от минимального свечения до максимального. Вычислите электрическое сопротивление R_t нити лампы в нагретом состоянии:

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

4. По найденным значениям электрического сопротивления нити лампы R_0 , R_t и известному значению термического коэффициента электрического сопротивления вольфрама вычислите температуру t нити лампы по формуле $t = \frac{R_t - R_0}{\alpha R_0}$.

5. Оцените границы погрешностей измерений. Результаты измерений и вычислений занесите в отчетную таблицу.

6. Постройте график зависимости температуры нити накаливания от напряжения на ее зажимах.

7. Сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. Почему электрическое сопротивление металлов зависит от температуры?
2. Каковы основные источники погрешностей измерений в данном эксперименте?
3. Почему в данной работе электрическое сопротивление нити лампы при комнатной температуре можно считать приблизительно равным ее электрическому сопротивлению при 0°C ?

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2,

Инструкционная карта к лабораторной работе № 9

Тема занятия: Определение КПД электрического нагревателя воды.

Цель занятия: научиться, экспериментально определять КПД электрического нагревателя воды.

Перед началом занятия необходимо знать: что такое КПД теплового двигателя, по какой формуле он рассчитывается.

После окончания занятия необходимо уметь: рассчитывать КПД электрического нагревателя воды.

Оборудование: компьютер, Интернет, инструкционная карта.

Содержание и теория.

Молекулы состоят из атомов то есть для того чтобы разделить молекулы на атомы надо ослабить силу притяжения атомов и выполнить работу то есть потратить энергию. При объединении атомов в образовании молекул энергия отделяется.

При сгорании топлива отделяется энергия. *Топливом* называется горючее вещество, используемое в качестве источника получения теплоты в энергетических, промышленных и отопительных установках. В зависимости от типа реакций, в результате которых выделяется теплота из топлива, различают *органическое* и *ядерное топливо*.

В органических топливах теплота выделяется в результате химической реакции окисления его горючих частей при участии кислорода, а в ядерных топливах – в результате распада деления ядер тяжелых элементов (урана, плутония и т.д.).

Классификация органических топлив по агрегатному состоянию.

Топливо	Агрегатное состояние		
	Твердое	Жидкое	Газообразное
Природное	Дрова, торф, бурые и каменные угли, антрацит, горючие сланцы	Нефть	Природный газ
Искусственное	Древесный уголь, полукокс, кокс, угольные и торфяные брикеты	Мазут, керосин, бензин, соляровое масло, газойль, печное топливо	Газы нефтяной, коксовый, генераторный, доменный, газ подземной

			газофикации
--	--	--	-------------

Измерение КПД установки с электрическим двигателем. Вы помните, что КПД (коэффициент полезного действия) называется отношение полезной работы к полной работе, выраженное в процентах:

$$\eta = Q_{\text{п}} / A_{\text{з}}, (1)$$

где где $A_{\text{з}}$ – работа тока в водонагревателе за время τ - определяется по формуле:

$$A_{\text{з}} = I \cdot U \cdot \tau, (2)$$

где $Q_{\text{п}}$ – количество теплоты, которое пошло на нагревание калориметра и воды в нём от температуры t_1 до температуры t_2 :

$$Q_{\text{п}} = c_{\text{в}} \cdot m_{\text{в}} \cdot (t_2 - t_1) + c_{\text{к}} \cdot m_{\text{к}} \cdot (t_2 - t_1) (3).$$

После подстановки (2) и (3) в формулу (1), получим значение

$$\eta = \frac{(c_{\text{в}} m_{\text{в}} + c_{\text{к}} m_{\text{к}}) (t_2 - t_1)}{I \cdot U \cdot \tau}.$$

КПД:

Описание установки виртуальной лабораторной работы



Экспериментальная установка представлена на рисунке. В правом нижнем углу представлена панель «параметры калориметра» выбор массу калориметра и массу воды, которая будет в нем. Панель: «материал калориметра» - для выбора материала: медь, алюминий, сталь, железо. Выше есть панель «параметры

воды», где можно выбрать начальную температуры воды и ее объем.

Слева панель «параметра тока в электрической цепи», благодаря которой можно выбрать напряжение, которое создает источник тока. С помощью кнопки «пуск» начнется процесс нагревание воды в калориметре, дождавшись, когда температура достигнет температуры кипения (термометр расположен слева)с

помощью кнопки пауза можно остановить процесс и зафиксировать время, показанное в крайнем нижнем правом углу.

Используя представленную установку, достигается цель поставленной лабораторной работы.

План выполнения работы

1. Перейдите по ссылке <https://www.youtube.com/watch?v=6PlvTC3-ObE> просмотрите видеоурок который пояснит, каким образом проводится лабораторная работа в реальных условиях.
2. Перейдите на сайт efizika.ru и выполняйте последовательность действий, описанных ниже.

1. Задание. Рассчитайте КПД электрического нагревателя воды

1. Запустить виртуальный стенд
2. Выбрать вещество, из которого изготовлен калориметр, его массу и объём воды в соответствии с номером варианта, совпадающем с последней цифрой по списку группы, он находится в конце документа.
3. Выбрать (произвольно) начальную температуру воды и напряжение на источнике тока.
- 3 Значения всех измеренных (заданных) величин записать в таблицу.
- 4 Кнопкой «ПУСК» начать нагревание воды и прекратить его, нажав на кнопку «ПАУЗА» при достижении температуры кипения. При необходимости повторения эксперимента воспользоваться кнопкой «СБРОС».
5. Записать в таблицу время нагревания и конечную температуру воды.

Вещество калориметра		Значение писать без округления!!!	
Удельная теплоёмкость вещества калориметра c_k , Дж/ (кг· °С)		Удельная теплоёмкость воды c_v , Дж/ (кг· °С)	
Масса калориметра m_k , кг		Объём воды V , л	
Сила тока I , А		Масса воды m_v , кг	
Напряжение U , В		Начальная температура t_1 , °С	
Время нагревания τ , с		Конечная температура t_2 , °С	

6. Выполните вычисления.
7. В выводе укажите полученный результат измерения КПД.

Контрольные вопросы

1. Какое количество теплоты $Q_{кр}$ рассеялось в окружающую среду? Сколько

процентов составляет эта величина от количества теплоты, выделившегося в нагревательном элементе?

2. Изменится ли КПД нагревателя, если увеличить время нагревания (например, до получаса)? Если да, то как? Ответ обоснуйте.

Начальные данные по вариантам к заданиям

Группа	Вещество калориметра	Масса калориметра	Объём воды
1	железо	0,2 кг	2л
2	алюминий	0,2 кг	1л
3	медь	0,2 кг	2 л
4	сталь	0,2 кг	2 л
5	железо	0,4 кг	2 л
6	алюминий	0,4 кг	1 л
7	медь	0,4 кг	1 л
8	сталь	0,4 кг	1 л
9	железо	0,5 кг	1 л
0	алюминий	0,5 кг	1л

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2, ЛР4, ЛР23, ЛР30

Лабораторная работа № 10

Тема: Экспериментальное определение удельного сопротивления проводников

Цель работы: определить среднее значение температурного коэффициента сопротивления меди.

Приборы и принадлежности: прибор для определения температурного коэффициента сопротивления металлов, выпрямитель ВС-24М, набор проводников, амперметр, вольтметр, термометр технический, комплект проводов.

Краткая теория

Характеристикой проводящих свойств материала проводника является

удельное сопротивление, т.е. сопротивление проводника, имеющего поперечное сечение, равное единице площади, и длину, равную единице длины. Если проводник с удельным сопротивлением ρ имеет по всей длине l одинаковое сечение S , то его сопротивление может быть подсчитано по формуле

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1)$$

Удельное сопротивление проводника зависит в общем случае от многих факторов: температуры, механических деформаций, напряженности магнитного поля, в которое помещен проводник, и т.п. Эти зависимости широко используются в измерительной технике и автоматике.

Зависимость сопротивления от температуры в общем виде может быть выражена многочленом

$$R_{t_i} = R_{t_0} [1 + \alpha(t_i - t_0) + \beta(t_i - t_0)^2 + \dots] \quad (2)$$

где α и β - средние значения температурных коэффициентов, определяемых опытным путем, R_{t_0} и R_{t_i} - сопротивления при начальной (t_0) и конечной (t_i) температурах. В небольших интервалах изменения температур часто бывает достаточным при расчете ограничиться двумя членами ряда формулы (2). В этом случае формула для определения сопротивления имеет вид:

$$R_{t_i} = R_{t_0} [1 + \alpha(t_i - t_0)] \quad (3)$$

Значения α не являются постоянными и изменяются с изменением температуры, однако в некоторых температурных интервалах этот коэффициент можно характеризовать средним значением температурного коэффициента.

Применяемый в работе прибор (рис. 1) для определения температурного коэффициента меди состоит из катушки 1. Катушка представляет собой картонный каркас 2, на который намотан медный провод с лаковой изоляцией. Концы провода выведены к зажимам 3, установленным на пластмассовой колодке 4. В этой колодке закреплена стеклянная пробирка, в которую вставлен каркас катушки. Сверху в колодке имеется отверстие 5 для термометра, измеряющего температуру катушки. Прибор помещают в сосуд с водой. В сосуде имеется электрическая спираль с выведенным наверх клеммами. Подсоединив электрическую спираль к источнику тока, нагревают воду в сосуде, периодически считывая показания термометра и измеряя омметром сопротивление катушки.

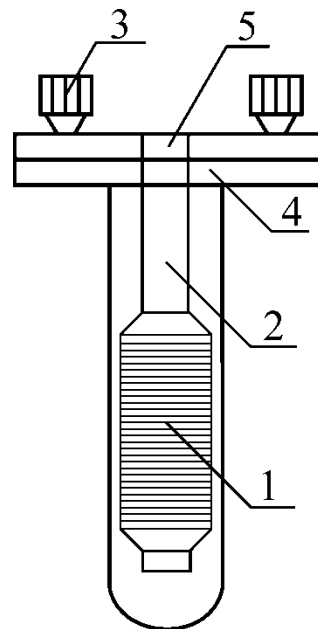


Рис. 1

Порядок выполнения работы.



1. Подготовьте в тетради таблицу для записи результатов измерений и вычислений.

Таблица

№ п/п	U, В	t_0 , С°	I_0 , А	R_{t_0} , Ом	I_i , А	t_i , С°	R_{t_i} , Ом	α , град ⁻¹	$\bar{\alpha}$, град ⁻¹

2. Залейте в сосуд воду на 2/3 высоты сосуда. **Внимание:** заливая воду в сосуд, примите меры к тому чтобы вода не попала внутрь пробирки.

3. Вставьте в пробирку термометр.

4. Выждав некоторое время, пока выровняются температура воды и катушки прибора, запишите показания термометра t_0 .

5. Измерьте с помощью амперметра силу тока I_0 и рассчитайте сопротивление катушки R_{t_0} пользуясь законом Ома, и запишите результаты в таблицу.

6. Подключите спираль к источнику тока и установите напряжение не более 5 В.

7. Следите за повышением температуры катушки. Когда температура катушки окажется кратной 10 т.е. $t_i=30, 40, 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ измерьте силу тока и рассчитайте сопротивление катушки. Результаты измерений запишите в таблицу.

8. Используя результаты первого опыта и трех последующих (t_i, R_i) вычислите для каждого опыта значение температурного коэффициента сопротивления меди по формуле:

$$\alpha = \frac{R_{t_i} - R_{t_0}}{R_{t_i} \cdot \Delta t}$$

которая выведена из зависимости (3).

9. Найдите среднее значение температурного коэффициента сопротивления меди $\bar{\alpha}$.

10. Начертите график зависимости R от температуры t (в масштабе).

Контрольные вопросы

1. Что называется температурным коэффициентом сопротивления?
2. Удельная проводимость проводника. Физический смысл, единицы измерения, от чего она зависит?
3. Какова зависимость удельного сопротивления проводника от температуры? Чем характеризуется эта зависимость?
4. Температурный коэффициент сопротивления. Что он характеризует, от чего он зависит. В каких единицах измеряется?
5. Зависит ли сопротивление проводника от температуры? Если зависит, то какова эта зависимость? Объяснить физический смысл этого явления.
6. Как изменится сопротивление проводника с повышением температуры и почему? Математическое и графическое изображение этой зависимости.
7. Сравнить зависимость изменения сопротивления металлических проводников и электролитов от температуры. Объяснить физику явлений, порождающих эту зависимость.
8. Описать последовательность действий определения температурной зависимости сопротивления в ходе выполнения лабораторной работы.
9. Изменится ли температурный коэффициент сопротивления, если определять его по удельному сопротивлению, а не по измеряемому сопротивлению?
10. Зависит ли температурный коэффициент сопротивления от материала сопротивления.
11. В чем физический смысл сопротивления проводника? От чего оно зависит?
12. Напишите и объясните математическую зависимость сопротивления от материала и размеров сопротивления.

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2, ЛР4, ЛР23, ЛР30

Лабораторная работа № 11

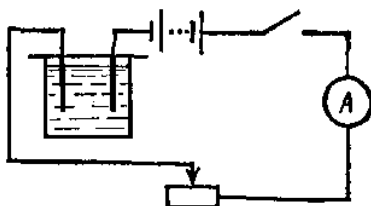
Тема: Определение электрохимического эквивалента меди.

Цель работы: Научиться измерять электрохимические эквиваленты веществ

Оборудование: весы электронные, амперметр школьный, часы, выпрямитель на 4,5В 2А, реостат 6 Ом 2А, ключ, электролитическая ванна, раствор медного купороса, вентилятор - нагреватель, соединительные провода.

Краткая теория:

Процесс, при котором молекулы солей, кислот и щелочей при растворении в воде или других растворителях распадаются на заряженные частицы (ионы), называется электролитической диссоциацией; получившийся при этом раствор с положительными и отрицательными ионами называется электролитом.



Если в сосуд с электролитом поместить пластины (электроды), соединенные с зажимами источника тока (создать в электролите электрическое поле), то положительные ионы будут двигаться к катоду, а отрицательные - к аноду. У электродов происходят окислительно-восстановительные реакции, при этом на электродах выделяются вещества - продукты реакции.

Для электролиза справедлив **закон Фарадея: масса выделившегося вещества на электроде прямо пропорциональна заряду Q , прошедшему через электролит:**

$$m = kq \quad (1)$$

$$m = kIt \quad (2)$$

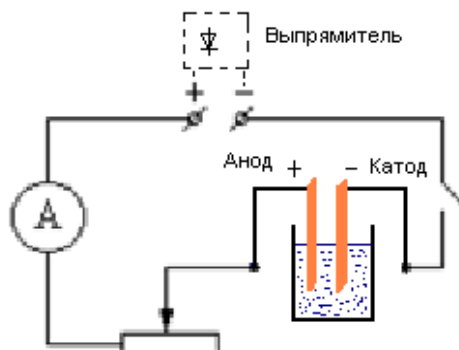
где k - электрохимический эквивалент - количество вещества, выделенное при прохождении через электролит 1 Кл электричества. Для каждого вещества значение k есть постоянная величина.

Измерив силу тока в цепи, составленной по схеме, время его прохождения и массу выделившегося на катоде вещества, можно определить электрохимический эквивалент из первого закона Фарадея:

$$k = m/(It) \quad (3)$$

Порядок выполнения работы:

1. Выбрать одну из медных пластин за катод.
2. Определить массу медной пластины (катада) до опыта.
2. Собрать цепь, указанную на рис. 1, аккуратно опустить электроды в раствор медного купороса и с помощью реостата установить силу тока 1 А.



3. Зафиксировать время $t=10 \text{ мин.}$
4. Разомкнуть цепь, вынуть катодную пластинку, смыть с нее остатка раствора и высушить возле вентилятора.
5. Взвесить высушенную пластину с точностью до 10мг.
6. Значение тока, время опыта, увеличение в массе катодной пластину записать в таблицу и определить электрохимический эквивалент по формуле (3)

№ опыта	$I, \text{ A}$	Масса катада		Масса отлож. вещества $m_2 (\text{кг})$	Время $t (\text{с})$	Электро химич. эквивалент	$\varepsilon_k \%$
		до опыта $m_1 (\text{кг})$	после опыта $m_2 (\text{кг})$				

Оценка погрешностей.

$$k = \frac{m}{I \cdot t}.$$

$$\text{Относительная погрешность: } \delta k = \delta m + \delta I + \delta t = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta t}{t}.$$

$$\Delta m = 0,05 \text{ г.}$$

$$\Delta I = 0,1 \text{ A}$$

$$\Delta t = 20 \text{ с.}$$

Оцените в процессе проведения работы наибольшие допустимые ошибки при измерении массы, тока и времени. Вычислите относительную погрешность, найдите максимальную допустимую погрешность при определении k .

$$\Delta k = \delta k \cdot k.$$

После этого дается результат в виде: $k = k_{\text{опыта}} + \Delta k$.

Сравните полученный результат с табличным.

Контрольные вопросы.

1. Что такое электролитическая диссоциация, электролиз?
2. Объясните, как происходит разложение воды электрическим током?
3. Как происходит рафинирование?
4. Сформулируйте первый закон Фарадея.
5. Гальваностегия.
6. Гальванопластика.
7. Что такое ЭДС поляризации?
8. Что такое емкость аккумулятора?

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2, ЛР4, ЛР23, ЛР30

Лабораторная работа № 12

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: изучение устройства и принципа действия однофазного трансформатора; определение параметров схем замещения трансформатора; Изучение влияния характера нагрузки на выходное напряжение трансформатора.

Краткие сведения из теории

Возможность трансформации – одна из главных причин повсеместного распространения переменного тока в современной технике. Термин «трансформатор» дословно переводится как «преобразователь». Преобразование происходит за счёт разного числа витков первичной w_1 и вторичной w_2 обмоток, коэффициент трансформации

$$k = \frac{w_1}{w_2}.$$

Через повышающие трансформаторы электрическая энергия от генераторов подается в высоковольтную линию электропередачи. У повышающего трансформатора во вторичной обмотке витков больше, чем в первичной, $k < 1$. На месте потребления устанавливаются понижающие трансформаторы, обеспечивающие безопасное и удобное использование электроэнергии. У понижающего трансформатора во вторичной обмотке витков меньше, чем в первичной, $k > 1$.

Электрическая энергия передаётся через трансформатор посредством пульсаций магнитного поля, изменяющегося по синусоидальному закону. Применение ферромагнитного сердечника позволяет усилить индукцию поля в сотни и тысячи раз. Пластины сердечников штампуют из листов низкоуглеродистых сталей с добавками до 5 % Si, получивших название кремнистых электротехнических сталей. Кремний увеличивает удельное сопротивление, что снижает вихревые токи, однако делает сталь хрупкой.

Свойства электротехнической стали значительно улучшаются при текстурировании – холодной прокатке и последующем отжиге. Для эффективного использования текстурированных сталей применяют ленточные конструкции сердечников (рисунок 1), когда магнитный поток целиком проходит вдоль направления легкого намагничивания, что позволяет уменьшить массу и габариты силовых трансформаторов на 25 %, а радиотрансформаторов – на 40 %.

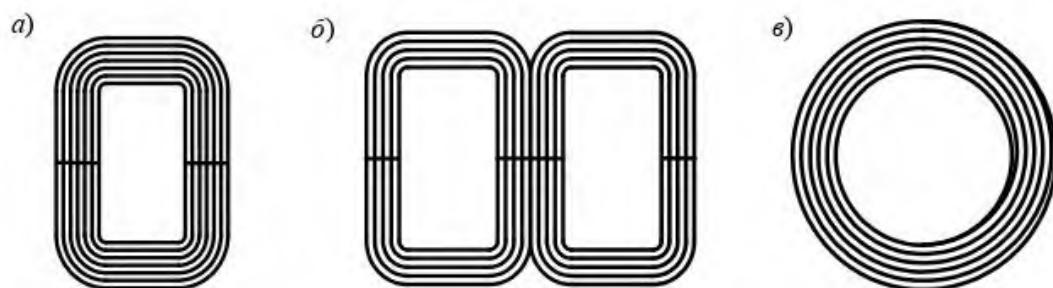


Рисунок 1 – Типы ленточных сердечников трансформаторов:
 a – стержневой; b – броневой; c – тороидальный

Рассмотрим электромагнитные процессы преобразования и передачи энергии в двухобмоточном понижающем трансформаторе (рисунок 2). При подключении первичной обмотки w_1 сопротивлением r_1 к питающей сети переменного тока промышленной частоты напряжением u_1 по ней протекает ток холостого хода i_0 . Магнитодвижущая сила $w_1 i_0$, положительное направление которой на рисунке 2, по правилу буравчика, вверх, создаёт переменное магнитное поле.

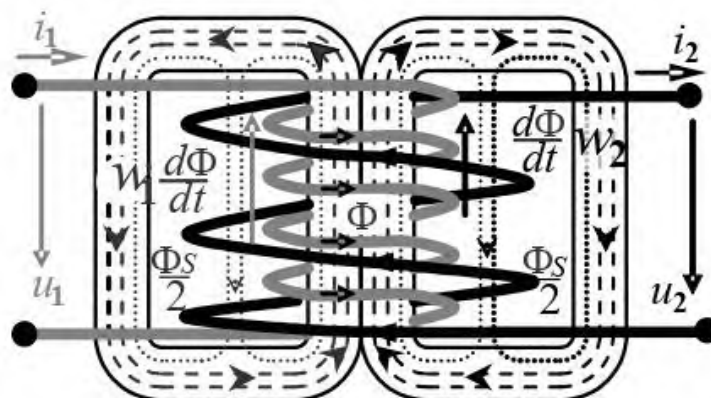


Рисунок 2 – Электромагнитные процессы преобразования и передачи энергии в трансформаторе

Основная часть силовых линий магнитного поля проходит по магнитопроводу, охватывая витки как первичной, так и вторичной обмоток, и образуя магнитный поток связи Φ . Небольшая часть силовых линий магнитного поля, частично или полностью, проходит по воздуху и немагнитным материалам проводов, образуя магнитный поток рассеяния Φ_s , который в сотни раз меньше потока связи (его силовые линии показаны пунктиром).

На рисунке 3 представлены схемы замещения первичной и вторичной обмоток трансформатора.

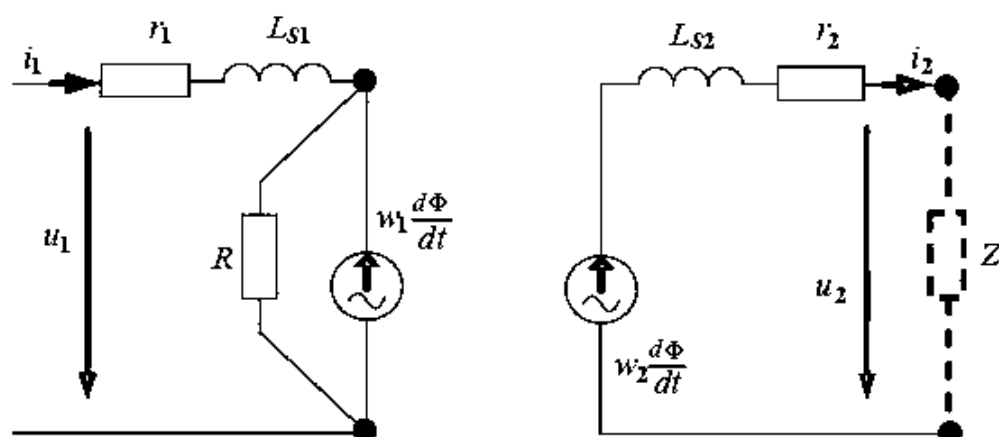


Рисунок 3 – Схемы замещения обмоток трансформатора

Для учёта магнитного потока рассеяния первичной обмотки в схеме замещения предусматривают индуктивность рассеяния L_{s1} .

Пульсации магнитного потока связи Φ индуцируют в витках первичной обмотки электродвижущую силу самоиндукции $e_1 = -w_1 d\Phi / dt$. Знак «—» показывает, что, когда магнитный поток нарастает ($d\Phi / dt > 0$), ЭДС самоиндукции направлена навстречу создающему его току и препятствует этому нарастанию, запасая энергию в магнитном поле сердечника. Это учтено в направлении стрелки на схеме замещения. Во вторичной обмотке индуцируется ЭДС $e_2 = -w_2 d\Phi / dt$ такого же направления, как и в первичной, знак «—» показывает, что в рассматриваемый момент она направлена от конца обмотки к началу. У вторичной обмотки также есть индуктивность рассеяния L_{s2} и активное сопротивление r_2 . В материале сердечника также индуцируются электродвижущие силы, под действием которых протекают вихревые токи, нагревающие сердечник. Потери энергии от вихревых токов вместе с потерями из-за гистерезиса учтены на схеме замещения в виде эквивалентного сопротивления R . Таким образом, ток холостого хода i_0 может быть представлен как сумма тока перемagnetивания сердечника i_m (индуктивного) и тока потерь i_a (активного). Ток перемagnetивания существенно несинусоиден, однако при упрощённом расчёте его заменяют эквивалентной синусоидой.

При подключении потребителя Z к вторичной обмотке w_2 по ней протекает ток i_2 , создающий магнитодвижущую силу $w_2 i_2$ (положительное направление на рисунке 2, по правилу буравчика, вниз), которая стремится ослабить магнитный поток связи Φ . Однако снижение Φ приводит к уменьшению ЭДС $e_1 = -w_1 d\Phi / dt$, препятствующей току первичной

обмотки. Увеличение первичного тока i_1 вызывает подмагничивание сердечника и, в результате, магнитный поток Φ уменьшается незначительно (при упрощённых расчётах магнитный поток связи Φ и потери в магнитопроводе считают независимыми от нагрузки). Отбор энергии от трансформатора по вторичной обмотке автоматически увеличивает её поступление из сети по первичной, а пульсирующий магнитный поток Φ обеспечивает передачу этой энергии с мощностью $S = U_1 I_1 \approx U_2 I_2$ и преобразование с коэффициентом трансформации $k = w_1 / w_2$ (уменьшение напряжения с одновременным увеличением тока).

При протекании тока во вторичной цепи часть магнитного потока также рассеивается, что на схеме замещения учитывается в виде индуктивности рассеяния вторичной обмотки L_{S2} .

Потери в проводах, которыми выполнены обмотки, учтены на схеме замещения в виде активных сопротивлений (r_1 – первичной; r_2 – вторичной).

Для левой и правой частей схемы замещения можно записать два уравнения, связанных между собой через магнитный поток связи Φ :

$$u_1 - r_1 i_1 - L_{S1} di_1 / dt = w_1 d\Phi / dt \quad \text{и} \quad w_2 d\Phi / dt - L_{S2} di_2 / dt - r_2 i_2 = u_2.$$

Левое уравнение показывает, как изменяется напряжение при продвижении энергии от сети до магнитопровода, правое – от магнитопровода к потребителю; они связаны между собой через скорость изменения магнитного потока связи $d\Phi / dt$. Умножим второе уравнение на коэффициент трансформации $k = w_1 / w_2$, причём напряжение умножим на k , индуктивность и сопротивление умножим на k^2 , а ток разделим на k . Такая операция представляет собой приведение параметров вторичной цепи к напряжению первичной, приведенные параметры обозначаются со штрихом « $'$ »:

$$u_2' = k u_2; L_{S2}' = k^2 L_{S2}; r_2' = k^2 r_2; i_2' = i_2 / k.$$

После приведения второе уравнение приобретает вид

$$w_1 d\Phi / dt - L_{S2}' di_2' / dt - r_2' i_2' = u_2'.$$

Подставим левую часть первого уравнения в приведенное второе

$$u_1 - r_1 i_1 - L_{S1} di_1 / dt - L_{S2}' di_2' / dt - r_2' i_2' = u_2'.$$

Уравнение получилось чисто электрическим. Приведение параметров вторичной обмотки к напряжению первичной позволяет условно заменить

магнитную связь между обмотками на электрическую, а на схеме замещения электрически соединить эти обмотки в форме буквы Т (рисунок 4, а).

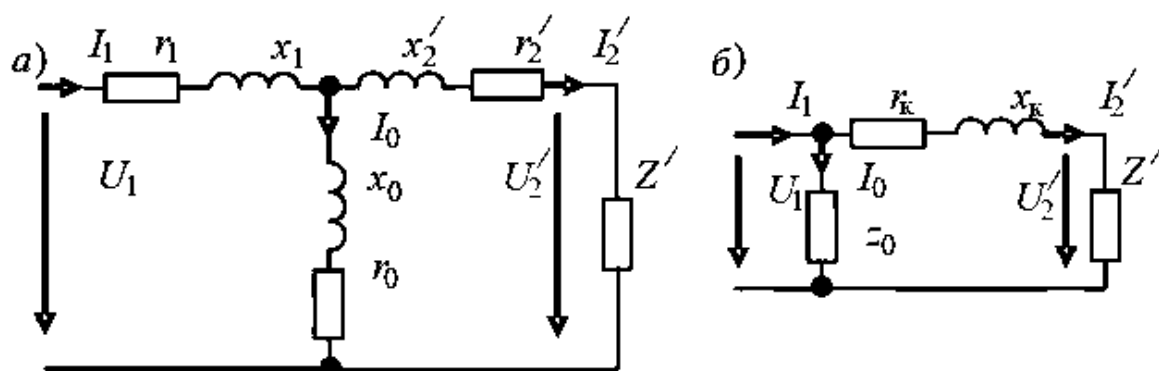


Рисунок 4 – Т-образная (а) и Г-образная схемы (б) замещения трансформатора

Т-образная схема замещения приведенного трансформатора содержит:

- сопротивления проводов обмоток, первичной r_1 и вторичной $r_2' = k^2 r_2$;
- индуктивные сопротивления первичной $x_1 = \omega L_{S1}$ и вторичной обмоток $x_2' = k^2 x_2 = k^2 \omega L_{S2}$, учитывающие магнитные потоки рассеяния;
- ветвь перемagnичивания сердечника, состоящую из индуктивного сопротивления x_0 , учитывающего магнитный поток связи, и активного сопротивления r_0 , учитывающего потери от гистерезиса и вихревых токов.

На Г-образной схеме замещения (рисунок 4, б) ветвь перемagnичивания вынесена к источнику первичного напряжения в виде полного сопротивления холостого хода z_0 , нагрев обмоток учтён в виде активного сопротивления $r_k = r_1 + r_2'$, а рассеяние магнитного потока – в виде индуктивного $x_k = x_1 + x_2'$.

Параметры схемы замещения определяют по паспортным данным трансформатора, где приведены: номинальная мощность; напряжения обмоток; ток $i_0\%$ и мощность потерь P_0 холостого хода; напряжение $u_{K\%}$ и мощность потерь P_K короткого замыкания. Их также можно определить экспериментально с помощью опытов холостого хода и короткого замыкания.

Схемы электрических цепей

Опыт холостого хода проводится при номинальном напряжении на первичной обмотке и разомкнутой вторичной обмотке трансформатора (рисунок 5).

По показаниям ваттметра P_0 , амперметра I_0 и вольтметров $U_{1н}$ и U_{20} определяются параметры намагничивающей ветви схемы замещения и коэффициент трансформации

$$r_0 = \frac{P_0}{I_0^2}; \quad z_0 = \frac{U_{1н}}{I_0}; \quad x_0 = \sqrt{(z_0^2 - r_0^2)}; \quad k = \frac{U_{1н}}{U_{20}}.$$

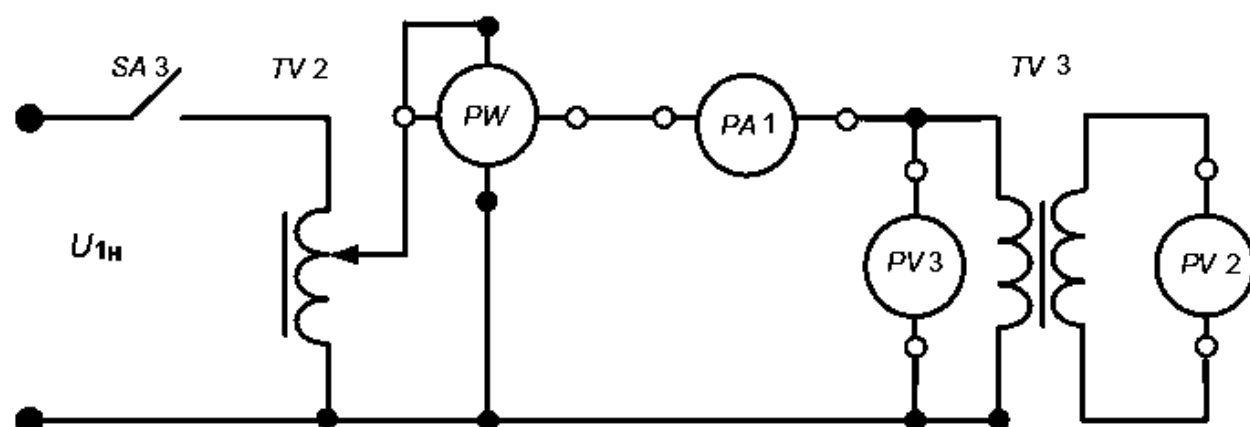


Рисунок 5 – Схема опыта холостого хода трансформатора

Опыт короткого замыкания проводится при пониженном напряжении первичной обмотки $U_{1к}$, замкнутой накоротко вторичной обмотке и номинальном значении силы тока $I_{1н}$ (рисунок 6). Напряжение плавно увеличивается от нуля до значения, при котором устанавливается номинальная сила тока первичной обмотки.

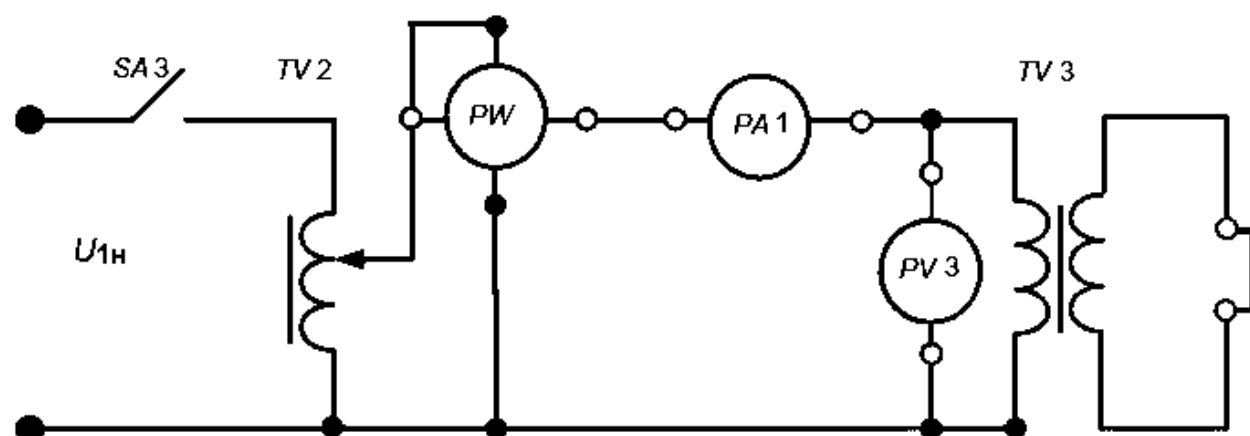


Рисунок 6 – Схема опыта короткого замыкания трансформатора

По показаниям ваттметра P_k , амперметра $I_{1н}$ и вольтметра $U_{1к}$ определяются параметры остальных элементов схем замещения

$$r_k = \frac{P_k}{I_{1k}^2}; \quad z_k = \frac{U_{1k}}{I_{1k}}; \quad x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2};$$

$$r_1 = r_2' = \frac{r_k}{2}; \quad x_1 = x_2' = \frac{x_k}{2}; \quad r_2 = \frac{r_2'}{k^2}; \quad x_2 = \frac{x_2'}{k^2}.$$

Коэффициент полезного действия трансформатора

$$\eta = \frac{\beta S_H \cos \varphi_2}{\beta S_H \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_k},$$

где β – коэффициент загрузки трансформатора, $\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}$;

S_H – номинальная мощность трансформатора;

$\cos \varphi_2$ – коэффициент мощности нагрузки;

P_0, P_k – мощности потерь холостого хода и короткого замыкания, Вт.

Потеря напряжения в трансформаторе под нагрузкой

$$\Delta u_{\%} \approx \beta S_H \frac{r_k \cos \varphi_2 + x_k \sin \varphi_2}{U_{1H}^2} \cdot 100 \% = \frac{r_k P + x_k Q}{U_{1H}^2} \cdot 100 \%.$$

Порядок выполнения работы

1 Собрать схему для проведения опыта холостого хода трансформатора по рисунку 7, используя перемычки для коммутации (места установки перемычек выделены на схеме).

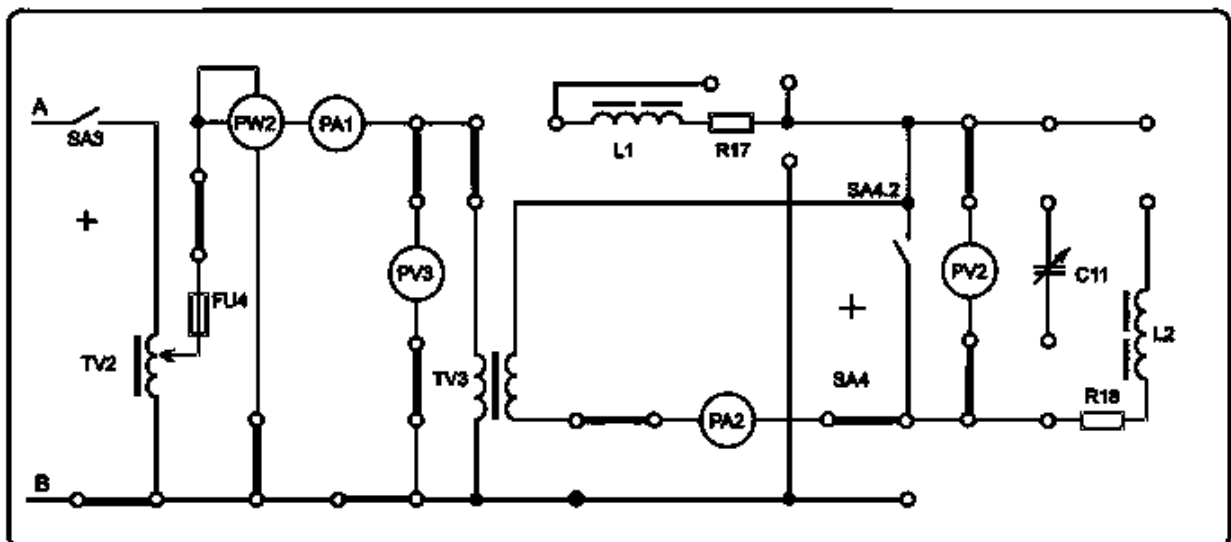


Рисунок 7 – Схема проведения опыта холостого хода трансформатора

2 Тумблером *SA3* подключить функциональный блок для проведения опыта холостого хода. (*Примечание* – Тумблер *SA4* должен находиться в выключенном положении). С помощью автотрансформатора *TV2* (ЛАТР) установить напряжение $U_{1\text{н}} = 220$ В (по показанию вольтметра *PV3*) и измерить силу тока в первичной обмотке I_0 , мощность холостого хода P_0 и напряжение холостого хода вторичной обмотки U_{20} . Результаты измерений внести в таблицу 1.

Таблица 1 – Опыт холостого хода

Из м е р е н о				Р а с с ч и т а н о			
$U_{1\text{н}}, \text{В}$	$I_0, \text{А}$	$P_0, \text{Вт}$	$U_{20}, \text{В}$	$r_0, \text{Ом}$	$z_0, \text{Ом}$	$x_0, \text{Ом}$	k
220							

3 Рассчитать параметры намагничивающей ветви схемы замещения r_0, z_0, x_0 и коэффициент трансформации k .

4 С помощью автотрансформатора *TV2* (ЛАТР) уменьшить напряжение $U_{1\text{н}} = 0$ В и включить тумблер *SA4*. Постепенно увеличивая напряжение автотрансформатора, добиться, чтобы по первичной обмотке протекал номинальный ток $I_{1\text{н}}$

$$I_{1\text{н}} = \frac{S_{\text{н}}}{U_{1\text{н}}},$$

где $S_{\text{н}} = 100$ ВА.

5 Измерить напряжение короткого замыкания $U_{1\text{к}}$ и мощность короткого замыкания $P_{\text{к}}$. Результаты измерений внести в таблицу 2.

Таблица 2 – Опыт короткого замыкания

Из м е р е н о			Р а с с ч и т а н о						
$I_0, \text{А}$	$U_{1\text{к}}, \text{В}$	$P_{\text{к}}, \text{Вт}$	$R_{\text{к}}$	$Z_{\text{к}}$	$X_{\text{к}}$	r_1	r_2	x_1	x_2
			Ом						

6 Определить коэффициент полезного действия трансформатора при номинальной нагрузке ($\beta = 1$) при коэффициенте мощности $\cos\varphi = 1$.

7 Пользуясь параметрами нагрузки, определёнными в лабораторной работе № 3, рассчитать $\Delta u\%$.

8 Выключить тумблеры *SA4, SA3* и собрать схему исследования трансформатора под нагрузкой по рисунку 8.

9 Тумблером *SA3* подключить функциональный блок для исследования трансформатора под нагрузкой. (*Примечание* – Тумблер *SA4* должен

находиться в выключенном положении). С помощью автотрансформатора *TV2* (ЛАТР) установить напряжение $U_{1н} = 220$ В (по показанию вольтметра *PV3*) и, изменяя ёмкость конденсатора от нуля до максимальной, измерить силу тока в первичной обмотке I_1 и мощность P , а также напряжение U_2 и силу тока во вторичной обмотке I_2 . Результаты измерений внести в таблицу 3.

10 Построить графики зависимости I_2 и $\Delta u_{\%}$ от ёмкости конденсатора.

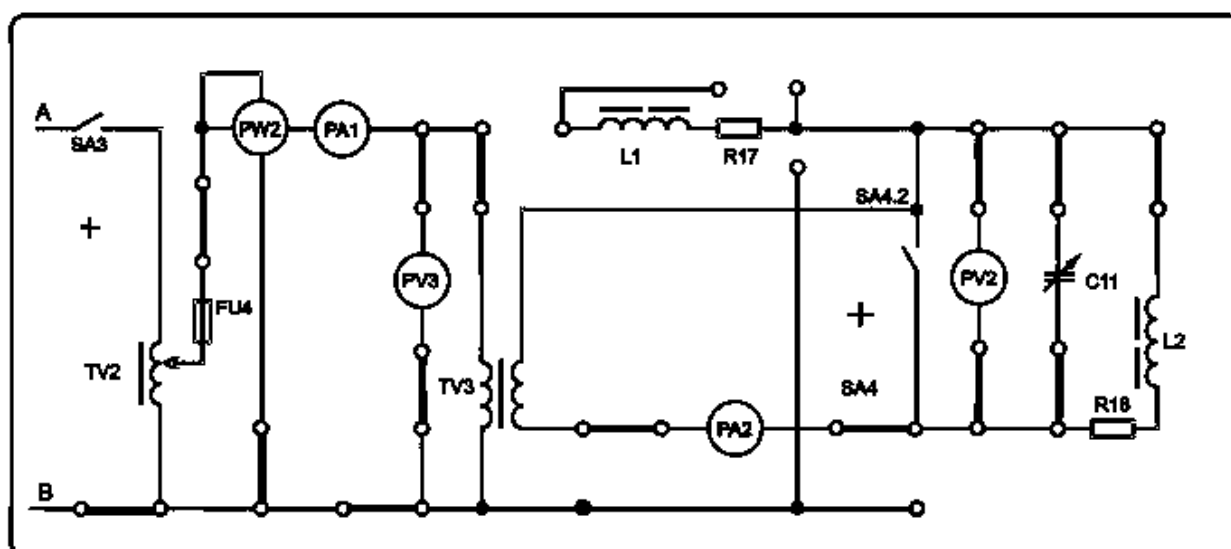


Рисунок 8 – Схема исследования трансформатора под нагрузкой

Таблица 3 – Исследование трансформатора под нагрузкой

C, мкФ	$U_{1н}$, В	Измерено				Рассчитано	
		I_1 , А	P_1 , Вт	U_2 , В	I_2 , А	ΔU , В	$\Delta u_{\%}$
0	220						
10							
20							
40							
60							

11 Рассчитать абсолютную ΔU и относительную $\Delta u_{\%}$ потерю напряжения по формуле

$$\Delta U = U_{20} - U_2; \quad \Delta u_{\%} = \frac{\Delta U}{U_{20}} \cdot 100 \%.$$

Содержание отчета

Наименование и цель работы; схемы исследования; таблицы результатов измерений и расчётов; расчёты КПД η и потери напряжения $\Delta u_{\%}$ (по

приближённой формуле); графики зависимости I_2 и $\Delta u\%$ от ёмкости конденсатора; заключение.

Контрольные вопросы

- 1 Каким образом происходит преобразование энергии в трансформаторе?
- 2 С какой целью выполняют приведение параметров вторичной обмотки к первичному напряжению? По каким формулам это делают?
- 3 Опишите Т-образную схему замещения.
- 4 Опишите Г-образную схему замещения.
- 5 Опишите опыт холостого хода. Как определяются параметры намагничивающей ветви схем замещения?
- 6 Опишите опыт короткого замыкания. Как определяются остальные параметры схем замещения?
- 7 Как определяется коэффициент полезного действия трансформатора?
- 8 Как определяется потеря напряжения при загрузке трансформатора?
- 9 Опишите графики зависимости I_2 и $\Delta u\%$ от ёмкости конденсатора.

Инструкционная карта к лабораторной работе № 13

Тема занятия: определение показателя преломления стекла при помощи микроскопа.

Цель занятия: определить показатель преломления прозрачных пластинок из различных материалов.

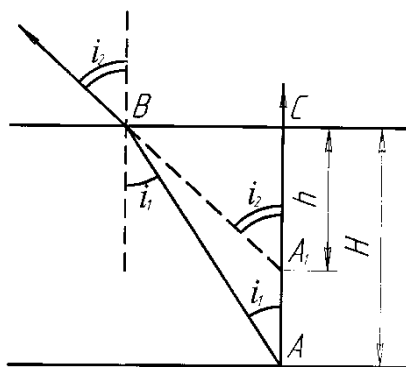
Перед началом занятия необходимо знать: закон преломления света, принцип работы микроскопа.

После окончания занятия необходимо уметь: определять показатель преломления стекла.

Оборудование: компьютер, Интернет, инструкционная карта.

Содержание и теория.

В основе применяемого метода лежит явление кажущегося уменьшения толщины стеклянной пластинки при рассматривании сквозь него предмета-метки на нижней поверхности стекла. Схема прохождения пучка лучей через пластинку показана на рисунке.



Существует связь между действительной толщиной H исследуемой пластинки, кажущейся толщиной и показателем преломления стекла. Установить эту связь можно из рассмотрения хода лучей от точки A через стеклянную пластинку. При этом предлагается, что глаз находится на той нормали к плоскости пластинки, которая проходит через точку A , и пучок лучей AB составляет с нормалью малый угол i_1 .

Узкий пучок лучей AB после преломления на границе раздела двух сред выходит из пластинки в воздух и составляет с нормалью и ее поверхности угол i_2 . Этот угол связан с углом i_1 через показатель преломления n

так:
$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{1}{n}$$

Наблюдателю кажется, что рассматриваемый пучок лучей исходит не из точки A , а из точки A_1 , приподнятой на некоторую высоту AA_1 . Рассматривая треугольники ABC и A_1BC , можно написать, что

$$BC = H \cdot \operatorname{tg} i_1; \quad BC = h \cdot \operatorname{tg} i_2 \quad \text{или} \quad \frac{H}{h} = \frac{\operatorname{tg} i_2}{\operatorname{tg} i_1}.$$

Принимая во внимание, что углы i_2 и i_1 малы, можно отношение тангенсов заменить отношением синусов этих углов, т.е. получить выражение: $n = \frac{H}{h}$.

Таким образом, измерив толщину пластинки и кажущуюся толщину ($h = h_2 - h_1$) можно найти показатель преломления стекла.

Описание установки виртуальной лабораторной работы.



Экспериментальная установка представлена на рисунке. В левом нижнем углу представлена панель «параметров пластины», в которой можно менять значение H и h . Правее находится панель выбора материала пластинки, нам понадобится материал только стекло. В крайнем левом углу находится окошко показывающее то, что будет видно в микроскоп при изменении параметров установки. А

именно красный и синий крест.

Используя представленную установку, достигается цель поставленной лабораторной работы

План выполнения задания:

1. Перейдите по ссылке <https://www.youtube.com/watch?v=wyi8OafJXSY> и просмотрите видеоурок который пояснит, каким образом проводится лабораторная работа в реальных условиях.
2. Перейдите на сайт efizika.ru и выполняйте последовательность действий описанных ниже.

Задание 1. *Определение показателя преломления стекла.*

1. Запустите виртуальный стенд.
2. Выберите материал стекло.

3. Задайте толщину стеклянной пластинки H в соответствии, с вариантом совпадающем с последней цифрой по списку группы, он находится в конце документа.

4. Определить кажущуюся толщину h стеклянной пластинки. Перемещая указатель  до получения четкого синего креста в окошке, занесите показание в таблицу 1 – это будет h_1 .

5. Установите на 10 мм верхний показатель h_2 и изменяйте, перемещая указатель  до появления четкого красного креста. Запишите показания индикатора h_2 .

6. Повторите опыт с другими значениями H .

№ п/п	Материал	H , мм	h_1 , мм	h_2 , мм	$H = h_2 - h_1$, мм	n	n_{cp}	Δn	ε , %
1									
2									
3									
4									
5									

Табличные значения показателей преломления некоторых твердых тел

№ п/п	Материал	n
1	Рубин	1,76
2	Алмаз	2,42
3	Стекло	1,5
4	Лед	1,31
5	Слюда	1,58

7. Сделайте вывод.

Контрольные вопросы:

1. Как связаны показатель преломления среды и скорость распространения света в ней?
2. Начертите ход лучей в микроскопе.
3. Что такое абсолютный показатель преломления среды? Что он характеризует, от чего он зависит?

4. Зависит ли абсолютный показатель вещества от того, каким светом его облучают? Если зависит то как?
5. Объясните для чего надо измерять натуральную величину стекла.

Начальные данные по вариантам к заданиям

Группа	H, мм
1	50
2	55
3	60
4	65
5	70
6	75
7	70
8	80
9	85
10	60

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2, ЛР4, ЛР23, ЛР30

Инструкционная карта к лабораторной работе № 14

Тема занятия: измерение длины световой волны с помощью дифракционной решетки.

Цель занятия: измерить длину световой волны с помощью дифракционной решетки.

Перед началом занятия необходимо знать: что такое длина световой волны, определение дифракционной решетки и принцип ее действия.

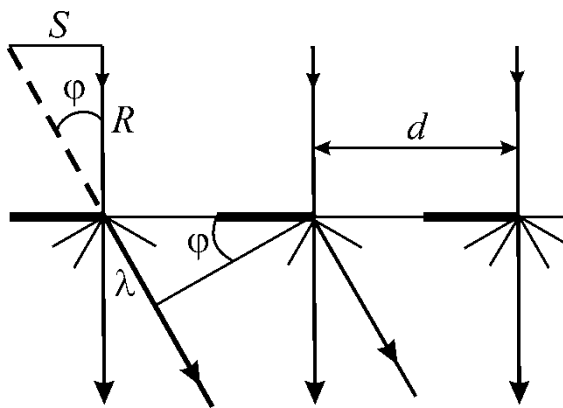
После окончания занятия необходимо уметь: определять длину световой волны с помощью дифракционной решетки.

Оборудование: компьютер, Интернет, инструкционная карта.

Содержание и теория.

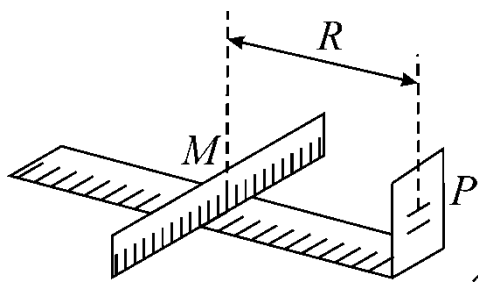
Дифракционная решетка представляет собой совокупность большого числа очень узких параллельных щелей, разделенных непрозрачными промежутками. Общая ширина щели и непрозрачного промежутка называется периодом решетки. Например, если на дифракционной решетке имеется 100 штрихов на 1 мм, то период дифракционной решетки $d = 0,01$ мм.

На рисунке представлена схема хода лучей через решетку. Лучи, проходящие через решетку перпендикулярно ее плоскости, попадают в зрачок наблюдателя и образуют на сетчатке глаза обычное изображение источника света. Лучи, огибающие края щелей решетки имеют некоторую разность хода, зависящую от угла φ . Если эта разность пропорциональна $K\lambda$, где K - целое число, то каждая такая пара лучей образует на сетчатке изображение источника, цвет которого определяется соответствующей длиной волны λ .



Смотря сквозь решетку на источник света, наблюдатель, кроме этого источника, видит расположенные симметрично по обе стороны от него дифракционные спектры. Ближайшая пара спектров (1-го порядка) соответствует разности хода лучей, равной λ для соответствующего тона. Более удаленная пара спектров (2-го порядка) соответствует разности хода лучей равной 2λ и т.д.

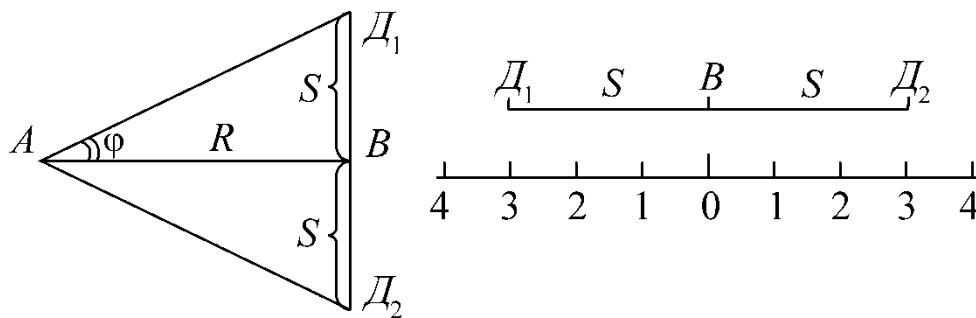
Внешний вид установки, для определения длины световой волны изображен на рис. 2.



На оптической скамье может передвигаться пластина, в которой прорезана щель прямолинейной формы. Под щелью укреплен шкала с делениями. Щель освещается электрической лампочкой, между лампочкой и щелью вставляется монохроматический светофильтр. В другом конце оптической скамьи укреплен держатель P , в который вставляется дифракционная решетка. Если смотреть на освещенную монохроматическим светом щель через дифракционную решетку, то кроме щели АВ по бокам видны симметричные изображения ее. Каждое боковое дифракционное изображение смещено в сторону на величину $BD = BD_2 = S$.

На рис.2 изображены лучи, образующие изображенные щели, очевидно:

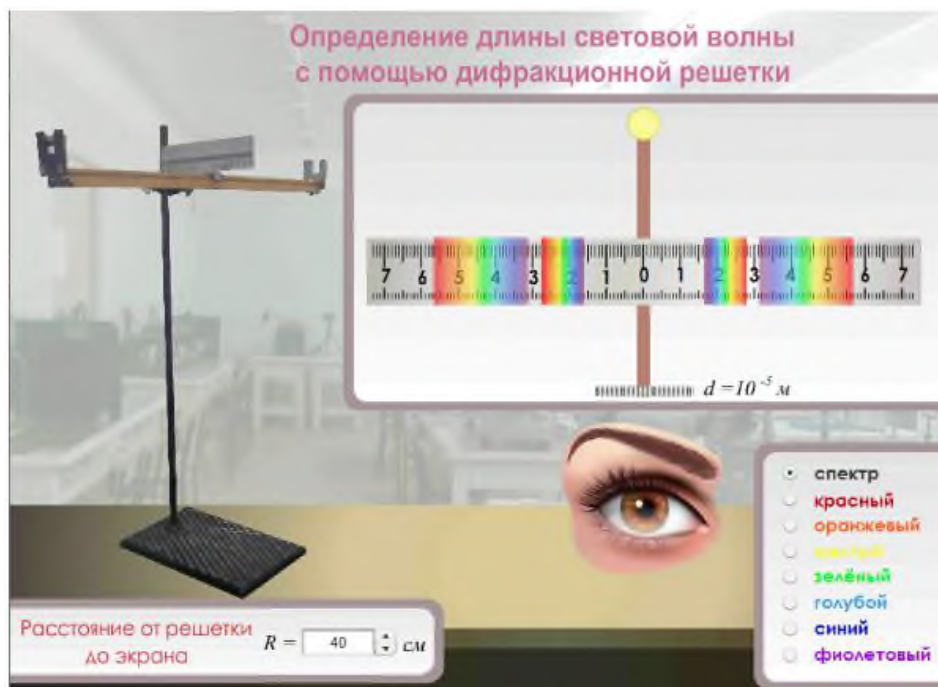
$$\tan \varphi = \frac{BD}{R} = \frac{S}{R}, \text{ где } R - \text{расстояние от решетки до щели } M.$$



Так как угол φ мал, то $\sin \varphi$ можно с достаточной степенью точности заменить $\sin \varphi$, т.е. $\sin \varphi = \frac{S}{R}$.

Сравнивая последнее выражение с условием главного дифракционного максимума $d \sin \varphi = k\lambda$ получаем расчетную формулу:

$$\lambda = \frac{Sa}{Rk}.$$



**Описание
установки
виртуальной
лабораторной
работы.**

Экспериментальная установка представлена на рисунке. В крайнем нижнем правом углу панели «спектр», можно выбирать светофильтр от красного до фиолетового.

Внизу слева расположена панель «расстояние от решетки до экрана», которую если менять меняется расположение решетки в окне выше справа. Окно показывает как меняется расположение линейки при движении относительно решетки.

План выполнения задания:

1. Перейдите по ссылке https://www.youtube.com/watch?v=VPE9is9f_d0 и просмотрите видеоурок который пояснит, каким образом проводится лабораторная работа в реальных условиях.

2. Перейдите на сайт efizika.ru и выполняйте последовательность действий описанных ниже.

Задание 1. Измерение длины световой волны с помощью дифракционной решетки.

1. Запустить виртуальный стенд.

2. Поместите шкалу на расстояние R от дифракционной решетки. Возьмите последовательно значения R , в соответствии, с вариантом совпадающем с последней цифрой по списку группы, он находится в конце документа,

3. Выберите светофильтр начиная с красного, и по шкале щитка, рассматриваемой через решетку, определите расстояние от щели до наблюдаемой линии 1-го порядка (расстояние S).

4. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

5. Те же измерения проведите для лучей другого цвета.

6. Определите длину световой волны $\lambda = \frac{Sa}{Rk}$ для всех цветов лучей и занесите в таблицу.

Порядок линии спектра k	Расстояние от решетки до шкалы R , м	Расстояние от прорези шкалы до линии S , 10^3 м						Длина световой волны, λ , 10^7 м							
		К	О	Ж	З	Г	С	Ф	К	О	Ж	З	Г	С	Ф
1															
Среднее значение длины волны															

7. Сделайте вывод.

Контрольные вопросы.

1. Какие волны называются когерентными?
2. Что называется дифракцией света? Объясните это явление.
3. Каков порядок следования цветов в дифракционных спектрах? Какова окраска нулевого максимума?
4. Чем отличаются дифракционные картины при освещении решетки монохроматическим светом и белым светом? Объясните эти явления.
5. Что такое интерференция света? Участвует ли это явление при образовании дифракционного спектра на щели или решетке?

6. Как определить длину световой волны с помощью дифракционной решетки?

Начальные данные по вариантам к заданиям

Группа	R, см
1	50
2	55
3	60
4	65
5	70
6	75
7	70
8	80
9	85
10	60

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2, ЛР4, ЛР23, ЛР30

Лабораторная работа № 15

Тема: Наблюдение сплошного и линейчатого спектров.

Цель работы: с помощью необходимого оборудования наблюдать сплошной спектр, неоновый, гелиевый или водородный.

Оборудование: проекционный аппарат, спектральные трубки с водородом, неоном или гелием, высоковольтный индуктор, источник питания.

ХОД РАБОТЫ:



Устройство двухтрубного спектрографа

1. Окуляр.
2. Зрительная труба.
3. Объектив.
4. Призма.
5. Коллиматор.
6. Щель.
7. Микрометрический винт.

Укрепим спектроскоп в штативе таким образом, чтобы щель его коллиматора была расположена вертикально. Перед щелью на расстоянии нескольких сантиметров установим электрическую лампочку на подставке так, чтобы ее нить накаливания была на высоте щели, и подключим лампу через реостат к источнику тока. После этого включим лампу и при полном накале наблюдаем сплошной спектр излучения нити.

Зарисуем цветными карандашами картину спектра, наблюдаемого нами.



Направим коллиматор спектрографа на светящуюся люминесцентную лампу, висящую на потолке. Рассмотрим ее спектр и зарисуем его в тетради. Опишем, чем спектр люминесцентной лампы отличается от спектра лампы накаливания.



Мы видим основные цвета полученного сплошного спектра в следующем порядке: фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый, красный.

Данный спектр непрерывен. Это означает, что в спектре представлены волны всех длин.

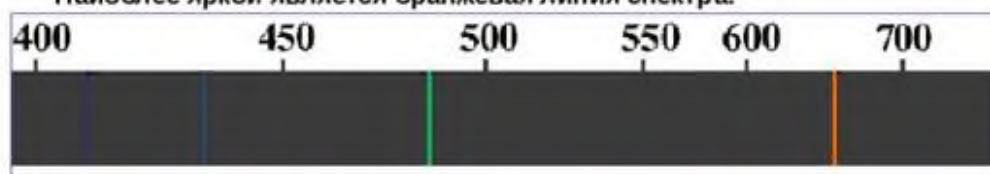
Таким образом, мы выяснили, что нагретое до высокой температуры вещество, находящееся в твёрдом состоянии, даёт сплошной спектр



Перейдем к рассмотрению спектров различных газов. Для этого вставим трубку с исследуемым газом в держатель прибора для зажигания спектральных трубок и подключим прибор к источнику напряжения.

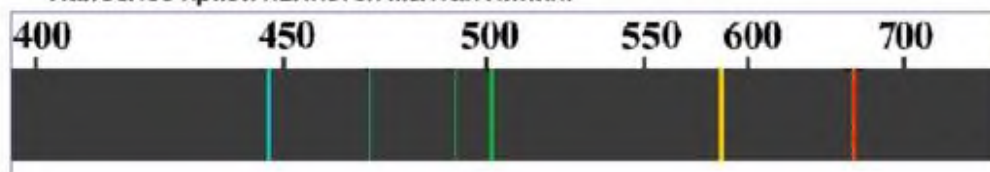
Спектр водорода: фиолетовый, голубой, зеленый, оранжевый.

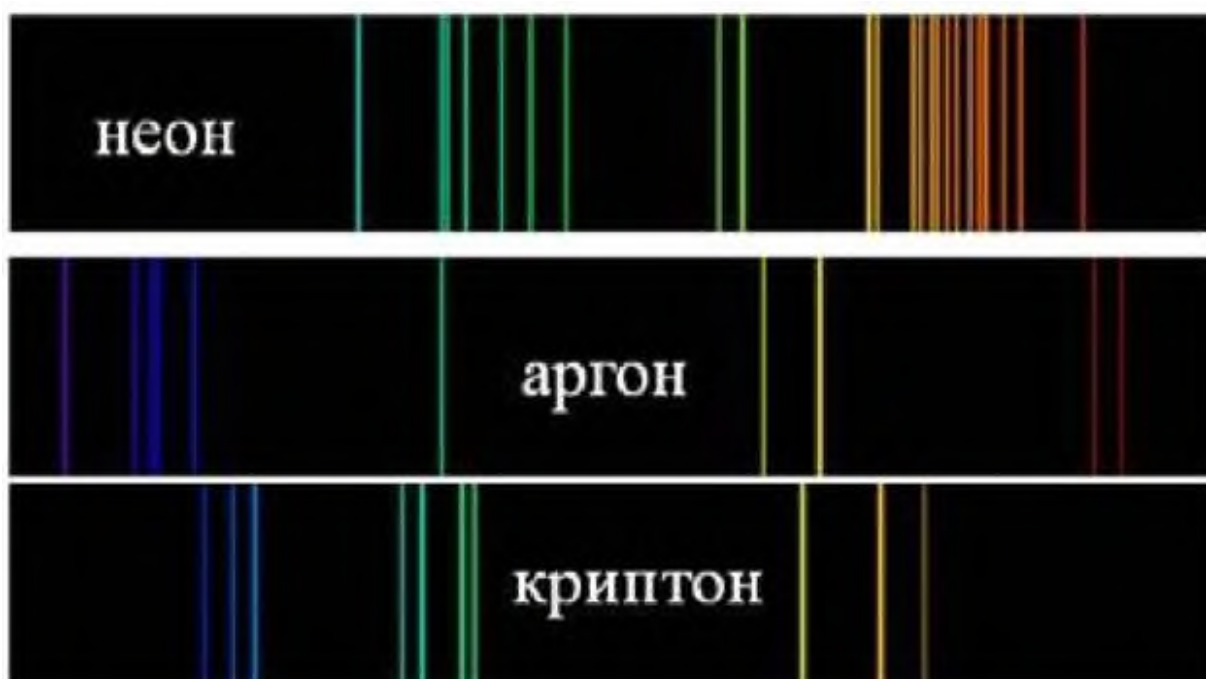
Наиболее яркой является оранжевая линия спектра.



Спектр гелия: голубой, зеленый, желтый, красный.

Наиболее яркой является желтая линия.



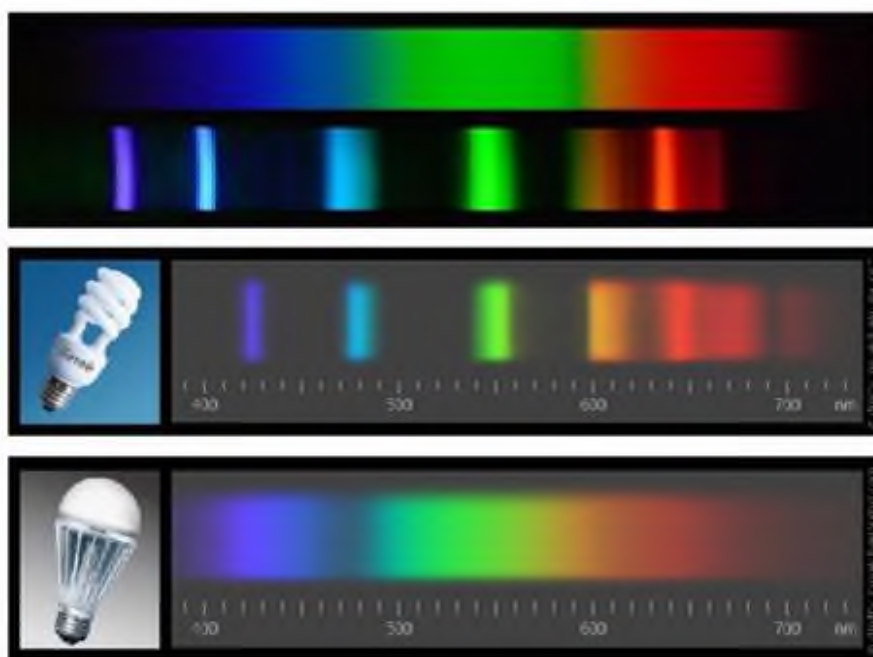


Мы видим множество цветных линий, разделенных широкими темными полосами.

Наличие линейчатого спектра означает, что вещество излучает свет только вполне определенной длины волны.

Основываясь на нашем опыте, мы можем сделать вывод, что **линейчатые спектры дают все вещества в газообразном атомарном состоянии**. В этом случае свет излучают атомы, которые практически не взаимодействуют друг с другом.

Изолированные атомы излучают строго определенные длины волн.



Непрерывный спектр излучения 60-ватной лампы накаливания (вверху) и полосатый спектр излучения 11-ватной компактной люминесцентной лампы (внизу)
Дешевая энергосберегающая люминесцентная лампа

Спектр светодиодной лампы почти сплошной, хотя есть небольшой провал

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2, ЛР4, ЛР23, ЛР30

Лабораторная работа № 16

Тема: Изучение явления внешнего фотоэффекта.

Приборы: устройство измерительное, фотоприемники Ф-8 и Ф-25.

Цель работы: снять и исследовать вольтамперные характеристики фотоэлемента, определить кинетическую энергию, максимальную скорость и работу выхода фотоэлектрона из металла, сравнить токи насыщения при $U = 5 \text{ В}$.

Теоретическая часть

В световых явлениях наблюдается дуализм (двойственность). Эта двойственность проявляется в том, что одни световые явления объясняются волновой теорией света (отражение, преломление, дифракция, интерференция и др.); другие явления не могут быть объяснены волновой теорией, а объясняются корпускулярной (квантовой) теорией света, согласно которой свет представляет собой поток частиц – фотонов, каждая из которых обладает определенной

энергией, массой и импульсом. К числу явлений, объясняемых корпускулярной теорией света, относится явление фотоэффекта.

Различают внешний и внутренний фотоэффект. Внешним фотоэффектом называется явление испускания электронов из вещества под действием света. Оно было открыто Герцем в 1887 году и подробно исследовано Столетовым в 1888 г. Для исследования фотоэффекта Столетов собирал следующую схему (рис. 1.1). На схеме металлическая пластинка К (фотокатод) соединена с отрицательным полюсом батареи.

Положительный полюс через гальванометр соединен с металлической сеткой А (анод). Оба электрода находятся в стеклянном сосуде, из которого откачивается воздух. При освещении катода (пластины К) светом в цепи возникает ток, который регистрируется гальванометром. Этот ток получил название фотоэлектрического тока (или фототока), а электроны, вырываемые светом из катода, – фотоэлектронами. Фототок представляет собой движение к аноду электронов, вышедших из катода.

Столетов исследовал зависимость фототока от величины приложенного напряжения между анодом и катодом. На рис. 1.2, а дана вольт-амперная характеристика фототока (т.е. зависимость величины тока от разности потенциалов между анодом и катодом при неизменном световом потоке Φ).

Из графика на рис. 1.2, а видно, что при некотором напряжении U_H величина фототока достигает максимального значения и далее остается постоянной при любых значениях напряжения. Это значит, что все электроны, вырываемые светом из фотокатода, достигают анода. **Максимальный ток называется током насыщения при данном световом потоке Φ .** Если изменять величину светового потока Φ , то получим семейство кривых для данного фотокатода (рис. 1.2, б).

При обобщении полученных данных Столетовым установлены три закона внешнего фотоэффекта.

Первый закон Столетова. При неизменном спектральном составе света, падающего на фотокатод, фототок насыщения пропорционален мощности падающего на катод излучения, то есть числу электронов, освобожденных светом в 1 секунду из катода (фототок насыщения I_H) пропорционально световому потоку Φ :

$$I_H = \gamma \Phi. \quad (1.1)$$

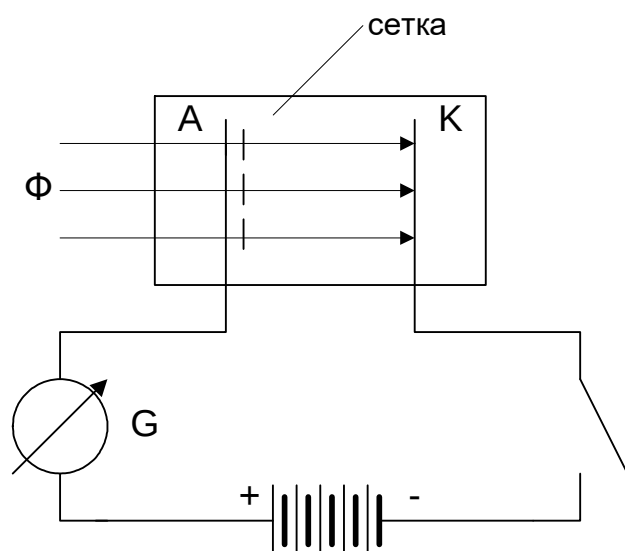


Рис. 1.1. Устройство и схема включения фотоэлемента: А- анод; К- катод; G- гальванометр; Φ - световой поток

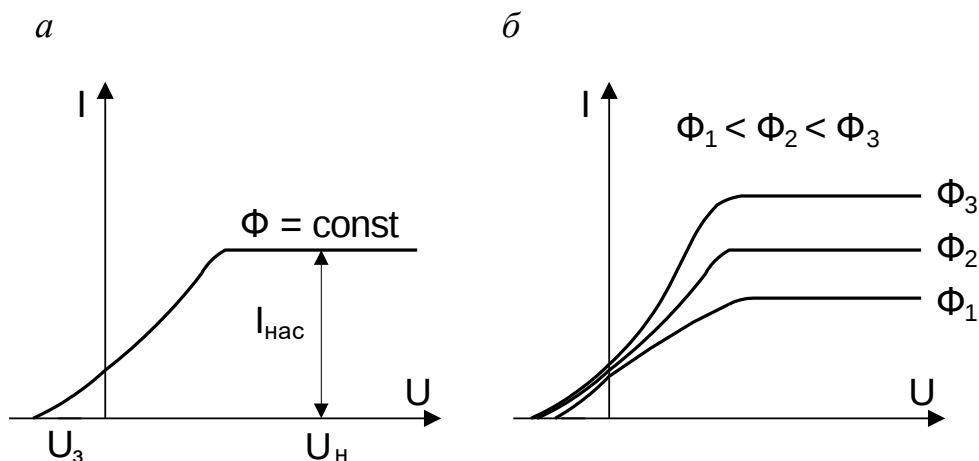


Рис. 1.2. Вольтамперные характеристики фотоэлемента

Если световой поток является немонохроматическим (то есть состоящим из набора различных длин волн, например, белый свет), коэффициент пропорциональности γ называется интегральной чувствительностью фотокатода

$$\gamma = \frac{I_H}{\Phi}, \quad (1.2)$$

и измеряется в А/лм, мкА/лм или А/Вт.

Если катод освещается монохроматическим светом (то есть светом определенной длины волны), то $\gamma = \frac{I_H}{\Phi_\lambda}$ называется спектральной

чувствительностью фотокатода. Чувствительность современных фотокатодов достигает 60–100 мкА/лм.

Столетов установил безынерционность внешнего фотоэффекта. Промежуток времени между началом освещения и началом фототока не превышает 10^{-9} секунду.

Второй закон Столетова. Максимальная начальная скорость фотоэлектронов зависит от частоты света и не зависит от его интенсивности (от величины светового потока), а, следовательно, максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов зависит так же прямо пропорционально от частоты падающего света и не зависит от его интенсивности.

Теоретическое объяснение второго закона Столетова предложил Альберт Эйнштейн. Он записал уравнение на основании закона сохранения энергии и гипотезы Планка

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}, \quad (1.3)$$

где $h\nu$ – энергия кванта света, падающего на фотокатод фотоэлемента; h – постоянная Планка; ν – частота; A – работа выхода электрона из металла; v – скорость электрона.

Работа выхода A зависит от выбранного материала и чистоты его поверхности. Из уравнения (1.3) найдем кинетическую энергию выбитых электронов

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - A, \quad (1.4)$$

тогда скорость фотоэлектронов можно определить соответственно

$$v = \sqrt{\frac{2(h\nu - A)}{m}}. \quad (1.5)$$

Следовательно, максимальная скорость вырванных фотоэлектронов зависит только от частоты света, вызывающего явление фотоэффекта. Если энергия фотона $h\nu$ больше работы выхода, то фотоэлектроны приобретают скорость тем большую, чем больше частота падающего света.

Третий закон Столетова. Для каждого вещества существует красная граница внешнего фотоэффекта, то есть минимальная частота света ν_0 , при которой еще возможен фотоэффект ($h\nu_0 = A$). Частота ν_0 зависит от химической природы вещества и состояния его поверхности.

Эта частота ν_0 (и соответствующая ей длина волны λ_0) называется «красной границей» (длинноволновой границей) фотоэффекта.

Из формулы (1.4) следует, что при частоте $\nu = \nu_0$, при которой энергия фотона равна работе выхода $h\nu_0 = A$ (уравнение Эйнштейна для красной границы фотоэффекта), кинетическая энергия фотоэлектрона равна нулю $\frac{mv^2}{2}$

$= 0$. Частота ν_0 и соответствующая ей длина волны $\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}$ и есть «красная

граница» фотоэффекта для данного вещества (c – скорость света). Ниже приведена табл. 1.1 значений длинноволновой границы для чистых металлов и сложных фотокатодов.

Таблица 1.1

Катод	$\lambda_0^{\circ}(\text{Å})$	Катод	$\lambda_0^{\circ}(\text{Å})$
Цезий	6200	Серебро	2600
Калий	5500	Платина	2300

Натрий	5500	Кислородно-цезиевый	14000
Цинк	2900	Сурьмяно-цезиевый	6700

Значения красной границы для различных фотокатодов

Из таблицы видно, что у большинства чистых металлов «красная граница» лежит в области ультрафиолетовой части спектра.

Из вольтамперной характеристики (рис. 1.2, а) видно, что при отсутствии напряжения между электродами фототок не равен нулю. Это означает, что электроны, вырываемые светом из катода, имеют некоторую начальную скорость, а следовательно, и кинетическую энергию $E_k = \frac{mv^2}{2}$ и могут достигнуть анода без наличия внешнего поля, образуя начальный ток.

Чтобы ослабить или совсем прекратить этот ток, необходимо создать тормозящее поле ($U < 0$). С возрастанием тормозящего поля величина фототока ослабевает постепенно, что свидетельствует о большом разнообразии скоростей

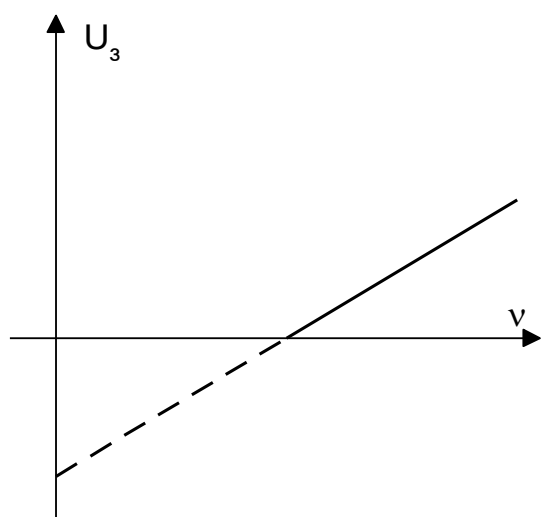


Рис.1.3. Зависимость задерживающей разности потенциалов от частоты падающего света

фотоэлектронов (электроны освобождаются не только из поверхностных, но и из более глубоких слоев катода). Если подобрать такую разность потенциалов $U_з$, при которой фототок становится равным нулю, то можно утверждать, что все электроны, даже самые быстрые, задерживаются тормозящим полем. Разность потенциалов, при которой фототок становится равным нулю, называется задерживающей разностью потенциалов.

Задерживающая разность потенциалов является линейной функцией частоты ν падающего света

(рис. 1.3) $eU = h\nu - A$.

Следовательно

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_з. \quad (1.6)$$

Из этого соотношения определяется максимальное значение скорости и кинетической энергии вырванных светом электронов.

Экспериментально установлено, что спектральная чувствительность γ зависит от длины световой волны. На рис. 1.4 приведены спектральные характеристики для некоторых чистых металлов. Из рисунка видно, что, начиная

от «красной границы», с уменьшением λ (с увеличением ν) происходит возрастание чувствительности фотокатода.

Перечисленные выше закономерности фотоэффекта не удалось объяснить с позиции волновой теории света.

Действительно, с точки зрения этой теории фотоэффект должен наблюдаться при любой частоте (длине волны) света. Энергия, получаемая электроном от падающей световой волны,

зависит от амплитуды волны. Следовательно, при любой длине волны, если свет обладает достаточной интенсивностью (т. е. достаточной амплитудой),

можно ожидать освобождения электронов из металла и «красной

границы» фотоэффекта не должно быть. Далее, с

волновой точки зрения, кинетическая энергия фотоэлектронов должна

была бы зависеть от интенсивности света, т. е. с увеличением интенсивности ему передавалась бы

большая энергия. Но опыты это не подтверждают. Можно также показать, что с волновой точки зрения фотоэффект не может быть безынерционен (что противоречит опыту).

Итак: ни наличие «красной границы», ни зависимость скорости электронов от величины светового потока, ни безынерционность фотоэффекта невозможно объяснить волновой теорией света. Эйнштейн, используя теорию Планка о квантах, предложил в 1905 г. новое объяснение фотоэффекта. Он предположил, что свет не только излучается, но и поглощается веществом отдельными порциями – фотонами, каждый из которых имеет энергию, равную

$$\varepsilon = h\nu, \quad (1.7)$$

где ν – частота света, $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка.

При падении пучка фотонов на поверхность металла происходит соударение фотонов с электронами. При этом фотон отдает электрону всю свою энергию. Возбужденный электрон, получив от фотона энергию, может выйти из металла. Применив закон сохранения энергии к этому процессу, Эйнштейн получил формулу (1.3)

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

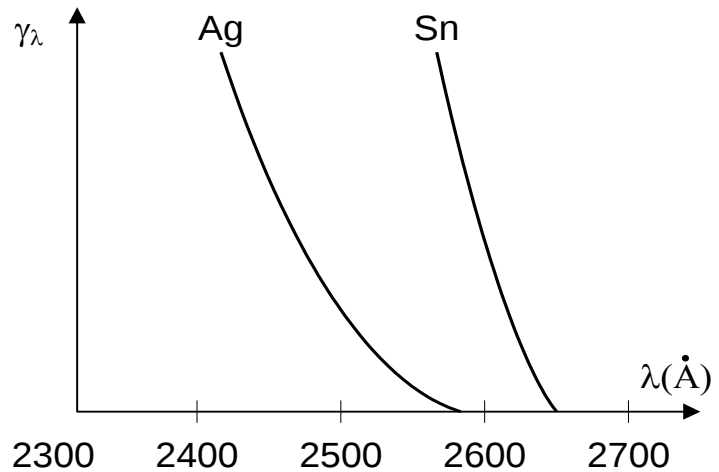


Рис.1.4. Спектральная чувствительность γ_λ фотокатода

где A – работа выхода электрона из металла (различна у разных металлов);
 $\frac{mv^2}{2}$ – кинетическая энергия вырванных электронов.

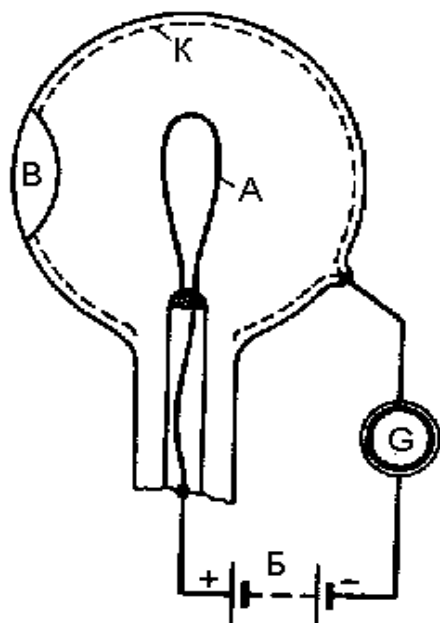


Рис. 1.5. Устройство фотоэлемента и схема его включения в цепь: А – анод; К – катод; В – прозрачное

С точки зрения квантовой теории можно объяснить все закономерности фотоэффекта. Так, из формулы Эйнштейна (1.3) видно, что энергия вырванных частиц – электронов зависит прямо пропорционально от частоты падающего света, то есть от энергии фотонов, и не зависит от интенсивности света. Закон Столетова: чем больше световой поток, тем больше число фотонов в этом потоке и, следовательно, больше будет вырванных электронов, то есть выше ток насыщения. Безынерционность фотоэффекта объясняется тем, что передача энергии при столкновении фотона с электроном происходит практически мгновенно.

Явление фотоэффекта широко применяется в технике (звуковое кино, автоматика). Все технические применения фотоэффекта основаны на использовании фотоэлементов. Фотоэлемент (рис. 1.5) состоит из стеклянного сосуда – баллона и двух электродов – катода и анода. Катод делается в виде тонкого слоя металла, который путем распыления наносится на

половину внутренней части баллона. От материала фотокатода зависит, к каким частотам электромагнитного излучения он будет чувствителен (смотрите табл. 1.1).

При достаточной разности потенциалов между катодом и анодом все электроны, вылетающие с фотокатода, будут собираться на аноде. В этом случае сила тока в приборе будет строго пропорциональна интенсивности падающего на фотокатод излучения, причем сила тока будет меняться мгновенно, «без инерции». Вакуумные сурьмяно-цезиевые фотоэлементы при рабочем напряжении 240 В обладают минимальной чувствительностью 80 мкА/лм. Анод выполнен в виде кольца или сетки. Существуют как вакуумные, так и газонаполненные фотоэлементы. В газонаполненных (инертным газом с давлением до 10^{-2} мм рт. ст.) фотоэлементах величина тока больше за счет ионизации выбитыми электронами нейтральных молекул газа. Вновь образованные электроны, двигаясь к аноду, в свою очередь производят повторную ионизацию. Усиление тока в газонаполненном фотоэлементе

происходит пропорционально освещенности и нарушается безынерционность. Область применения таких фотоэлементов ограничена.

Для усиления фототоков часто пользуются явлением, получившим название вторичной электронной эмиссии. Это явление заключается в том, что электроны, обладающие достаточной энергией, падая на поверхность металла, не только сами отражаются от этой поверхности, но и вызывают эмиссию новых электронов с этой поверхности. Усиленный электронный поток направляется на эмиттер и процесс умножения повторяется на всех последующих эмиттерах. Величина вторичной эмиссии характеризуется коэффициентом вторичной эмиссии σ – отношением числа вторичных электронов n_2 к числу первичных n_1 , вызывающих эмиссию:

$$\sigma = \frac{n_2}{n_1}. \quad (1.8)$$

В зависимости от вещества и энергии падающих электронов коэффициент вторичной эмиссии σ может достигать десяти и более. Явление вторичной эмиссии используется для усиления фототока. На рис.1.6 приводится схематическое изображение фотоэлемента с однократным вторичным усилением. Устройство фотоэлемента с однократным усилением аналогично устройству вакуумного фотоэлемента.

Светочувствительный слой, играющий роль первичного фотокатода, нанесен на внутренней поверхности стеклянного вакуумного баллончика и присоединен к отрицательному полюсу источника постоянного напряжения. На противоположной внутренней стороне баллона нанесен такой же светочувствительный слой D. Он является вторым электродом-эмиттером. Между катодом и эмиттером расположен третий электрод – анод, потенциал которого выше потенциала эмиттера. Фотоэлектроны, выбитые световым потоком с катода K, ускоряются электрическим полем и значительная их часть, пролетая через анод A, представляющий собой сетку, преодолевая встречное поле между анодом и эмиттером, попадает на вторичный эмиттер D, получивший название динода. Выбитые из него электроны меньших скоростей, чем первичные, собираются анодом.

Если коэффициент вторичной эмиссии электронов больше единицы, то сила тока в цепи анода будет больше силы первичного тока с катода, вызванного действием освещения.

Особенно высокое усиление дает прибор с многократным усилением тока за счет вторичной электронной эмиссии, изобретенный А.А. Кубецким и получивший название фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) (рис. 1.7).

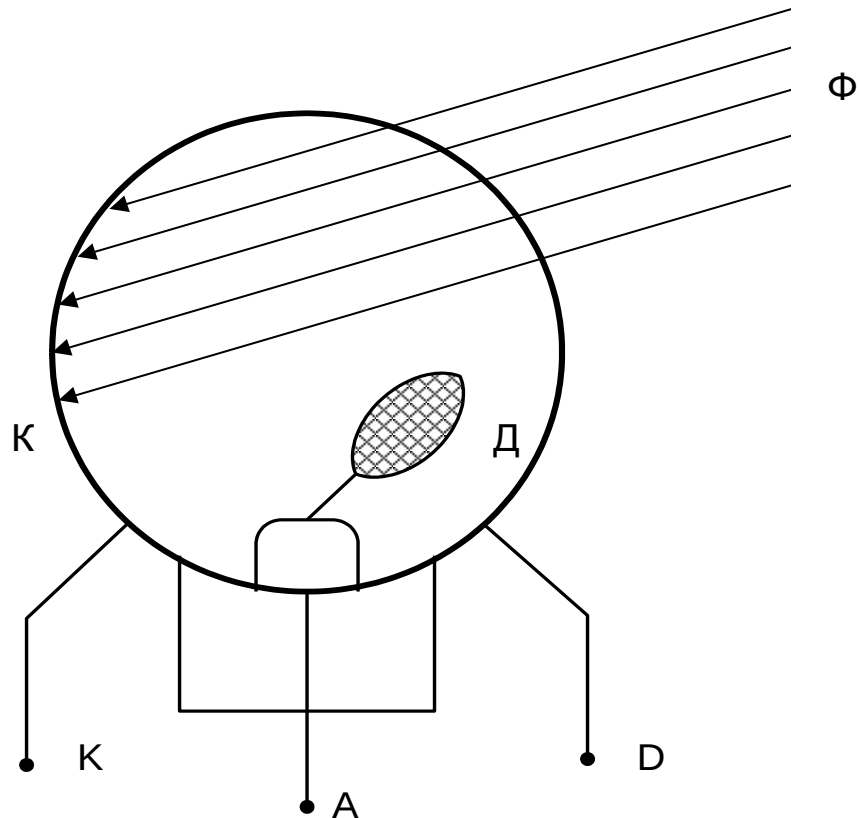


Рис. 1.6. Схема фотоэлемента с усилением фототока:
 К – катод; Д – динод; А – анод; Ф – световой поток

Фотоэлектронные умножители применяются, главным образом, для измерения малых световых потоков (астрономия и оптическая спектрометрия) и для регистрации кратковременных слабых световых вспышек (ядерная физика и техника).

Любое изображение можно рассматривать как многоканальную систему передачи информации, причем число каналов выражается числом разрешаемых элементов передаваемого изображения. Для этого используется набор $10^5 \div 10^6$ параллельных микроканалов, каждый из которых работает независимо, как отдельный каналный электронный умножитель.

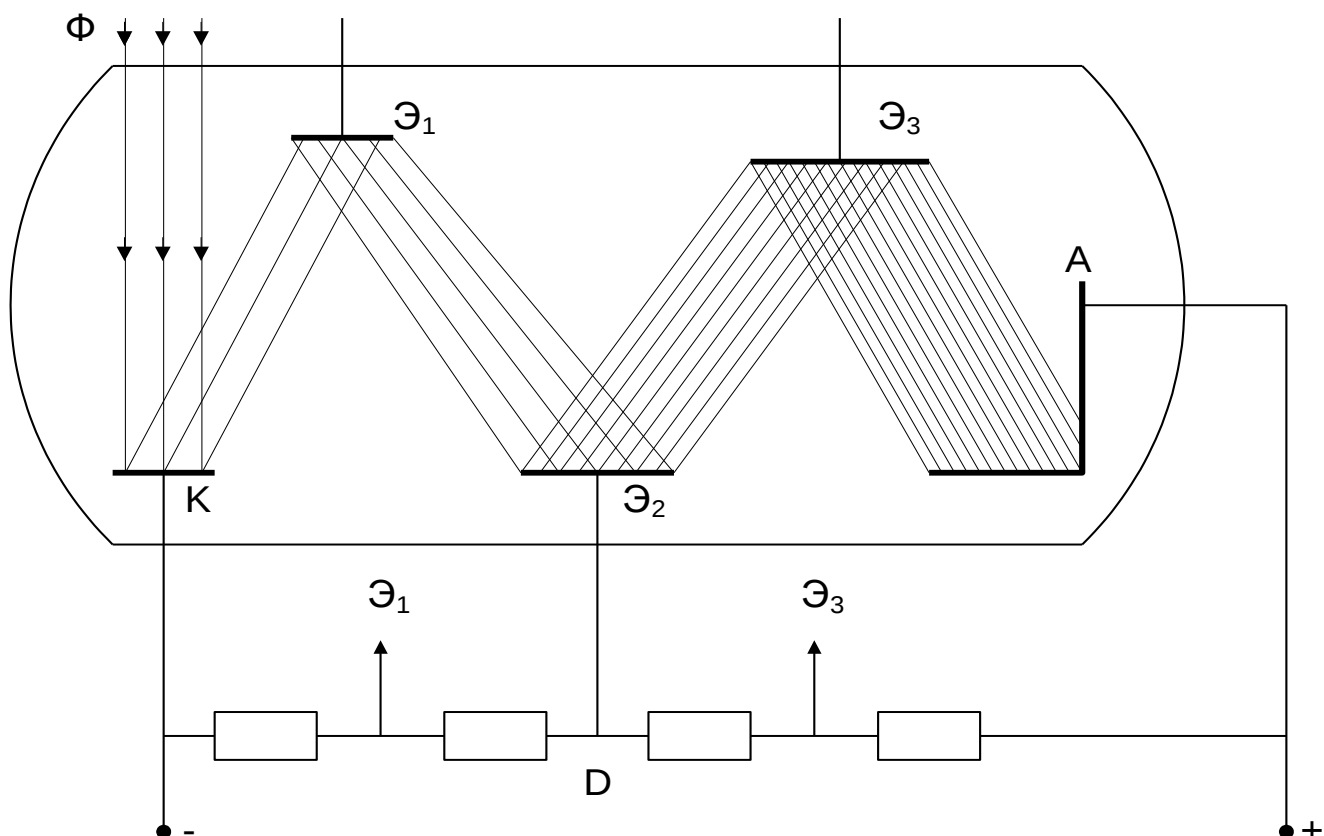


Рис. 1.7. Электрическая схема фотоэлектронного умножителя:

Φ – световой поток; К – фотокатод; $\mathcal{E}_1$, $\mathcal{E}_2$, $\mathcal{E}_3$ – диноды;

А – анод; D – делитель напряжения

Канальный умножитель – это трубка с длиной, превышающей диаметр в десятки раз (отношение длины к диаметру – 50). Трубка имеет проводящие стенки, благодаря чему приложенная между торцами разность потенциалов разносится током по всей ее длине. Внутри канала – вакуум. Вторично-электронным эмиттером служит внутренняя поверхность канала. Продольное электрическое поле внутри канала сообщает электрону скорость в направлении к анодному концу трубки. Электрон ударяется о стенку раньше, чем вылетит через анодное торцевое отверстие. Выбитые при этом вторичные электроны также двигаются в сторону анода и в свою очередь соударяются со стенкой и так далее. В качестве покрытия используется пленка металлического свинца либо ванадиево-фосфатного стекла. Коэффициент усиления достигает $10^8 \div 10^9$, диаметр канала – 1 мм, длина – 50 мм, напряжение – около 2 кВ. При столь большом усилении есть опасность ионной обратной связи: попадание ионов на вход вызывает повторный электронный сигнал. Для предотвращения этого эффекта канальным электронным умножителям придают изогнутую форму (спираль). Большими преимуществами умножителей яркости с микроканальными пластинками являются: 1) их компактность и легкая стыковка с обычной фотоаппаратурой; 2) ускоряющее напряжение сравнительно невелико, схема питания предельно проста, не требует магнитного поля и подфокусировок; 3) пространственное разрешение определяется только геометрией набора микроканалов, не зависит ни от напряжения, ни от усиления; 4) они исключают

локальные пересветки и ослепление наблюдателя. МКП отличаются высокой механической прочностью и не боятся контакта с атмосферным воздухом, их можно переносить из прибора в прибор.

Возможности нашего зрения рассматривает система тепловидения. Тепловидение позволяет получать видимое изображение по тепловому (инфракрасному) собственному или отраженному излучению, к которому не чувствителен наш глаз. Прибор, чувствительный к фотонам, испускаемым при тепловом излучении, называется прибором «ночного видения». Оптические сигналы преобразуются в электрические, которые затем усиливаются и воспроизводятся в виде изображения на видеоконтрольном устройстве.

В 70-х годах были созданы принципиально новые, более простые устройства, в которых тепловое изображение, без преобразования в электрические сигналы, проецируется на экран, покрытый тонким слоем вещества, изменяющего свои оптические характеристики (коэффициент отражения или пропускания, интенсивность или цвет свечения) под воздействием теплового излучения. На экране можно наблюдать видимые изображения и фотографировать их. В качестве температурно-чувствительных веществ используются жидкие кристаллы, кристаллические люминофоры, полупроводниковые пленки, тонкие магнитные пленки.

Системы тепловидения применяются для обзора местности, охраны окружающей среды, обнаружения лесных пожаров, контроля качества продукции. Преимуществом систем тепловидения является их способность работать в любое время суток и в неблагоприятных погодных условиях.

Метод измерения

Для проведения лабораторной работы используется установка ФПК-10 (рис. 2.1). Установка позволяет исследовать вольтамперные характеристики в широком интервале освещенностей. Пределы измерения анодного напряжения в прямом режиме $0 \div 5$ В, в обратном – $0 \div 2,5$ В. Пределы измерения фототока от 0 до 9,99 мкА.

Установка состоит из объекта исследования и устройства измерительного, выполненных в виде конструктивно законченных изделий, устанавливаемых на лабораторном столе и соединенных между собой кабелем.

Объекта исследования конструктивно выполнен в виде сборного корпуса, в котором установлены осветитель (ртутная лампа) с источником питания, блок интерференционных светофильтров 1-4 и устройства регулировки освещенности. Положение «0» блока светофильтров соответствует положению света без светофильтров и может применяться для снятия интегральных вольтамперных и люксамперных характеристик, а положение «5» – перекрывает лампу и используется для установки нуля. К корпусу с помощью кронштейна прикреплен усилитель фототока, на верхнюю крышку которого устанавливаются сменные фотоприемники с фотоэлементами Ф-8 и Ф-25. При установке фотоприемников их приемное окно совмещают с выходным окном осветителя и закрывают при помощи бленды.

На передней панели объекта исследования находится 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 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.



Рис. 2.1. Установка ФПК-10

Устройство измерительное выполнено в виде конструктивно законченного изделия. В нем применена однокристалльная микро-ЭВМ с соответствующими дополнительными устройствами, позволяющими производить измерения тока фотоэлемента, установленного в объекте исследования, устанавливать и измерять питающее напряжение 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 и 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 при помощи сетевого шнура подключается к сети 220 В, 50 Гц.

Порядок выполнения работы

- 3.1. Включить приборы в сеть.
- 3.2. Установить в положение «5» блок светофильтров и регуляторами баланса усилителя «грубо» и «точно» отрегулировать показания вольтметра и микроамперметра до нуля.
- 3.3. Дать лампе осветителя прогреться в течение 15 минут.**
- 3.4. Установить светофильтр 1 ($\lambda = 407$ нм).
- 3.5. Снять вольтамперную характеристику при максимальной освещенности (крайнее положение кольца устройства регулировки освещенности при его повороте по часовой стрелке) для прямого напряжения, данные занести в табл. 3.1.

Таблица 3.1

U, В	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
I, мкА											

- 3.6. Нажать кнопку «сброс» и установить обратное напряжение.
- 3.7. Уменьшить ток до нуля и определить запирающее напряжение.
- 3.8. Снять вольтамперную характеристику при максимальной освещенности для обратного напряжения, данные занести в табл. 3.2.

Таблица 3.2

U, В	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
I, мкА									

- 3.9. Прodelать пункты 3.5–3.8 для минимальной освещенности (крайнее положение кольца устройства регулировки освещенности при его повороте против часовой стрелки).
- 3.10. Построить графики зависимости $I = f(U)$ для максимальной и минимальной освещенностей на миллиметровой бумаге.
- 3.11. Установить светофильтр 4.

- 3.12. Прodelать пункты 3.5–3.7 и 3.9–3.10 для светофилтра 4 ($\lambda = 578$ нм).
- 3.13. Сравнить для светофилтров 1 и 4 токи насыщения при $U = 5$ В.
- 3.14. Определить кинетическую энергию фотоэлектрона для 1 светофилтра по формуле $T = eU$, где e – заряд электрона, U – запирающее напряжение.
- 3.15. Определить максимальную скорость фотоэлектрона для 1 светофилтра по формуле $v_{\max} = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$, где m – масса электрона.
- 3.16. Определить работу выхода фотоэлектрона из металла для 1 светофилтра по формуле $A = \frac{hc}{\lambda} - eU$, где h – постоянная Планка, c – скорость света в вакууме, λ – длина волны.
- 3.17. Определить красную границу фотоэффекта по формуле $\nu_0 = \frac{A}{h}$.

Примечания:

1. Длины волн пропускания интерференционных светофилтров: 407 нм (1), 435 нм (2), 546 нм (3), 578 нм (4). В скобках указаны номера светофилтров, указанные на установке.
2. Знак «минус» при обратном режиме измерения не индицируется.
3. Режим работы установки прерывистый – через каждые 45 минут работы делается перерыв на 15-20 минут.

Контрольные вопросы

1. Какой фотоэффект называется внешним? Основные законы внешнего фотоэффекта.
2. Объяснить законы фотоэффекта с точки зрения квантовой теории.
3. Можно ли объяснить фотоэффект с точки зрения классической электродинамики?
4. Назвать типы фотоэлементов.
5. Дать определения светового потока, освещенности, силы света. Сформулировать законы освещенности.
6. Что такое вторичная электронная эмиссия? Конструкция фотоэлектронных умножителей.

Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2, ЛР4, ЛР23, ЛР30

Лабораторная работа № 17

Тема: Изучение треков заряженных частиц по готовым фотографиям.

Цель: объяснить характер движения заряженных частиц.

Оборудование: фотографии треков заряженных частиц, полученных в камере Вильсона, пузырьковой камере и фотоэмульсии.

Теоретическое обоснование

При выполнении данной лабораторной работы следует помнить, что:

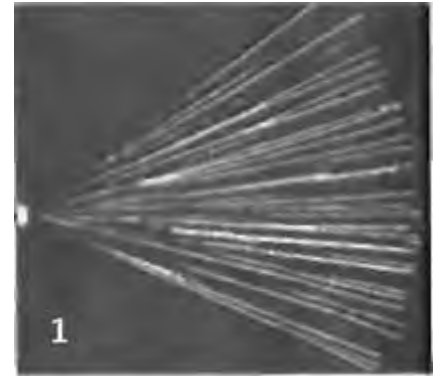
- а. длина трека тем больше, чем больше энергия частицы (и чем меньше плотность среды);
- б. толщина трека тем больше, чем больше заряд частицы и чем меньше ее скорость;
- в. при движении заряженной частицы в магнитном поле трек ее получается искривленным, причем радиус кривизны трека тем больше, чем больше масса и скорость частицы и чем меньше ее заряд и модуль индукции магнитного поля;
- г. частица двигалась от конца трека с большим радиусом кривизны к концу с меньшим радиусом кривизны (радиус кривизны по мере движения уменьшается, так как из-за сопротивления среды уменьшается скорость частицы).

Порядок выполнения работы

Задание 1. На двух из трех представленных вам фотографий (рис. 1, 2 и 3) изображены треки частиц, движущихся в магнитном поле. Укажите на каких. Ответ обоснуйте.

Задание 2. Рассмотрите фотографию треков α -частиц, двигавшихся в камере Вильсона (рис. 1), и ответьте на данные ниже вопросы:

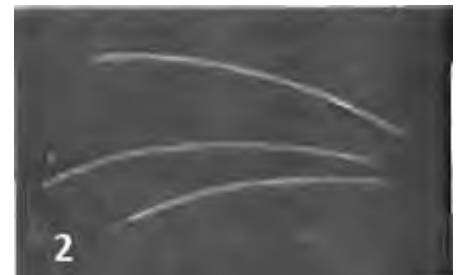
1. В каком направлении двигались α -частицы?
2. Длина треков α -частиц примерно одинакова. О чем это говорит?
3. Как менялась толщина трека по мере движения частиц? Что из этого следует?



Задание 3. На рисунке 2 дана фотография треков α -частиц в камере Вильсона, находившейся в магнитном поле.

Определите по этой фотографии:

1. Почему менялись радиус кривизны и толщина треков по мере движения α -частиц?
2. В какую сторону двигались частицы?



Задание 4. На рисунке 3 дана фотография трека электрона в пузырьковой камере, находившейся в магнитном поле. Определите по этой фотографии:

1. Почему трек имеет форму спирали?
2. В каком направлении двигался электрон?
3. Что могло послужить причиной того, что трек электрона на рисунке 3 гораздо длиннее треков α -частиц на рисунке 2



Время выполнения: 2 часа

Контролируемые компетенции: ОК 01-ОК 07; Л.1.-Л.6.; М.1.-М.6.; П.1.-П.7.; ЛР2,

Критерии оценки:

- Оценка «5» ставится, если учащийся выполняет работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений; самостоятельно рационально монтирует необходимые оборудование; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; соблюдает требования правил безопасности труда; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно выполняет анализ погрешностей.
- Оценка «4» ставится, если выполнены требования к оценке «5», но были допущены два-три недочета, не более одной негрубой ошибки и одного недочета.
- Оценка «3» ставится, если работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, позволяет получить правильные результаты и выводы: если в ходе проведения опыта и измерений были допущены ошибки.
- Оценка «2» ставится, если работа выполнена не полностью и объем выполненной части работ не позволяет сделать правильных выводов: если, опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

Перечень используемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основные источники:

1. Логвиненко, О.В., Физика + eПриложение : учебник / О.В. Логвиненко. — Москва : КноРус, 2022. — 437 с. — ISBN 978-5-406-08888-3. — URL:<https://book.ru/book/941758>. — Текст : электронный.
2. Мякишев, Г. Я., Буховцев, Б. Б., Сотский, Н. Н. / Под ред. Парфентьевой Н. А. Физика. Учебник для 10 кл. - М.: Издательство «Просвещение», 2019. - 416 с.
3. Мякишев, Г. Я., Буховцев, Б. Б., Чаругин, В.М. / Под ред. Парфентьевой Н. А. Физика. Учебник для 11 кл. - М.: Издательство «Просвещение», 2019. - 399 с.

Дополнительные источники:

1. Дмитриева, В. Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для образовательных учреждений начального и среднего профессионального образования / В. Ф. Дмитриева. - 2-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2017. - 448 с.
2. Трофимова, Т.И., Курс физики с примерами решения задач в 2-х томах. Том 1 : учебник / Т.И. Трофимова, А.В. Фирсов. — Москва : КноРус, 2022. — 577 с. — ISBN 978-5-406-09078-7. — URL:<https://book.ru/book/942134>. — Текст : электронный.
3. Трофимова, Т.И., Курс физики с примерами решения задач в 2-х томах. Том 2 : учебник / Т.И. Трофимова, А.В. Фирсов. — Москва : КноРус, 2022. — 378 с. — ISBN 978-5-406-09079-4. — URL:<https://book.ru/book/942135>. — Текст : электронный.
4. Трофимова, Т.И., Физика. Теория, решение задач, лексикон. : справочное издание / Т.И. Трофимова. — Москва : КноРус, 2022. — 315 с. — ISBN 978-5-406-09691-8. — URL:<https://book.ru/book/943640>. — Текст : электронный.
5. Трофимова, Т.И., Физика от А до Я : справочное издание / Т.И. Трофимова. — Москва : КноРус, 2022. — 301 с. — ISBN 978-5-406-09292-7. — URL:<https://book.ru/book/942835>. — Текст : электронный.

Перечень Интернет-ресурсов:

1. Виртуальная лаборатория - efizika.ru
2. Банк заданий PISA ЕНГ - Режим доступа: [>...PISA...estestvennonauchnaya.../;](http://www.mobuschool.02edu.ru)
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. - Режим доступа: <http://school-collection.edu.ru/catalog/pupil/?subject=30>;
4. КМ-школа. - Режим доступа: <http://www.km-school.ru/> ;
5. Открытая физика. - Режим доступа: <http://www.physics.ru/courses/op25part2/design/index.htm>;
6. Платформа ЯКласс - Режим доступа: <http://www.yaklass.ru>;
7. Российская электронная школа - Режим доступа: <http://www.reshe.edu.ru>;

8. Физика.ш. - Режим доступа: <http://www.fizika.ru>;
9. ФИПИ (ВПР 11 класс) - Режим доступа: <http://www.fipi.ru> /;
10. Электронный учебник - Режим доступа: <http://www.physbook.ru/>.