

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Нестерова Людмила Викторовна

Должность: Директор филиала Инди (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ»

Дата подписания: 05.02.2024 14:57:06

Уникальный программный ключ:

381fbe5f0c4ccc6e500e8bc981c25bb218288e83

Индустриальный институт (филиал)

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Югорский государственный университет»

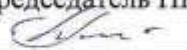
(Инди (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ»)


Методические указания

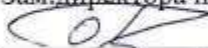
по выполнению лабораторных (практических) работ

ООД 06 Физика

21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

РАССМОТРЕНО
Предметной цикловой
комиссией МиЕНД
Протокол № 1 от 7.09.23
Председатель ПЦК
 Е.С. Игнатенко

УТВЕРЖДЕНО
заседанием методсовета
Протокол № 1 от 21.09.2023г.
Старший методист
 Г.Р. Давлетбаева

СОГЛАСОВАНО
Зам.директора по ОД
 О.В. Гарбар

Методические указания по выполнению лабораторных работ по учебной дисциплине «Физика» разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины для специальности 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Организация-разработчик: Индустриальный институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Югорский государственный университет».

Разработчик: Шумскис В.В. – преподаватель ИнДИ (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ».

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Пояснительная записка	4
2. Требования к выполнению и оформлению лабораторной работы	7
3. Методика оценки погрешностей измерений при выполнении лабораторной работы	9
4. Перечень лабораторных работ	12
5. Информационные источники	70

1. Пояснительная записка

Методические указания по выполнению лабораторных и практических работ по учебной дисциплине «Физика» разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины и предназначены для приобретения необходимых практических навыков и закрепления теоретических знаний, полученных обучающимися при изучении учебной дисциплины «Физика», обобщения и систематизации знаний перед экзаменом. Методические указания предназначены для обучающихся специальности 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Учебная дисциплина «Физика» является общеобразовательной учебной дисциплиной, изучается на 1 курсе и при ее изучении отводится значительное место выполнению лабораторных и практических работ.

Освоение содержания учебной дисциплины «Физика» во время выполнения лабораторных работ обеспечивает достижение обучающимися следующих **результатов:**

личностных

- чувство гордости и уважения к истории и достижениям отечественной физической науки; физически грамотное поведение в профессиональной деятельности и быту при обращении с приборами и устройствами;
- готовность к продолжению образования и повышению квалификации в избранной профессиональной деятельности и объективное осознание роли физических компетенций в этом;
- умение использовать достижения современной физической науки и физических технологий для повышения собственного интеллектуального развития в выбранной профессиональной деятельности;
- умение самостоятельно добывать новые для себя физические знания, используя для этого доступные источники информации;
- умение выстраивать конструктивные взаимоотношения в команде по решению общих задач;
- умение управлять своей познавательной деятельностью, проводить самооценку уровня собственного интеллектуального развития;

метапредметных

- использование различных видов познавательной деятельности для решения физических задач, применение основных методов познания (наблюдения, описания, измерения, эксперимента) для изучения различных сторон окружающей действительности;
- использование основных интеллектуальных операций: постановки задачи, 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, с которыми возникает необходимость сталкиваться в профессиональной сфере;
- умение генерировать идеи и определять средства, необходимые для их реализации;
- умение использовать различные источники для получения физической информации, оценивать ее достоверность;
- умение анализировать и представлять информацию в различных видах;
- умение публично представлять результаты собственного исследования, вести дискуссии, доступно и гармонично сочетая содержание и формы представляемой информации;

предметных

- сформированность 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;
- владение основополагающими физическими понятиями, закономерностями, законами и теориями; уверенное использование физической терминологии и символики;
 - владение основными методами научного познания, используемыми в физике: наблюдением, описанием, измерением, экспериментом;
 - умения обрабатывать результаты измерений, обнаруживать зависимость между физическими величинами, объяснять полученные результаты и делать выводы;
 - сформированность умения решать физические задачи;
 - сформированность умения применять полученные знания для объяснения условий протекания физических явлений в природе, профессиональной сфере и для принятия практических решений в повседневной жизни;
 - сформированность собственной позиции по отношению к физической информации, получаемой из разных источников.

Выполнение практических работ возможно как с использованием лабораторного оборудования, так и без него (решение теоретических задач). При выполнении практической работы с использованием лабораторного оборудования обучающиеся в дополнение к экспериментальной части могут получить дополнительное задание, направленное на формирование профессиональных навыков для дальнейшего изучения физики, а также необходимое для проверки знаний (в том числе контрольные вопросы, тест).

Комплекты лабораторного оборудования по темам рабочей программы являются частью состава типового учебного оборудования для оснащения кабинета физики. Для лабораторных экспериментов на учебных занятиях применяются лабораторные комплекты: по механике, электродинамике, молекулярной физике, оптике.

Лабораторные комплекты позволяют:

- проводить лабораторные работы;
- выполнять учебные опыты в соответствии с рабочей программой;
- выполнять экспериментальные исследования в процессе проектной деятельности обучающихся;
- выполнять блок экспериментальных заданий в ходе самостоятельной работы.

При проведении лабораторных и практических работ выбирается соответствующая тема и наименование лабораторной (практической) работы из Перечня лабораторных (практических) работ.

Перечень лабораторных (практических) работ

№ п/п	Название темы	Наименование лабораторных (практических) работ	Кол-во часов
1.	Динамика	Изучение движения тела под действием постоянной силы	2
2.	Законы сохранения в механике	Изучение закона сохранения импульса	2
3.	Законы сохранения в механике	Изучение закона сохранения механической энергии	2
4.	Основы молекулярно-кинетической теории	Изучение одного из изопроцессов	2
5.	Электрическое поле	Определение электрической емкости конденсатора	2
6.	Законы постоянного тока	Определение удельного сопротивления проводника	1
7.	Законы постоянного тока	Исследование зависимости сопротивления проводника от его длины	1
8.	Законы постоянного тока	Изучение законов последовательного и параллельного соединений проводников	1
9.	Законы постоянного тока	Изучение смешанного соединения проводников	1
10.	Законы постоянного тока	Измерение электродвижущей силы и сопротивления источника тока	2
11.	Электрический ток в различных средах	Определение электрохимического эквивалента меди	2
12.	Электрический ток в различных средах	Электрический ток в различных средах	2
13.	Электромагнитная индукция	Изучение явления электромагнитной индукции	2
14.	Механические колебания и волны	Изучение зависимости периода колебаний нитяного маятника от длины подвеса и массы груза	2
15.	Электромагнитные колебания и волны	Изучение работы трансформатора	2
16.	Оптика	Определение показателя преломления стекла	2
17.	Оптика	Построение изображения в линзах	2
18.	Волновые свойства света	Определение длины световой волны с помощью дифракционной решетки	2
19.	Волновые свойства света	Интерференция света. Дифракция света	2

2. Требования к выполнению и оформлению лабораторной работы

Лабораторные работы выполняются обучающимися в аудитории под непосредственным руководством преподавателя и при строгом соблюдении требований безопасности и охраны труда.

Лабораторные работы сопровождается выполнением измерений и вычислений. По результатам выполненной работы составляется отчет.

Отчет по выполнению лабораторной работы обучающимся должен содержать:

1. Название и номер лабораторной работы;
2. Наименование темы лабораторной работы;
3. Цель лабораторной работы;
4. Краткое описание лабораторной установки (если использовалась);
5. Методы измерений;
6. Ход лабораторной работы;
7. Результаты измерений и вычислений (обычно в виде таблиц) с обязательным указанием единиц измерения;
8. Результаты отдельных измерений;
9. Результаты обработки полученных экспериментальных данных с оценкой погрешности измерений;
10. Графики, схемы, чертежи;
11. Основные расчетные формулы с указанием величин, подлежащих измерению (все буквенные величины, входящие в формулы, должны быть объяснены);
12. Расчет и подробный анализ полученных результатов;
13. Выводы.

Выполненная лабораторная работа оценивается по пятибалльной системе оценивания.

Оценка «5» ставится в том случае, если обучающийся:

- а) выполнил работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений;
- б) самостоятельно и рационально выбрал и подготовил для опыта необходимое оборудование, все опыты провел в условиях и режимах, обеспечивающих получение результатов и выводов с наибольшей точностью;
- в) в представленном отчете правильно и аккуратно выполнил все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления и сделал выводы;
- г) правильно выполнил анализ погрешностей;
- д) соблюдал требования безопасности труда.

Оценка «4» ставится в том случае, если выполнены требования к оценке «5», но:

- а) опыт проводился в условиях, не обеспечивающих достаточной точности измерения,
- б) или было допущено два-три недочета, или не более одной негрубой ошибки и одного недочета.

Оценка «3» ставится, если работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы, или если в ходе проведения опыта и измерений были допущены следующие ошибки:

- а) опыт проводился в нерациональных условиях, что привело к получению результатов с большей погрешностью,
- б) или в отчете были допущены в общей сложности не более двух ошибок (в записях единиц, измерениях, в вычислениях, графиках, таблицах, схемах, анализе погрешностей и т. д.), не принципиального для данной работы характера, но повлиявших на результат выполнения,
- в) или не выполнен совсем или выполнен неверно анализ погрешностей;
- г) или работа выполнена не полностью, однако объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы по основным, принципиально важным задачам работы.

Оценка «2» ставится в том случае, если:

- а) работа выполнена не полностью, и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов,
- б) или опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно,
- в) или в ходе работы и в отчете обнаружилось в совокупности все недостатки, отмеченные в требованиях к оценке «3».
- г) обучающийся совсем не выполнил работу или не соблюдал требований безопасности труда.

3. Методика оценки погрешностей измерений при выполнении лабораторной работы

При выполнении лабораторных работ следует осуществлять выполнение расчётов с учетом погрешностей измерений.

Абсолютная погрешность. При всяком измерении физическая величина сравнивается с однородной величиной, принятой за единицу. Если записано, что масса тела равна 5 кг, то это именованное число (значение массы тела) есть произведение числового значения физической величины на единицу массы (кг). Измерить массу тела — это и значит определить, во сколько раз масса тела отличается от массы эталона. Сравнение с эталоном происходит косвенно. Например, массу данного тела мы сравниваем с массой гири. Следовательно, посредством специальных, достаточно сложных процедур необходимо «проградуировать» гири весов, сравнив их с эталоном. При этом массы гири не точно равны так называемым *номинальным* значениям, которые на них написаны. И хотя нельзя сказать, чему равно истинное значение массы, однако завод-изготовитель гарантирует тот интервал значений, внутри которого находится истинное значение массы гири.

В физике и технике не существует абсолютно точных приборов и других средств измерения, следовательно, нет и абсолютно точных способов измерения. Даже основные физические константы известны с определенными погрешностями. Например, постоянная Авогадро, по последним данным, равна

$N_A = (6,022045 \pm 0,000031) \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$. Это значит, что истинное значение неизвестно, но достоверно (с вероятностью, близкой к 1) можно утверждать, что оно принадлежит интервалу значений $6,022014 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} < N_A < 6,022076 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Процесс измерения только тогда считается завершенным, когда указано не только число $x_{\text{изм}}$, которое принято за результат измерения, но и число Δx , которое позволяет определить интервал $[x_{\text{изм}} - \Delta x; x_{\text{изм}} + \Delta x]$, достоверно (с вероятностью, близкой к 1) содержащий неизвестное экспериментатору истинное значение измеряемой величины. Величина Δx называется *границей абсолютной погрешности*. Она показывает на сколько неизвестное экспериментатору истинное значение измеряемой величины может отличаться от измеренного значения.

Относительная погрешность. Качество измерений характеризуется *относительной погрешностью* $\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{\text{изм}}}$, равной отношению абсолютной погрешности к значению величины, получаемой в результате измерения.

Знание абсолютных погрешностей необходимо при выполнении вычислений, при построении графиков, при использовании таблиц.

После того как вычислена абсолютная погрешность, ее значение обычно округляется до одной значащей цифры. После этого и результат измерения записывается с числом десятичных знаков, не большим, чем их имеется в абсолютной погрешности. Например, запись $v = (0,56032 \pm 0,028) \text{ м/с}$ не совсем удачна. Желательно записать: $\Delta v = 0,03$ и $v = (0,56 \pm 0,03) \text{ м/с}$.

Погрешности прибора и отсчета.

Способ определения значения измеряемой величины и абсолютной погрешности зависит от вида измерений и их методики. Измерения, в которых результат находится непосредственно в процессе считывания со шкалы (или показаний цифрового прибора), называются *прямыми*.

Погрешность прямого измерения складывается из погрешности средства измерения (прибора, инструмента) $\Delta_{\text{пр}}$ и погрешности отсчета $\Delta_{\text{отсч}}$: $\Delta = \Delta_{\text{пр}} + \Delta_{\text{отсч}}$. Погрешность средства измерения определяется на заводе-изготовителе. Например, динамометр для лабораторных работ имеет погрешность $\Delta_{\text{д}} = 0,05$ Н, амперметр и вольтметр для лабораторных работ — погрешности $\Delta_{\text{А}} = 0,05$ А и $\Delta_{\text{В}} = 0,15$ В соответственно.

Простейшие правила для погрешностей. В большинстве случаев измерения являются *косвенными*, когда результат определяется на основе расчетов. Так, например, определяется электрическое сопротивление

($R = \frac{U}{I}$), импульс ($p = mv$), работа ($A = Fs$) и т. п. Легко получить два простейших правила, позволяющих определить погрешность косвенных измерений:

- 1) если $f = xy$ или $f = \frac{x}{y}$, то $\epsilon_f = \epsilon_x + \epsilon_y$;
- 2) если $g = x \pm y$, то $\Delta_g = \Delta_x + \Delta_y$.

Вид функции	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
$f = x \pm y$	$\Delta f = \Delta x + \Delta y$	$\epsilon_f = \frac{\Delta x + \Delta y}{x \pm y}$
$f = xy$	$\Delta f = x \cdot \Delta y + y \cdot \Delta x$	$\epsilon_f = \epsilon_x + \epsilon_y$
$f = x/y$	$\Delta f = (x \cdot \Delta y + y \cdot \Delta x)/y^2$	
$f = x^n$	$\Delta f = nx^{n-1} \Delta x$	$\epsilon_f = n\epsilon_x$
$f = \sqrt[n]{x}$	$\Delta f = \frac{\Delta x}{n\sqrt[n]{x^{n-1}}}$	$\epsilon_f = \frac{1}{n} \epsilon_x$
$f = \sin x$	$\Delta f = \cos x \cdot \Delta x$	$\epsilon_f = \text{ctg } x \Delta x$
$f = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$	$\Delta f = \frac{\Delta x}{x^2} + \frac{\Delta y}{y^2}$	$\epsilon_f = \frac{\Delta x/x^2 + \Delta y/y^2}{1/x + 1/y}$

Повторные измерения. Часто при проведении повторных измерений какой-либо величины получаются несколько различные результаты, отличающиеся друг от друга больше, чем сумма погрешностей прибора и отсчета. Это вызвано действием случайных факторов, которые невозможно устранить в процессе эксперимента. Так, например, при измерении диаметра цилиндрического проводника микрометром разные показания возникают вследствие того, что при изготовлении проводника его диаметр в разных местах оказался разным, да и форма его не строго цилиндрическая. На уравнивание весов влияет трение коромысла на оси. При измерении токов и напряжений на результаты влияет нестабильность напряжения в сети и т. д. Погрешности такого рода называют *случайными*.

Если появляются случайные погрешности, то для их учета следует измерения повторить несколько раз и за результат измерения принять среднее арифметическое результатов отдельных измерений.

Пусть проведено n измерений и получены числовые значения измеряемой величины $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$; тогда за результат измерения принимается среднее арифметическое значение результатов отдельных измерений: $x = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$.

Отметим также тот факт, что учет систематических погрешностей в предложенных далее лабораторных работах затруднен ввиду того, что устранить их крайне сложно. Исходя из этого погрешность в предложенных лабораторных работах будет рассчитана без учета систематических погрешностей.

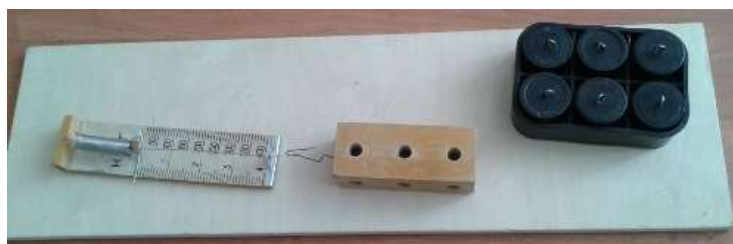
4. Перечень лабораторных (практических) работ

Лабораторная (практическая) работа № 1

Изучение движения тела под действием постоянной силы

Цель работы: выяснить, зависит ли сила трения скольжения от силы нормального давления, если зависит, то как; определить коэффициент трения дерева по дереву.

Оборудование: динамометр, деревянный брусок, деревянная линейка или деревянная плоскость, набор грузов по 100 г.



Теория

Сила трения – это сила, которая возникает в том месте, где тела соприкасаются друг с другом, и препятствует перемещению тел.

Сила трения - это сила электромагнитной природы.

Возникновение силы трения объясняется двумя причинами:

- 1) Шероховатостью поверхностей;
- 2) Проявлением сил молекулярного взаимодействия.

Силы трения всегда направлены по касательной к соприкасающимся поверхностям и подразделяются на силы трения покоя, скольжения, качения.

В данной работе исследуется зависимость силы трения скольжения от веса тела.

Сила трения скольжения – это сила, которая возникает при скольжении предмета по какой-либо поверхности. По модулю она почти равна максимальной силе трения покоя. Направление силы трения скольжения противоположно направлению движения тела.

Сила трения в широких пределах не зависит от площади соприкасающихся поверхностей. В данной работе надо будет убедиться в том, что сила трения скольжения пропорциональна силе давления (силе реакции опоры):

$F_{тр} = \mu N$, где μ – коэффициент пропорциональности, называется коэффициентом трения. Он характеризует не тело, а сразу два тела, трущихся друг о друга.

Ход работы:

1. Определите цену деления шкалы динамометра.
2. Определите массу бруска. Подвесьте брусок к динамометру, показания динамометра - это вес бруска. Для нахождения массы бруска разделите вес на g . Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$.

3. Положите брусок на горизонтально расположенную деревянную линейку. На брусок поставьте груз 100 г.
4. Прикрепив к бруску динамометр, как можно более равномерно тяните его вдоль линейки. Запишите показания динамометра, это и есть величина силы трения скольжения.
5. Добавьте второй, третий, четвертый грузы, каждый раз измеряя силу трения. С увеличением числа грузов растёт сила нормального давления.
6. Результаты измерений занесите в таблицу.

Таблица 1. Результаты измерений

№ опыта	Масса бруска, m_1 , кг	Масса груза, m_2 , кг	Общий вес тела (сила нормального давления), $P=N=(m_1+m_2)g$, Н	Сила трения, $F_{тр}$, Н	Коэффициент трения, μ	Среднее значение коэффициента трения, $\mu_{ср}$
1						
2						
3						
4						
5						

7. Сделайте вывод: зависит ли сила трения скольжения от силы нормального давления, и если зависит, то как?

8. В каждом опыте рассчитать коэффициент трения по формуле:
$$\mu = \frac{F_{тр}}{N} \quad (1)$$

Принять $g=10 \text{ м/с}^2$.

9. Результаты расчётов занести в таблицу.
10. По результатам измерений постройте график зависимости силы трения от силы нормального давления. При построении графика по результатам опытов экспериментальные точки могут не оказаться на прямой, которая соответствует формуле. Это связано с погрешностями измерения. В этом случае график надо проводить так, чтобы примерно одинаковое число точек оказалось по разные стороны от прямой. После построения графика возьмите точку на прямой (в средней части графика), определите по нему соответствующие этой точке значения силы трения и силы нормального давления и вычислите коэффициент трения. Это и будет средним значением коэффициента трения. Запишите его в таблицу.

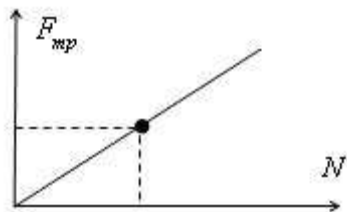


Рисунок 1. Пример построения графика

11. Исходя из цели работы, запишите вывод и ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что называется силой трения?
2. Какова природа сил трения?
3. Назовите основные причины, от которых зависит сила трения?
4. Перечислите виды трения.
5. Можно ли считать явление трения вредным? Почему?

Лабораторная (практическая) работа № 2

Изучение закона сохранения импульса

Цель работы: экспериментально подтвердить справедливость закона сохранения импульса для двух шаров разной массы при их центральном столкновении.

Оборудование: весы; желоб криволинейный, рулетка, стальной шарик, пластиковый шарик, стержень штатива с муфтой, укладочный пенал, листы белой и копировальной бумаги.

Теория

Величина, равная произведению массы материальной точки на ее скорость, называется импульсом.



Рисунок 2. Импульс тела

$$P = mv$$

p — импульс тела

m — масса тела

v — скорость тела

Импульс тела направлен в ту же сторону, что и скорость тела. Единицей измерения импульса в СИ является $1 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с}$. Изменение импульса тела происходит при взаимодействии тел, например, при ударах. Для системы материальных точек полный импульс равен сумме импульсов. При этом следует иметь в виду, что импульс — это векторная величина, и поэтому в общем случае импульсы складываются как векторы, т.е. по правилу параллелограмма.

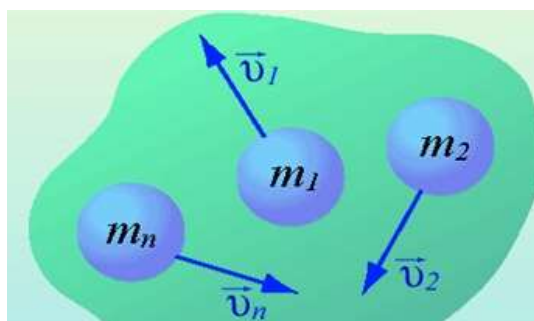


Рисунок 3. Импульсы тел

$$\vec{p}_{сист} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n \quad (1)$$

Если на систему тел не действуют внешние силы со стороны других тел, такая система называется замкнутой. Замкнутая система – это система тел, которые взаимодействуют только друг с другом.

Закон сохранения импульса: в замкнутой системе векторная сумма импульсов всех тел, входящих в систему, остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой.

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$$

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 \quad (2)$$

m_1, m_2 — массы взаимодействующих тел, кг,

v_1, v_2 — скорости тел до столкновения, м/с,

v'_1, v'_2 — скорости тел после столкновения, м/с.

Закон сохранения импульса можно сформулировать и так: если на тела системы действуют только силы взаимодействия между ними («внутренние силы»), то полный импульс системы тел не изменяется со временем, т.е. сохраняется. Этот закон применим к системе, состоящей из любого числа тел. Отметим еще раз, что импульс – величина векторная, поэтому сохранение полного импульса означает сохранение не только его величины, но и направления.

Закон сохранения импульса выполняется при распаде тела на части и при абсолютно неупругом ударе, когда соударяющиеся тела соединяются в одно. Если распад или удар происходят в течение малого промежутка времени, то закон сохранения импульса приближенно выполняется для этих процессов даже при наличии внешних сил, действующих на тела системы со стороны тел, не входящих в нее, т.к. за малое время внешние силы не успевают значительно изменить импульс системы.

Под ударом в механике понимается кратковременное взаимодействие двух или более тел, возникающее в результате их соприкосновения (соударение шаров, удар молота о наковальню и др.). Самым простым является прямой (центральный) удар, то есть такой удар, при котором скорости соударяющихся тел до удара направлены по линии, соединяющей центры тел. При соударении взаимодействие длится такой короткий промежуток времени (иногда измеряемый тысячными долями секунды) и возникают столь большие внутренние силы взаимодействия, что внешними силами можно пренебречь и систему

соударяющихся тел можно считать замкнутой и применять к ней закон сохранения импульса.

В зависимости от упругих свойств тел соударения могут протекать весьма различно. Принято выделять два крайних случая: абсолютно упругий и абсолютно неупругий удары.

Абсолютно упругим называется удар, при котором после взаимодействия тела полностью восстанавливают свою форму. Таких ударов в природе не существует, так как всегда часть энергии затрачивается на необратимую деформацию тел. Однако для некоторых тел, например стальных закаленных шаров, потерями механической энергии при столкновении можно пренебречь и считать удар абсолютно упругим. В случае центрального абсолютно упругого удара двух тел с массами m_1, m_2 и скоростями v_1, v_2 до удара и v'_1, v'_2 после удара можно записать закон сохранения импульса тел:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$$
$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 \quad (3)$$

Абсолютно неупругим называется удар, при котором после соприкосновения тел они не восстанавливают полностью свою форму, соединяются вместе и движутся как единое целое с одной скоростью. При этом ударе часть их механической энергии переходит в работу деформации тел (внутреннюю энергию). Столкновение двух шаров из пластилина, когда после столкновения шары слипаются и движутся вместе, является примером абсолютно неупругого удара. В случае центрального абсолютно неупругого удара двух тел с массами m_1, m_2 движущихся со скоростями v_1, v_2 до удара и v' после удара можно записать законы сохранения импульса тел:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}'$$
$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}' \quad (4)$$

Закон сохранения импульса служит основой для объяснения обширного круга явлений природы, применяется в различных науках:

Закон строго выполняется в явлениях отдачи при выстреле, явлении реактивного движения, взрывных явлениях и явлениях столкновения тел.

Закон сохранения импульса применяют: при расчетах скоростей тел при взрывах и соударениях; при расчетах реактивных аппаратов; в военной промышленности при проектировании оружия; в технике - при забивании свай, ковке металлов и т.д.

Описание работы

В данной работе исследуют изменение импульсов двух шаров, которое происходит в результате их центрального столкновения. Для упрощения измерений процесс их соударения рассматривают в системе отсчета, относительно которой один из шаров до удара покоился. Массы шаров подобраны так, что после удара они будут двигаться в ту же сторону, куда двигался один из них, двигался до удара о другой. В этих условиях закон сохранения импульса для двух шаров можно записать в алгебраической форме:

$$p_1 + 0 = p_1^1 + p_1^2 \quad (5)$$

$$m_1 V_1 = m_1 V_1^1 + m V_2^1 \quad (6)$$

Для приведения шаров в движение используют дугообразный желоб. Монтаж и настройку экспериментальной установки производят используя комплект (рис. 4).

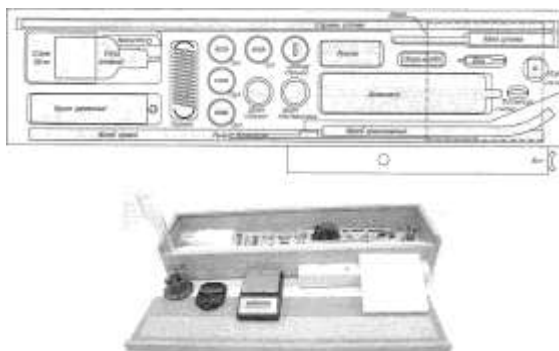


Рисунок 4. Комплект для выполнения лабораторных работ по механике
Экспериментальная установка изображена на рисунке 5.

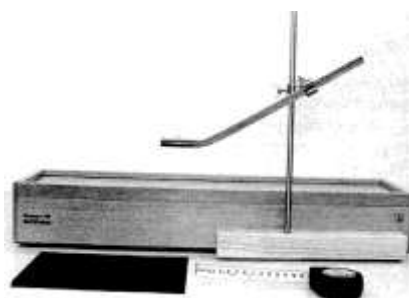


Рисунок 5.

Экспериментальная установка для исследования закона сохранения импульса

Ход работы:

1. Подготовить экспериментальную установку согласно описанию (рис. 5).

2. Один из шаров поставить на край горизонтального участка желоба, а второй спустить с некоторой высоты без начальной скорости. После столкновения шары, описав параболические траектории, падают на поверхность стола.
3. После соударения скорости шаров направлены горизонтально, определить их можно, измерив высоту H горизонтальной части желоба и расстояние L , которое пролетел каждый шар над столом. Уравнения движения каждого шара относительно горизонтальной и вертикальной оси выглядят соответственно так:

(7)

$$L = V \cdot t \qquad H = \frac{gt^2}{2} \qquad (8)$$

4. Из (8) следует, что

$$V = L/t \qquad (9)$$

5. Выразить из (7) время полета и подставить его в выражение (9).
6. Массу шаров измерить на весах.
7. Полученную на шаге 5 формулу использовать для определения скорости шаров в произвольный момент времени.
8. Определить место падения шаров, накрыв место предполагаемого падения листом белой бумаги и копировальной бумаги, направленной красящим слоем вниз (на белую).
9. Определить импульс шара, помещаемого в верхнюю часть желоба, пустив его без второго шара в нижней части. Место пуска отмечают меткой.
10. Подготовить в тетради таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

Таблица 2. Результаты измерений

№ опыта	m_1 , кг	m_2 , кг	H , м	L_1 , м	V_1 , м/с	p_1 , кгм/с	L_1^1 , м	L_1^2 , м	V_1^1 , м/с	V_2^1 , м/с	p_1^1 , кгм/с	p_2^1 , кгм/с

11. Рассчитать среднее значение импульсов шаров и занести в таблицу 3.

Таблица 3. Среднее значение результатов измерений.

V_1 м/с	p_1 кгм/с	L_1^1 м	L_1^2 м	V_1^1 м/с	V_2^1 м/с	p_1^1 кгм/с	p_2^1 кгм/с

12. По результатам измерений сделать вывод о справедливости закона сохранения импульса. Ответить на контрольные вопросы

Контрольные вопросы:

1. Что такое импульс материальной точки? По какой формуле он находится?
2. Импульс – величина векторная или скалярная?
3. Запишите формулу и формулировку закона сохранения импульса?
4. Выполняется ли закон сохранения импульса при распаде тела?
5. Какое движение называется реактивным?
6. Выполняется ли закон сохранения импульса при реактивном движении?

Лабораторная (практическая) работа № 3

Изучение закона сохранения механической энергии

Цель работы: сравнить изменение потенциальной энергии груза, прикреплённого к пружине, и энергии пружины, растянутой под действием груза.

Оборудование: штатив с муфтой и штативной лапой; динамометр; два груза; направляющая рейка.

Теория

Изменение потенциальной энергии груза по отношению, к какой либо поверхности определяется изменением его высоты относительно этой поверхности:

$$\Delta E_{n1} = mgh_2 - mgh_1 = mg\Delta h \quad (1).$$

Изменение энергии пружины, если в исходном состоянии она не была деформирована, определяется её величиной в растянутом положении:

$$\Delta E_{n1} = \frac{kx^2}{2} - 0 = \frac{kx^2}{2} \quad (2).$$

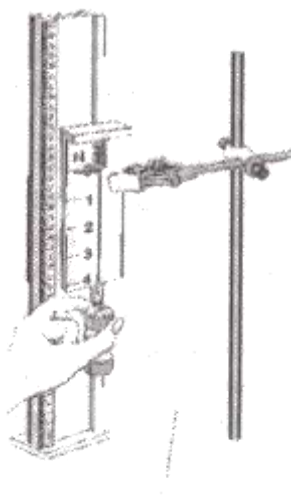


Рисунок 6. Схема лабораторной установки

Если пружина удлиняется под действием падающего груза, то на основании закона сохранения энергии должно выполняться равенство:

$$\Delta E_{n1} = \Delta E_{n2} \quad (3).$$

Ход работы:

1. В лапку штатива зажать верхнюю часть корпуса динамометра и закрепить ее с помощью муфты на стержне. Нижний край динамометра должен находиться на высоте не менее 25 см. Установить направляющую близко к указателю динамометра.
2. Определить положение указателя нерастянутой пружины динамометра на шкале x_1 .
3. Подвесить к динамометру два груза и, поднимая их рукой, вернуть пружину в нерастянутое состояние. Отпустить грузы и заметить по шкале положение указателя, соответствующее максимальному удлинению пружины x_2 , $\Delta x = x_1 - x_2$.
4. Повторить опыт 5-6 раз. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу:

Таблица 4. Результаты измерений

№ опыта	x_1 , м	x_2 , м	Δx , м	$\Delta x_{\text{ср}} = \Delta h$, м	ΔE_r , Дж ($\Delta E_{\text{п1}} = mgh_2 - mgh_1$), Дж	ΔE_n , Дж
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

5. Определить массу груза m .
6. Вычислить ΔE_r , Дж и ΔE_n , Дж по формулам (1) и (2). При этом учесть, что жесткость пружины динамометра $k=40\text{Н/м}$.
7. Сравнить изменение энергии грузов и пружины и сделать вывод о сохранении полной механической энергии системы грузы – пружина.

Контрольные вопросы:

1. Раскройте понятие механической энергии?
2. Какая энергия называется кинетической? По какой формуле она находится?
3. Какая энергия называется потенциальной? По какой формуле она находится?
4. Сформулируйте закон сохранения механической энергии.
5. Каковы границы применения закона сохранения механической энергии?

Лабораторная (практическая) работа № 4

Изучение одного из изопроцессов

Цель работы: экспериментально установить связь между двумя переменными макропараметрами состояния газа для одного из изопроцессов.

Оборудование: трубка-резервуар с двумя кранами, мерный цилиндр с водой, рулетка, лоток, укладочный короб, штатив, термометр, калориметр, рулетка.

Варианты выполнения работы:

1. Исследование изотермического процесса

Объектом изучения в работе является воздух, находящийся внутри прозрачной эластичной трубки-резервуара. В исходном состоянии он имеет следующие параметры:

- давление равно атмосферному,
- объем равен объему внутренней полости трубки,
- температура соответствует температуре воздуха в помещении класса.

Второе состояние получают путем сжатия. Для этого кран на одном конце трубки закрывают. Вторым краном остается открытым. Конец трубки с открытым краном погружают в мерный цилиндр, в который предварительно налили воду комнатной температуры, так чтобы ее уровень не доходил до края цилиндра на 15-20 мм. Необходимо подчеркнуть, что вода должна быть обязательно комнатной температуры. В противном случае в результате теплообмена с водой температура воздуха в трубке изменится и процесс не будет изотермическим. Кран погружают до дна цилиндра.

Через открытый кран в трубку заходит вода и сжимает воздух до тех пор, пока его давление не сравняется с внешним давлением. Таким образом, во втором состоянии параметры воздуха окажутся следующими:

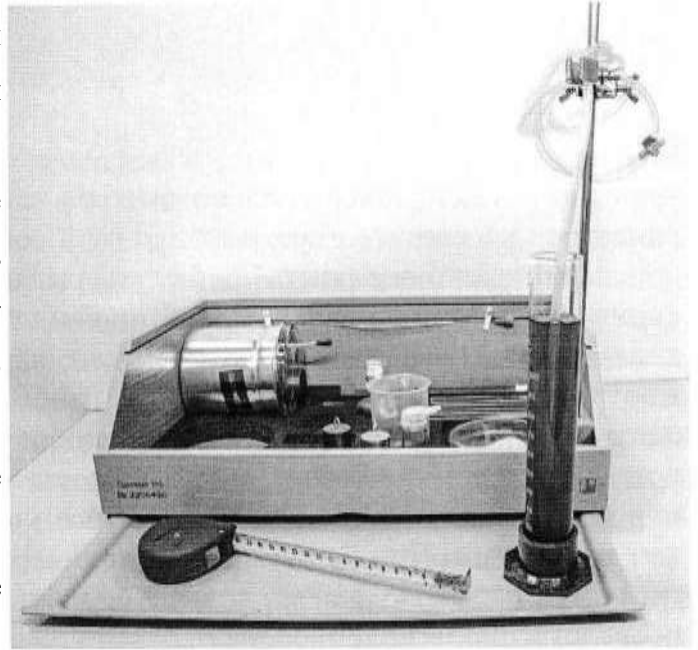
- объем будет равен объему внутренней полости за вычетом объема воды, вошедшей в трубку,
- давление возрастет на величину гидростатического давления столба воды в цилиндре,
- температура не изменится.

Общий вид экспериментальной установки для выполнения работы показан на рис.7.

Объем внутренней полости трубки определяется произведением площади поперечного сечения на длину.

Поскольку поперечное сечение трубки не меняется, объем воздуха удобно измерять в условных единицах. За условную единицу принимают единицу длины воздушного столба.

Итак, в исходном состоянии давление определяется по показаниям барометра-анероида, а объем - рулеткой по длине внутренней полости.



Для измерения давления во втором состоянии измеряют разницу уровней воды в мерном цилиндре и в трубке. По формуле для расчета гидростатического давления жидкости вычисляют давление столба воды. Давление воздуха во втором состоянии будет равно сумме атмосферного и гидростатического давлений.

Для определения объема воздуха во втором состоянии линейкой измеряют длину столба воды, вошедшей в трубку. Из измеренной ранее длины трубки вычитают длину столба воды.

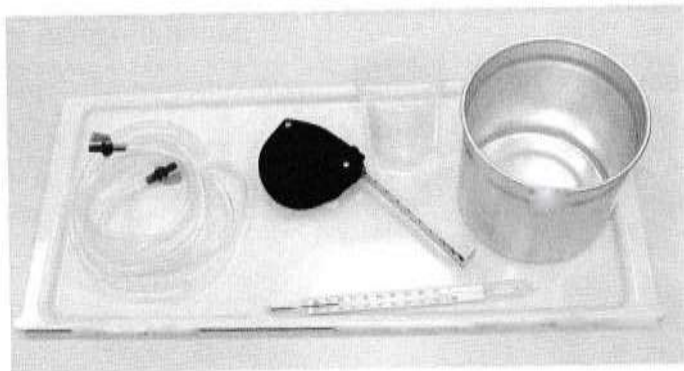
Завершив измерения, находят произведения давления на объем воздуха в первом и втором состояниях. Сравнивая полученные числа, делают вывод о справедливости закона Бойля-Мариотта.

Данные измерений и вычислений необходимо представить в виде таблицы.

p_1 , Па	l_1 , мм	$h_в$, мм	$p_в$, Па	p_2 , Па	l , мм	l_2 , мм	$p_1 l_1$	$p_2 l_2$
------------	------------	------------	------------	------------	----------	------------	-----------	-----------

В таблице (по столбцам соответственно) – Давление воздуха в исходном состоянии, длина воздушного столба в исходном состоянии, разность уровней воды в цилиндре и трубке, дополнительное давление столба воды, давление воздуха во втором состоянии, длина столба воды в трубке, длина воздушного столба после сжатия.

2. Исследование изобарного процесса.



Исходное положение приборов перед проведением эксперимента показано на рисунке.

Объектом изучения является воздух внутри прозрачной эластичной трубки, на концах которой установлены два крана. В ходе работы наблюдается его изобарное сжатие

при охлаждении.

Измерив объем и температуру воздуха до и после охлаждения, определяется отношение объема к температуре в двух состояниях и делают вывод о том, насколько наблюдаемое изменение параметров газа соответствует закону Гей-Люссака.

При подготовке опыта трубку укладывают виток к витку в наружный стакан калориметра. Кран на нижнем конце трубки предварительно закрывают. Кран, который после укладки окажется сверху, должен оставаться открытым. Затем в стакан наливают воду, нагретую до температуры 55-60°C. Чтобы вода не остыла, разливать ее следует только после того, как все ученики разместят трубки в калориметрах. Количество воды должно быть таким, чтобы она заполнила стакан калориметра до уровня, при котором верхний конец незакрытого крана оказался бы погруженным не более чем на 5-10 мм. При использовании стандартного школьного калориметра на это потребуется примерно 350 мл воды. Холодную воду для второй части опыта берут непосредственно из водопровода. ^

Благодаря протяженной поверхности трубки, воздух в ней быстро прогреется по всему объему. При этом он будет расширяться, и из открытого крана станут выделяться пузырьки. Образовываться они будут до тех пор, пока температуры воды и воздуха в трубке не сравняются. При указанных выше значениях температуры теплой воды это произойдет примерно через полторы - две минуты.

В качестве исходных параметров принимают объем и температуру прогретого воздуха. Температуру воздуха определяют по температуре воды, измерив ее лабораторным термометром сразу после прекращения выделения пузырьков. Объем воздуха в этот момент равен объему внутренней полости трубки, который ученики определяют до проведения опыта. Изменение длины самой трубки из-за нагрева не превысит 1% и на точности полученных результатов практически не скажется.

Параметры во втором состоянии газа измеряют после его охлаждения. Для этого

теплую воду сливают, придерживая трубку внутри стакана, и наливают такое же количество холодной воды. При замене воды верхний кран тоже закрывают, а затем открывают. Обращают внимание учеников, что уровень воды в стакане не изменился, а значит, и давление осталось прежним. После смены воды выжидают полторы - две минуты. За это время в сосуде вновь установится тепловое равновесие. Затем снова определяют температуру воздуха по температуре воды. При охлаждении объем воздуха уменьшится, и внутрь трубки будет втянуто некоторое количество воды. После второго измерения температуры верхний кран закрывают, холодную воду сливают, а трубку извлекают из калориметра. Объем охлажденного воздуха определяют по разности объемов полости трубки и воды в ней.

Результаты измерений и вычислений сводят в таблицу.

l_1 , мм	T_1 , °К	δl , мм	l_2 , мм	T_2 , °К	l_1/T_1	l_2/T_2
------------	------------	-----------------	------------	------------	-----------	-----------

В таблице (по столбцам соответственно) длина столба воздуха в исходном состоянии; температура воздуха в исходном состоянии; длина столба воды, вошедшей в трубку; длина столба воздуха после охлаждения; температура охлажденного воздуха.

3. Исследование изохорного процесса

В ходе работы определяют давление и температуру определенного количества газа в двух его состояниях. Причем во второе состояние газ переводят из первого путем охлаждения при постоянном объеме. Сравнивая отношения давления к температуре в двух состояниях, ученики убеждаются в том, что изохорное изменение параметров происходит в соответствии с законом Шарля.

Предварительная подготовка к работе сводится к закреплению лапки штатива на стержне на высоте около 35 см от поверхности стола.

Исследуемым газом является нагретый воздух, находящийся внутри эластичной трубки-резервуара с кранами. Один кран трубки закрывают, другой оставляют открытым. Для нагревания трубку помещают в стакан калориметра. Укладывают ее начиная концом с закрытым краном виток к витку, вплотную к стенке стакана. Затем в калориметр наливают теплую воду. Уровень воды должен располагаться выше конца с открытым краном на 5-10 мм.

Низкий уровень воды над краном необходим для того, чтобы в дальнейшем можно было пренебречь величиной гидростатического давления воды при определении давления воздуха в трубке. Температура теплой воды не должна превышать комнатную температуру более чем на 10-12 градусов. При большей разнице температур изменение давления

воздуха в трубке-резервуаре будет столь значительным, что длины манометрической трубки не хватит для его измерения.

При контакте с теплой водой воздух в трубке станет прогреваться. Протяженная поверхность трубки обеспечит равномерный прогрев всего воздушного столба за полторы - две минуты. При нагреве объем воздуха будет увеличиваться, и из крана станут выходить пузырьки. Образовываться они будут, пока температура в трубке не сравняется с температурой воды. Как только выделение пузырьков прекратится, кран закрывают.

Воздух, оставшийся в трубке, и будет исследуемым газом в исходном, или первом, состоянии. Его температуру определяют по температуре воды в стакане. Давление при образовании последнего пузырька равно сумме атмосферного давления и давления столба воды над краном. Но, так как уровень воды всего на несколько миллиметров выше крана, вторым слагаемым можно пренебречь и считать, что давление прогретого воздуха в трубке равно атмосферному давлению. Величину этого давления определяют по классному барометру-анероиду.

Второе термодинамическое состояние воздуха получают путем его охлаждения. Верхний кран закрывают, трубку извлекают из воды и в виде бухты вешают на лапку штатива (рис.9). Одновременно из воды вынимают и термометр. При контакте с более холодным воздухом класса воздух в трубке станет остывать. Поскольку разность температур по условию проведения опыта небольшая, процесс охлаждения займет 6-7 минут. Это время ученики могут использовать для оформления результатов первой части эксперимента.



Затем трубку-резервуар соединяют с манометрической трубкой, соблюдая следующую последовательность действий.

Под лапку штатива ставят мерный цилиндр, куда предварительно налили 10-15 мл воды комнатной температуры.

Свободный конец манометрической трубки опускают до дна цилиндра.

В верхней части трубку зажимают лапкой штатива, но так, чтобы ее внутренний канал не закрылся полностью, а нижний конец остался бы погруженным в воду.

Только после этого манометрическую трубку с помощью патрубков соединяют с краном трубки резервуара.

Кран плавно открывают. Давление остывшего воздуха стало меньше атмосферного, поэтому в манометрическую трубку будет втягиваться вода до тех пор, пока давление водяного столба не скомпенсирует уменьшение давления в трубке.

О выравнивании температур воздуха снаружи и внутри трубки-резервуара можно судить по поведению поверхности воды, втянутой в манометрическую трубку. Если с течением времени ее уровень не меняется, это означает, что достигнуто температурное равновесие и можно приступить к измерению параметров во втором состоянии.

Температура воздуха определяется по показанию термометра, а давление - по разности атмосферного давления и давления водяного столба, которое рассчитывают, измерив разницу уровней воды в манометрической трубке и цилиндре.

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу.

$p_1, \text{Па}$	$T_1, \text{°К}$	$h_e, \text{мм}$	$p_e, \text{Па}$	$p_2, \text{Па}$	$T_2, \text{°К}$	$l_2, \text{мм}$	p_1/T_1	p_2/T_2
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-----------	-----------

В таблице (по столбцам соответственно): давление воздуха в исходном состоянии, температура воздуха в исходном состоянии, высота подъема воды в манометрической трубке, гидростатическое давление столба воды в манометрической трубке, давление воздуха во втором состоянии, температура воздуха во втором состоянии.

Отношение давления к температуре в каждом состоянии требуется выразить в СИ. По завершении работы сделать вывод о выполнении закона Шарля.

Лабораторная (практическая) работа № 5

Определение электрической ёмкости конденсатора

Цель работы: Определить ёмкость конденсатора методом измерения накопленного конденсатором заряда.

Оборудование: источник постоянного тока, миллиамперметр, конденсаторы известной ёмкости, конденсатор неизвестной ёмкости, переключатель двухполюсный, провода соединительные.

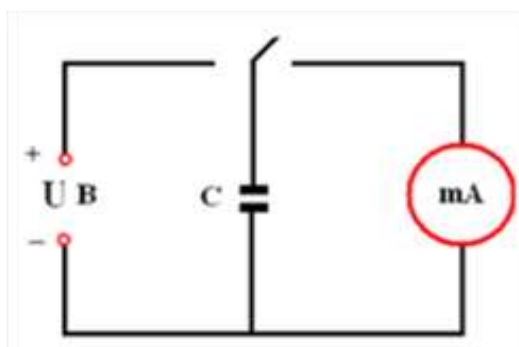
Теория

Важной характеристикой любого конденсатора является его электрическая ёмкость C – физическая величина, равная отношению заряда Q – конденсатора к разности потенциалов U между его обкладками:

$C = Q / U$. Выражается в СИ в фарадах. Ёмкость конденсатора можно определить опытным путём.

Ход работы:

1. Собрать электрическую цепь по схеме согласно рисунку



2. В цепи установить конденсатор ёмкостью 4,7 мкФ
3. Конденсатор зарядить; для этого соединить его переключателем на короткое время с источником питания.
4. Сосредоточить внимание на миллиамперметре, быстро замкнуть конденсатор на измерительный прибор и определить число делений, соответствующее максимальному отклонению стрелки.
5. Опыт повторить (пять раз найти среднее значение n) для более точного определения числа делений « n_{cp} ». Найти отношение количества делений « n_{cp} » к ёмкости взятого конденсатора C : $n_{cp} / C = k$
6. Опыт повторить с другими конденсаторами (2,2 мкФ, 1 мкФ, 0,47 мкФ, 0,22 мкФ).
7. Результаты измерений, вычислений записать в таблицу
8. Опыт (п. 1-4) повторить с конденсатором известной ёмкости C_x .
Определить в этом случае число делений n_x и найти ёмкость из соотношений $C_x = n_x / k$

9. Узнать ёмкость исследуемого конденсатора (у преподавателя) и, приняв её за табличное значение, определить относительную погрешность

№ Опыта	Ёмкость Конденсатора С мкФ	Число делений по шкале мВЛЛИ амперметра в от	Отношение числа делений к ёмкости конденсатора $k = \frac{m_{\text{от}}}{c}$	Найденная ёмкость конденсатора С _н мкФ	Относительная погрешность $\delta = \frac{C_{\text{таб}} - C_n}{C_{\text{таб}}} \cdot 100\%$
1					
2					
3					
4					

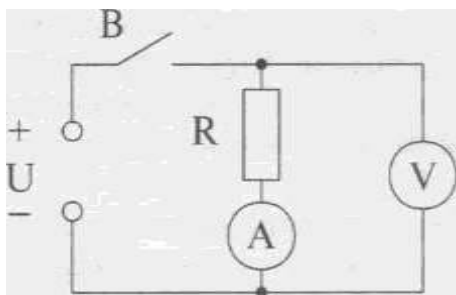
Лабораторная (практическая) работа № 6 Измерение удельного сопротивления проводника

Цель работы: сформировать умение определения удельного сопротивления проводника по результатам измерений его геометрических размеров и сопротивления.

Оборудование: выпрямитель, амперметр, вольтметр, соединительные провода, элементы планшета: ключ, резистор R_1 резистор R_2 .

Ход работы:

Работа будет выполнена обучающимися более осознанно, если ее начать с краткой вводной беседы, в ходе которой попросить обучающихся вывести расчетную формулу для вычисления удельного сопротивления и обсудить возможные способы измерения входящих в нее величин. Обучающимся сообщают, что в данной работе предстоит определить удельное сопротивление провода, из которого изготовлен резистор R_1 . Им предлагают найти этот резистор на планшете, рассмотреть его, определить диаметр d его провода (диаметр провода в миллиметрах указан на планшете рядом с резистором). В итоге



приходят к выводу, что площадь S поперечного сечения провода можно определить по известной из математики формуле, связывающей площадь круга с его диаметром. Длину l намотанного провода определяют, измерив диаметр D одного витка, вычислив его длину и подсчитав общее число N витков провода на корпусе резистора. Сопротивление R провода определяют также косвенным способом. Провод подключают к выпрямителю и измеряют приложенное к проводу напряжение U и силу тока I в нем. Схема экспериментальной установки для измерения этих величин показана на рисунке.

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу следующего вида.

d , мм	S , мм ²	D , мм	N	l , м	U , В	I , А	R , Ом	ρ , Ом мм ² /м	ρ , Ом м

Для отработки действий с размерностями удельного сопротивления обучающимся предлагается представить результат, используя размерность Ом мм²/м, а потом и Ом м.

Сопоставляя оба результата, определяют порядок перевода значения удельного сопротивления из одной размерности в другую.

В качестве дополнительного задания обучающимся целесообразно предложить определить удельное сопротивление провода, из которого изготовлен резистор R_2 . Поскольку провода обоих резисторов изготовлены из одного материала, то и результаты должны оказаться примерно одинаковыми. В отчете о выполнении работы обучающимся предлагается указать причины некоторого расхождения результатов, а также сделать вывод о том, зависит ли удельное сопротивление провода от его диаметра и длины.

Лабораторная (практическая) работа № 7 Изучение зависимости сопротивления проводника от его длины

Цель работы: выявить зависимость сопротивления проводника от его длины.

Оборудование: источник тока, амперметр, вольтметр, соединительные провода, элементы планшета: ключ, исследуемый проводник, .

Теория

Изучением свойств проводимости веществ проводились несколькими учеными, наиболее широко известны эксперименты Георга Ома (1789-1854).

В опытах Ом использовал источник тока, прибор, который мог регистрировать силу тока, и различные проводники. Подключая в собранную электрическую схему различные проводники, он убедился, что при увеличении напряжения в цепи сила тока тоже увеличивалась.

Также, Ом обнаружил очень важное явление: взаимосвязь между напряжением и силой тока в цепи зависит не только от вещества проводника, но и от его размеров.

Ом установил, что сопротивление прямо пропорционально длине проводника обратно пропорционально площади его поперечного сечения и зависит от вещества проводника. [1]

Электрическим сопротивлением (R) называется физическая величина, характеризующая свойство проводника влиять на протекающий по нему электрический ток [1].

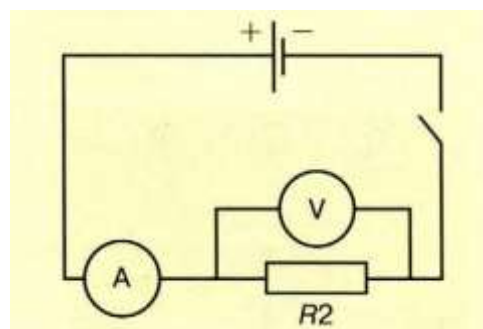
$$R = \frac{\rho l}{S}$$

Для характеристики вещества вычисляется его удельное сопротивление.

Удельное сопротивление (ρ) – это физическая величина, которая определяет сопротивление проводника из данного вещества длиной 1м, площадью поперечного сечения 1м²

Ход работы:

1. Собрать цепь, согласно схеме
2. На первом этапе задействовать только один из участков проводника (сталь или нихром) и вычислить значение сопротивления согласно закону Ома
3. Измерить длину задействованного участка проводника



4. Задействовать весь проводник и найти сопротивление согласно закону Ома
5. Измерить длину всего проводника.
6. Повторить пункты 1-3 со вторым проводником
7. Результаты измерений занести в таблицу

	l_1 , м	I_1 А	U_1 , В	R_1 , Ом	l_2 , м	I_2 А	U_2 , В	R_2 , Ом
Сталь								
Нихром								

Лабораторная (практическая) работа № 8

Изучение последовательного и параллельного соединения проводников

Цель работы: экспериментально доказать утверждения о том, что:

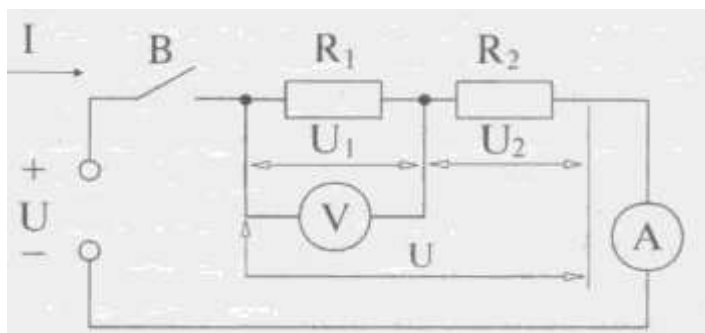
1) в последовательной цепи значение силы тока одинаково на любом участке. Общее напряжение, приложенное к цепи, равно сумме напряжений на отдельных участках;

2) в параллельной цепи общее значение силы тока равно сумме значений силы тока в каждой из ветвей. Напряжение на каждой из параллельных ветвей цепи одинаково.

Оборудование: выпрямитель, амперметр, вольтметр, соединительные провода, элементы планшета: ключ, постоянные резисторы R_1 и R_2 .

Ход работы:

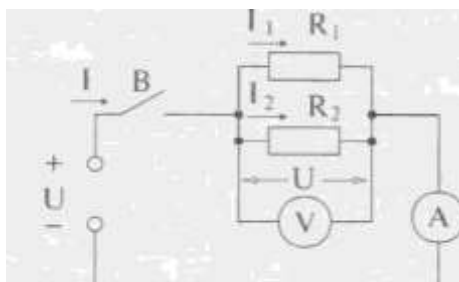
Работа проводится в два этапа. В ходе первого исследуют закономерности распределения напряжений и тока в последовательной цепи. Схема экспериментальной установки для этой части работы показана на рисунке ниже.



После того, как обучающиеся измерят напряжение U_1 на резисторе R_1 напряжение U_2 на резисторе R_2 и общее напряжение U , приложенное к двум резисторам, они должны отключить вольтметр и измерить амперметром значение силы тока на трех участках цепи: между резистором и отрицательным полюсом выпрямителя (I_1), между двумя резисторами (I_2), а также между резистором и положительным полюсом выпрямителя (I_3). Данные измерений заносят в таблицу, вид которой показан ниже.

I_1, A	I_2, A	I_3, A	U_1, B	U_2, B	$U_1 + U_2, B$	U, B

Затем приступают к изучению закономерностей параллельной цепи. Собирают установку по схеме, показанной на рисунке ниже.



Измерив амперметр соединяют R_1 и определяют силу

тока I_1 в этой ветви. Потом еще раз изменив схему, определяют силу тока I_2 в ветви с резистором R_2 . Наконец записывают показания вольтметра U_1 подключив его непосредственно к выводам резистора R_1 (как

значение общей силы тока I , последовательно с резистором

тока I_1 в этой ветви. Потом еще раз изменив схему, определяют силу тока I_2 в ветви с резистором R_2 . Наконец записывают показания вольтметра U_1 подключив его непосредственно к выводам резистора R_1 (как

показано на схеме), потом к резистору R_2 (U_2) и к гнездам, на которые подается напряжение от выпрямителя (U). Данные измерений также заносятся в таблицу:

I_1, A	I_2, A	$I_1 + I_2, A$	I, A	U_1, B	U_2, B	U, B

Завершив измерения, вычисляют суммарное значение напряжений на двух участках цепи для первой серии опытов и суммарное значение силы тока в двух ветвях цепи во второй серии.

По итогам измерений и вычислений делают вывод о справедливости тех утверждений, проверка которых являлась целью данной работы.

Лабораторная (практическая) работа № 9

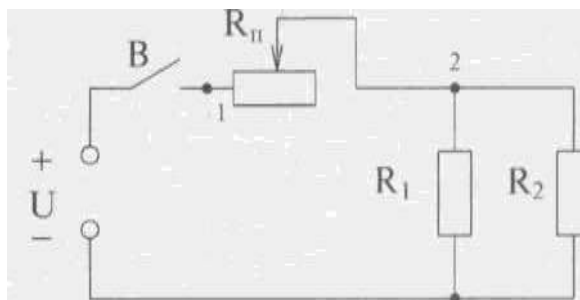
Изучение смешанного соединения проводников

Цель работы: сформировать практические умения по исследованию разветвленных электрических цепей.

Оборудование: выпрямитель, амперметр, вольтметр, соединительные провода, элементы планшета: ключ, постоянные R_1 и R_2 , переменный R_{Π} резисторы.

Ход работы:

Работа проводится сразу после изучения темы «Законы постоянного тока». В ходе ее выполнения происходит закрепление полученных знаний и развитие экспериментальных умений обучающихся. Схема экспериментальной установки для выполнения работы представлена на рисунке ниже.



Во вводной беседе совместно с обучающимися анализируют данную схему и выделяют на ней участок с параллельным подключением элементов. В данной схеме таким участком является часть цепи, содержащая резисторы R_1 и R_2 . Затем замечают, что последовательно с этим участком соединен другой участок, содержащий переменный резистор R_{Π} . Исследование этой разветвленной цепи в данной работе сводится к измерению силы тока в точках 1, 2 и 3, а также силы тока, протекающего через резисторы R_1 и R_2 . Кроме того, нужно измерить напряжение между точками 1-2, 2-3 и 1-3.

Чтобы убедить обучающихся в том, что соотношения между значениями силы тока и напряжения в участках разветвленной цепи с последовательным и параллельным соединением элементов справедливы при любых параметрах этих элементов и режимах их работы, опыт повторяют, трижды изменяя режим работы экспериментальной установки изменением сопротивления переменного резистора.

В целях облегчения анализа результатов опыта полученные при измерениях значения тока и напряжения целесообразно заносить в таблицу следующего вида:

№ опыта	I_1, A	I_2, A	I_3, A	I_4, A	I_5, A	U_{12}, B	U_{23}, B	U_{13}, B

При проведении первого опыта ручку переменного резистора устанавливают в положение, при котором сопротивление его части, включенной в цепь, максимально. Амперметром измеряют значения тока I_1 , I_2 и I_3 (в точках 1, 2 и 3 соответственно), а также силу тока I_4 , протекающего в резисторе R_1 и I_5 – в резисторе R_2 .

Завершив измерения силы тока, переходят к измерению напряжения. Вольтметром определяют напряжения U_{12} , U_{23} , и U_{13} . Данные заносят в таблицу.

Затем ручку переменного резистора поворачивают примерно на $1/3$ ее полного хода, уменьшая сопротивление участка цепи между точками 1-2, и повторяют измерения тока и напряжения в тех же точках.

Наконец проводят опыт еще раз, вновь уменьшив примерно на $1/3$ сопротивление переменного резистора.

Завершив измерения, обучающиеся должны проанализировать результаты, полученные в каждом из опытов. Они сопоставляют между собой значения токов I_1 , I_2 и I_3 , а также сравнивают эти значения с суммой $I_4 + I_5$. Кроме того, сравнивают между собой значения напряжений U_{12} , U_{23} , и U_{13} .

В итоге они должны прийти к выводу о том, что в разветвленной цепи значение силы тока одинаково на любом из последовательно соединенных участков, а общее напряжение, приложенное к этим участкам цепи, равно сумме напряжений на отдельных участках. На участках разветвленной цепи, соединенных параллельно, общее значение силы тока равно сумме значений силы тока в каждой из ветвей, а напряжение на каждой из параллельных ветвей цепи одинаково.

Лабораторная (практическая) работа № 10

Измерение электродвижущей силы и сопротивления источника тока

Цель работы: измерить ЭДС и внутреннее сопротивление источника.

Оборудование: набор L – микро (резистор, ключ, металлический планшет, соединительные провода), амперметр, вольтметр, источник электропитания.

Теория

Потенциальные силы электростатического поля (силы Кулона) не могут поддерживать постоянный ток в цепи, так как работа этих сил вдоль замкнутого контура равна нулю. Для поддержания в цепи постоянного тока должны действовать не потенциальные (сторонние) силы, имеющие механическую, химическую или иную природу. Устройства, обеспечивающие возникновение и действие сторонних сил, называются источниками тока.

Физическую величину, численно равную работе, которую совершают сторонние силы при перемещении единичного положительного заряда вдоль всей цепи, называют ЭДС источника:

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q} \quad (1)$$

Закон Ома для замкнутой цепи устанавливает зависимость между силой тока, ЭДС источника и полным сопротивлением цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad (2)$$

Ход работы:

1. Собрать цепь по схеме:

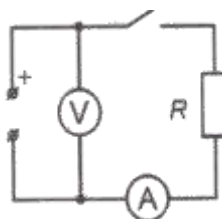


Рисунок 11. Схема экспериментальной установки

2. Разомкнуть ключ и измерить ЭДС источника.
3. Замкнуть ключ и измерить силу тока и напряжение на резисторе.
4. Вычислить внутреннее сопротивление источника по формуле $r = \frac{\varepsilon - U}{I}$.
5. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу:

Таблица 9. Результаты измерений

ЭДС, ε , В	Напряжение, U, В	Сила тока, I, А	Внутренне сопротивление, r, Ом

6. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Какие силы называют сторонними?
2. Сформулируйте закон Ома для полной цепи.
3. Что называют падением напряжения на внешнем и внутреннем участках цепи?
4. Расскажите о соединении источников электрической энергии в батарею.

Лабораторная (практическая) работа №11

Определение электрохимического эквивалента меди

Цель работы: Определить электрохимический эквивалент меди при проведении электролиза раствора сульфата меди.

Оборудование: Лабораторное оборудование: источник постоянного тока, электролитическая ванна, раствор сульфата меди, медные электроды, наждачная бумага, ключ, амперметр, соединительные провода, реостат.

Теория

Электролиты это вещества, растворы или расплавы которых проводят электрический ток. К электролитам относятся кислоты, основания и соли. Электролиз – это физико-химический окислительно-восстановительный процесс, протекающий в растворах или расплавах электролитов под действием электрического тока, заключающийся в выделении на электродах составных частей растворённых веществ или других веществ - продуктов вторичных реакций на электродах. Процесс на катоде К(-): катион принимает электроны и восстанавливается. Процесс на аноде А(+): анион отдает электроны и окисляется. Примером электролиза растворов может служить электролиз медного купороса, молекулы которого подвергаются электролитической диссоциации:

Электролитическая диссоциация - это процесс распада электролита на ионы при его растворении или плавлении.

Количественно электролиз описывается *законами Фарадея*:

1. Масса выделяющегося на электроде вещества пропорциональна количеству электричества, протекающего через раствор:

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

где **k**-электрохимический эквивалент, $\frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$, **I**- сила тока, протекающего через раствор, **A**, **t**- время электролиза (с), **q**- количество электричества, Кл.

2. Для выделения на электроде 1 эквивалента любого вещества необходимо затратить одно и то же количество электричества, равное *числу Фарадея*: $F = N_A \cdot e = 96500 \text{ Кл /моль}$.

$$k = \frac{M}{Fn}, \quad (2)$$

где k -электрохимический эквивалент, кг/Кл, M - молярная масса, кг/моль, n -валентность, F - число Фарадея Кл/моль, $\frac{M}{n}$ – химический эквивалент, кг/моль.

Физический смысл k

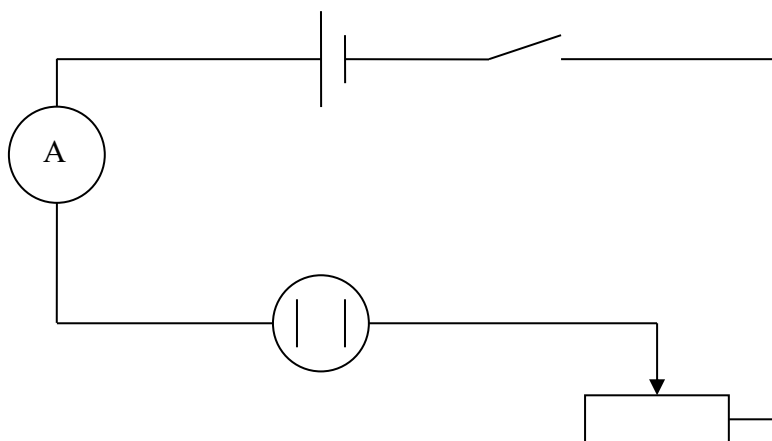
Электрохимический эквивалент численно равен отношению массы иона к его заряду.

Электролиз применяется в электрометаллургии для получения редких металлов, для очистки металлов от примесей, в гальваностегии - покрытие одного металла тонким слоем другого, в гальванопластике - получение копий рельефных деталей, в медицине – электрофорез.

Электролиты подчиняются закону Ома. **Сопротивление электролитов** при повышении температуры уменьшается, так как при повышении температуры увеличивается доля молекул, распавшихся на ионы, и поэтому увеличивается число ионов - носителей заряда.

Ход выполнения лабораторной работы

1. Зачистите наждачной бумагой медный электрод и измерьте его массу с точностью до 0,01 г.
2. Соберите схему по рисунку 2. Присоедините медные электроды к источнику постоянного тока (электрод с известной массой - к катоду), опустите электроды в стакан с раствором сульфата меди.



3. Включите секундомер одновременно с источником тока. Установите и поддерживайте силу тока 0,5 А в течение всего времени электролиза (время электролиза 10 минут).
4. По окончании электролиза отключите источник тока, отсоедините катод, промойте его в воде и высушите в потоке теплого воздуха.

5. Охладите катод до комнатной температуры и определите его массу после электролиза.

6 Результаты опыта и вычислений занесите в таблицу.

Масса катода до	Масса катода после	Масса выделившейся	Сила тока	Время прохождения	Электрохимический	Табличное значение	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
m_1	m_2	m	I	t	k	K_T	Δk	ε
кг	кг	кг	А	с	кг/Кл	кг/Кл	кг/Кл	%

7 Вычисления:

7.1 Вычислите массу меди, выделившуюся на катоде:

$$m = m_2 - m_1$$

7.2 Вычислите электрохимический эквивалент по формуле

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

7.3 Вычислите абсолютную погрешность электрохимического эквивалента меди

$$\Delta k = |k_T - k| \text{ (для меди } k_T = 3,29 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл)}$$

7.4 Вычислите относительную погрешность электрохимического эквивалента меди

$$\varepsilon = \frac{\Delta k}{k}$$

8 Сделайте вывод. В выводе укажите истинное значение k в виде

$$k_{\text{ист}} = k \pm \Delta k \text{ и физический смысл электрохимического эквивалента.}$$

9 Ответьте на контрольные вопросы.

6 Контрольные вопросы

6.1 Что такое электролитическая диссоциация? Объясните причину возникновения заряженных частиц в растворе электролита. Какие частицы являются носителями тока в электролитах?

6.2 Какие вещества называют электролитами? Приведите примеры.

6.3 Какой процесс называют электролизом? Где применяется электролиз? Какие явления происходят на катоде при подключении установки для электролиза к источнику питания? Какие явления происходят на аноде?

6.4 Сформулируйте законы электролиза.

6.5 Почему с повышением температуры сопротивление электролита уменьшается?

Лабораторная (практическая) работа №12

Электрический ток в различных средах

Цель работы: закрепить знания студентов по данной теме, умения решать задачи на расчёт электрохимического эквивалента применяя законы Фарадея. Научиться применять основные формулы по теме.

Теория

В 1832 году Фарадей установил, что масса M вещества, выделившегося на электроде, прямо пропорциональна электрическому заряду Q , прошедшему через электролит:

$$M = k \cdot Q = k \cdot I \cdot t$$

если через электролит пропускается в течение времени t постоянный ток с силой тока I .

Коэффициент пропорциональности k называется **электрохимическим эквивалентом вещества**. Он численно равен массе вещества, выделившегося при прохождении через электролит единичного электрического заряда, и зависит от химической природы вещества.

2 закон Фарадея. Электрохимические эквиваленты различных веществ относятся, как их *химические эквиваленты*.

Химическим эквивалентом иона называется отношение молярной массы M иона к его валентности n . Поэтому электрохимический эквивалент

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}$$

где F — постоянная Фарадея, $F = 9,65 \cdot 10^4$ Кл/моль

Физический смысл F - численно равна заряду, который надо пропустить через раствор электролита, чтобы выделить на электроде 1 моль одновалентного вещества

Ход работы

Совместное решение задачи:

Для серебрения 20 деталей (площадь поверхности каждой 40 см²) через раствор соли серебра пропускается ток. Толщина покрытия должна составить 35 мкм. В течение какого времени должно проходить серебрение при силе тока 0,8 А? Молярная масса серебра 0,108 кг/моль, валентность 1, плотность 10,5 • 10³ кг/м³.

Решение задач в группах.

Задачи

№1. При серебрении изделия пользовались током 5А в течение 15 мин. Какое количество серебра израсходовано за это время?

№2. При меднении изделия пользовались током 2А в течение 25 мин. Какое количество меди израсходовано за это время?

№3. При каком токе протекал электролиз при цинковании, если за 23 мин на электроде выделилось 20 г цинка?

№4. При каком токе протекал электролиз в растворе медного купороса, если за 5 мин на катоде выделилось 6 г меди?

№5. Какой заряд должен пройти через раствор сернокислой меди, чтобы на катоде отложилось 6,58 г меди?

№6. За сколько времени полностью израсходуется медный анод, размеры которого $100 \times 50 \times 2$ (мм³), при условии. Что ток в ванне 3,0 А?

№7. При электрическом способе получения никеля расходуется 10кВт энергии на 1 кг. Электрохимический эквивалент никеля 3×10^{-7} кг/Кл.

№8. Сколько алюминия выделяется при затрате 1 кВт/ч электрической энергии, если электролиз ведется при напряжении 5,0 В. КПД установки 80%?

№9. Найдите электрохимический эквивалент 30г железа, если при электролизе за 8 мин по проводу протекает ток силой 10мА.

3. Справочный материал

Таблица Электрохимический эквивалент, мг/Кл или $\times 10^{-4}$ кг/Кл

Вещество	Валентность	к
Алюминий	3	0,0932
Бром	1	0,8282
Водород	1	0,01045
Железо	3	0,1929
Золото	3	0,6812
Кислород	2	0,0829
Медь	1	0,6588
Медь	2	0,3294
Натрий	1	0,2383
Никель	2	0,3041
Никель	3	0,2027
Олово	2	0,6150
ОН-группа	1	0,1763
Платина	4	0,5058
Ртуть	1	2,0789
Свинец	2	1,0736

Сера	2	0,1661
Серебро	1	1,1179
Хлор	1	0,3674
Цинк	2	0,3388

Лабораторная (практическая) работа №13

Изучение явления электромагнитной индукции

Цель работы: изучить условия возникновения индукционного тока, ЭДС индукции.

Оборудование: катушка, два полосовых магнита, миллиамперметр.

Теория

Взаимная связь электрических и магнитных полей была установлена выдающимся английским физиком М. Фарадеем в 1831 г. Он открыл явление **электромагнитной индукции**.

Многочисленные опыты Фарадея показывают, что с помощью магнитного поля можно получить электрический ток в проводнике.

Явление электромагнитной индукции заключается в возникновении электрического тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего контур.

Ток, возникающий при явлении электромагнитной индукции, называют **индукционным**.

В электрической цепи (рисунок 1) возникает индукционный ток, если есть движение магнита относительно катушки, или наоборот. Направление индукционного тока зависит как от направления движения магнита, так и от расположения его полюсов. Индукционный ток отсутствует, если нет относительного перемещения катушки и магнита.



Рисунок 12. Опыт Фарадея

Строго говоря, при движении контура в магнитном поле генерируется не определенный ток, а определенная э. д. с. Фарадей экспериментально установил, что при изменении магнитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}}$, равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус:

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (1)$$

Эта формула выражает закон **Фарадея: э. д. с. индукции равна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром.**

Знак минус в формуле отражает **правило Ленца.**

В 1833 году Ленц опытным путем доказал утверждение, которое называется **правилом Ленца: индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток.**

При возрастании магнитного потока $\Phi > 0$, а $\varepsilon_{\text{инд}} < 0$, т.е. э. д. с. индукции вызывает ток такого направления, при котором его магнитное поле уменьшает магнитный поток через контур.

При уменьшении магнитного потока $\Phi < 0$, а $\varepsilon_{\text{инд}} > 0$, т.е. магнитное поле индукционного тока увеличивает убывающий магнитный поток через контур.

Правило Ленца имеет глубокий **физический смысл** – оно выражает закон сохранения энергии: если магнитное поле через контур увеличивается, то ток в контуре направлен так, что его магнитное поле направлено против внешнего, а если внешнее магнитное поле через контур уменьшается, то ток направлен так, что его магнитное поле поддерживает это убывающее магнитное поле.

ЭДС индукции зависит от разных причин. Если вдвигать в катушку один раз сильный магнит, а в другой – слабый, то показания прибора в первом случае будут более высокими. Они будут более высокими и в том случае, когда магнит движется быстро. В каждом из проведённых в этой работе опыте направление индукционного тока определяется правилом Ленца. Порядок определения направления индукционного тока показан на рисунке 12.

На рисунке синим цветом обозначены силовые линии магнитного поля постоянного магнита и линии магнитного поля индукционного тока. Силовые линии магнитного поля всегда направлены от N к S – от северного полюса к южному полюсу магнита.

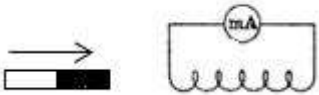
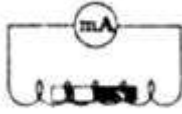
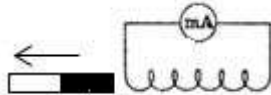
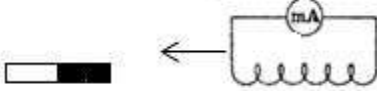

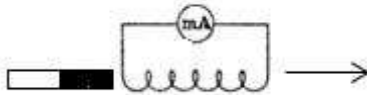
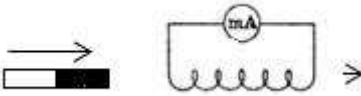
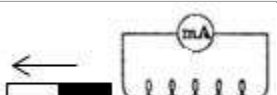
По правилу Ленца индукционный электрический ток в проводнике, возникающий при изменении магнитного потока, направлен таким образом, что его магнитное поле противодействует изменению магнитного потока. Поэтому в катушке направление силовых линий магнитного поля противоположно силовым линиям постоянного магнита, ведь магнит движется в сторону катушки. Направление тока находим по правилу буравчика: если буравчик (с правой нарезкой) ввинчивать так, чтобы его поступательное движение совпало с направлением линий индукции в катушке, тогда направление вращения рукоятки буравчика совпадает с направлением индукционного тока.

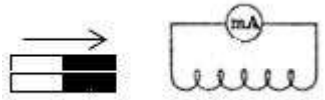

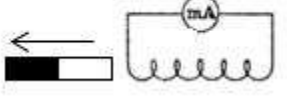
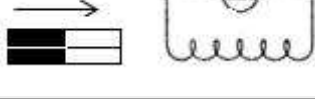
Поэтому ток через миллиамперметр течёт слева направо, как показано на рисунке красной стрелкой. В случае, когда магнит отодвигается от катушки, силовые линии магнитного поля индукционного тока будут совпадать по направлению с силовыми линиями постоянного магнита, и ток будет течь справа налево.

Ход работы:

Подготовьте для отчета таблицу и по мере проведения опытов заполните её.

Таблица 10. Результаты измерений

№ п/п	Действия с магнитом и катушкой	Показания милли- амперметра, мА	Направления отклонения стрелки миллиампер- метра (вправо, влево или не отклоняется)	Направление индукционного тока (по правилу Ленца)
1	Быстро вставить магнит в катушку северным полюсом			
2	Оставить магнит в катушке неподвижным после опыта 1			
3	Быстро вытащить магнит из катушки			
4	Быстро приблизить катушку к северному полюсу магнита			
5	Оставить катушку неподвижной после опыта 4			
6	Быстро вытащить катушку от северного полюса магнита			
7	Медленно вставить в катушку магнит северным полюсом			
8	Медленно вытащить магнит из катушки			

9	Быстро вставить в катушку 2 магнита северными полюсами			
10	Быстро вставить магнит в катушку южным полюсом			
11	Быстро вытащить магнит из катушки после опыта 10			
12	Быстро вставить в катушку 2 магнита южными полюсами			

Записать общий вывод по работе на основе проведённых наблюдений.

Контрольные вопросы:

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

Лабораторная (практическая) работа № 14

Изучение зависимости периода колебаний нитяного маятника от длины нити и массы груза

Цель работы: установить математическую зависимость периода нитяного маятника от длины нити маятника.

Оборудование: электронный секундомер, измерительная лента, шарик с отверстием, нить, штатив с муфтой и кольцом.

Теория

Математическим маятником называется материальная точка, подвешенная на невесомой и нерастяжимой нити. Моделью может служить тяжёлый шарик, размеры которого весьма малы по сравнению с длиной нити, на которой он подвешен (не сравнимы с расстоянием от центра тяжести до точки подвеса).

Учёные Галилей, Ньютон, Бессель и др. установили следующие законы колебания математического маятника:

1. Период колебания математического маятника не зависит от массы маятника и от амплитуды, если угол размаха не превышает 10° .
2. Период колебания математического маятника прямо пропорционален квадратному корню из длины маятника и обратно пропорционален квадратному корню из ускорения свободного падения. На основании этих законов можно написать формулу для периода колебаний математического маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (1)$$

Используя модель и законы колебаний математического маятника, можно пронаблюдать свободные колебания, а так же с их помощью определить ускорение свободного падения для своей местности и сравнить со справочным значением g .

Ускорение свободного падения может быть вычислено по формуле

$$g = 4\pi^2 \frac{lN^2}{t^2}. \quad (2)$$

Ход работы:

1. Укрепить нить маятника в держателе штатива.
2. Измерить длину маятника (длина маятника считается от точки подвеса до центра тяжести шарика).
3. Отклонить шарик на угол не более 10° и отпустить.
4. Определить время, за которое маятник совершил 20 колебаний.
5. Вычислить период колебания маятника, используя формулу $T = \frac{t}{N}$ (3)

6. Увеличить массу колеблющегося тела, добавив еще один груз (ВНИМАНИЕ! Необходимо скорректировать длину с учетом изменения положения центра тяжести колеблющегося тела)
7. Повторить пункты 2-6 еще три раза, уменьшая (или увеличивая) длину нити маятника.
8. Результаты занести в таблицу.

Таблица 19. Результаты измерений

№ опыта	Длина нити маятника l , м	Масса груза	Число полных колебаний N	Время колебаний t , с	Период колебаний T , с
1			20		
2			20		
3			20		
4			20		

9. Сделать вывод о зависимости периода нитяного маятника от длины его нити и от массы колеблющегося тела.

Контрольные вопросы:

1. Что называют периодом колебаний маятника?
2. Что называют частотой колебаний маятника? Какова единица частоты колебаний?
3. От каких величин и как зависит период колебаний математического маятника?
4. От каких величин и как зависит период колебаний пружинного маятника?
5. Изобразите математический маятник в крайней правой точке и покажите на чертеже силы, действующие на шарик в данной точке траектории. Нарисуйте равнодействующую сил. Как меняется величина и направление равнодействующей сил в течение периода?

Лабораторная (практическая) работа № 15 Изучение принципа работы трансформатора

Цель работы: сборка и испытание действующей модели трансформатора.

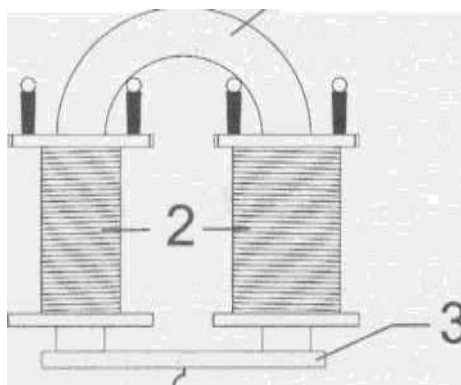
Оборудование: выпрямитель, вольтметр, катушка с выводами (2 шт.), дугообразный сердечник, пластина металлическая, соединительные провода, соединители типа «Крокодил», элементы планшета: ключ, переменный резистор, диод.

Ход работы:

Испытание трансформатора сводится в данной работе к определению влияния конструкции сердечника и значения силы тока во вторичной обмотке на его характеристики.

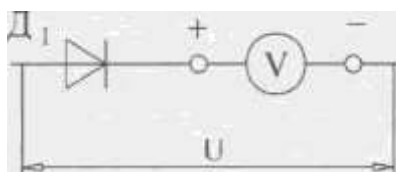
Во вводной беседе необходимо повторить назначение и принцип действия трансформаторов, указать на конструктивные особенности той модели прибора, которую обучающимся предстоит собрать из деталей, входящих в состав лабораторного комплекта по электродинамике.

Модель трансформатора собирают, используя две катушки насаженных на дугообразный сердечник, концы которого замыкают металлической пластиной. Конструкция трансформатора в сборе показана на рисунке ниже.



Кроме того, обучающимся необходимо объяснить способ измерения переменного напряжения, которым пользуются при поведении испытаний прибора. Так как в состав лабораторного комплекта входит вольтметр, предназначенный для измерения постоянного напряжения, то последовательно с ним подключают диод, выполняющий роль простейшего преобразователя переменного напряжения в постоянное.

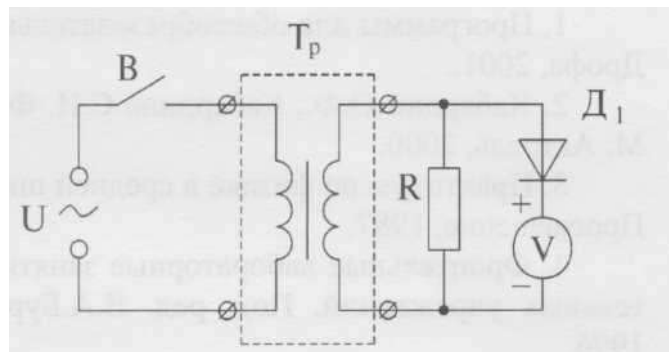
Схема подключения диода показана на рисунке ниже.



Исходя из этого, для проведения количественных измерений напряжения необходимо заново отградуировать шкалу вольтметра (показания вольтметра надо умножать примерно на 2), однако в данной работе измерения носят качественный характер, поэтому показания снимают, пользуясь прежней шкалой.

Экспериментальная часть работы проводится в следующей последовательности.

В первом опыте испытывают трансформатор с разомкнутым сердечником. При этом концы сердечника пластиной не замыкают. Приступают к испытанию собранной модели. Схема экспериментальной установки для проведения опыта показана на рисунке ниже.



Для подачи переменного напряжения используют передние гнезда выпрямителя. Резистор R является нагрузкой вторичной обмотки. Вначале испытывают трансформатор с разомкнутым сердечником на холостом ходу. При этом резистор R временно отключают. Измеряют напряжение U_{2xx} на вторичной обмотке. Затем резистор подключают и повторяют измерение напряжения $U_{2н}$ под нагрузкой.

Данные измерений заносят в таблицу:

Состояние сердечника	U_1	U_{2xx}	$U_{2н}$	k
Разомкнут				
Замкнут				

Вольтметр переключают к выводам первичной обмотки и измеряют напряжение U_1 , поданное на нее от выпрямителя. После этого замыкают концы сердечника пластиной.

Снова измеряют напряжение холостого хода, под нагрузкой и на первичной обмотке. По данным измерений вычисляют коэффициент трансформации, который имел трансформатор при замкнутом и разомкнутом сердечнике.

В итоге делают вывод о том, как и почему конструкция сердечника и режим работы трансформатора влияют на величину напряжения на выводах вторичной обмотки и коэффициент трансформации.

Лабораторная (практическая) работа №16

Определение показателя преломления стекла

Цель работы: отработать прием измерения относительного показателя преломления вещества, основанный на измерении углов падения и преломления.

Оборудование: Оборудование: пластина с параллельными гранями, коврик, булавки (4 шт.), лист бумаги, линейка, тонко отточенный карандаш, транспортир.

Ход работы

В работе измеряют показатель преломления стекла, из которой изготовлена прозрачная пластина с параллельными гранями. Строят ход луча, падающего наклонно на одну из параллельных граней пластины. Проходя сквозь пластину, этот луч испытывает двукратное преломление. Показатель преломления стекла относительно воздуха вычисляется по формуле:



где n - относительный показатель преломления стекла; α - угол падения луча на поверхность пластины; β - угол преломления луча.

Для измерения углов падения и преломления поступают следующим образом. Коврик из пористого материала накрывают листом бумаги. В центральной части листа размещают прозрачную пластину. Карандашом обводят на листе контур ее основания. Пластину временно удаляют с листа. С внешней стороны контура, к середине одной из длинных его линий, до пересечения с ним чертят прямую, наклоненную к этой линии под углом в 20-30°. В эту прямую втыкают две булавки на расстоянии 4-5 см одна от другой. Причем одна из булавок втыкается в точку пересечения прямой с контуром. После этого пластину возвращают на обведенное место на листе бумаги. Учеников предупреждают, что в дальнейшем при выполнении работы смещать пластину относительно обведенного контура не следует. Затем коврик с пластиной кладут на ладонь и располагают перед собой так, чтобы было удобно смотреть на булавки сквозь боковые грани пластины. Поворачивая коврик вокруг вертикальной оси, находят такое его положение, при котором изображение булавок, наблюдаемых сквозь пластину, окажутся совмещенными. Сразу после этого в



коврик перед пластиной втыкают еще две булавки, но так, чтобы все четыре казались расположенными на одной линии.

Вид экспериментальной установки представлен на рисунке

Добившись этого эффекта, приступают к измерению углов. Лист бумаги снимают с коврика. Из точки пересечения наклонной прямой с контуром пластины (ранее в эту точку была вколота одна из булавок) восстанавливают перпендикуляр к контуру и продолжают его внутрь контура. Транспортиром измеряют угол падения луча, за ходом которого велось наблюдение. Этот луч скользил вдоль двух первых булавок, вошел в пластину и, выйдя из нее, скользил вдоль второй пары булавок. Чтобы измерить угол преломления, необходимо построить путь луча внутри пластины. Для этого соединяют линией точки, куда были воткнуты булавки второй пары, и продолжают эту линию до пересечения с контуром. Точку пересечения линии с контуром соединяют отрезком с точкой пересечения с контуром наклонной прямой, которую начертили в начале опыта.

Можно утверждать, что луч внутри пластины распространялся вдоль этого отрезка. Чтобы уменьшить ошибку измерения угла преломления, отрезок продолжают за границы контура. Угол преломления определяют, измерив транспортиром угол между перпендикуляром, восстановленным к контуру, и продолжением этого отрезка.

Получив значения углов падения и преломления, по таблице определяют их синусы, а затем по формуле вычисляют и показатель преломления пластины. Затем меняют положение первых двух булавок и опыт повторяют.

Лабораторная (практическая) работа №17

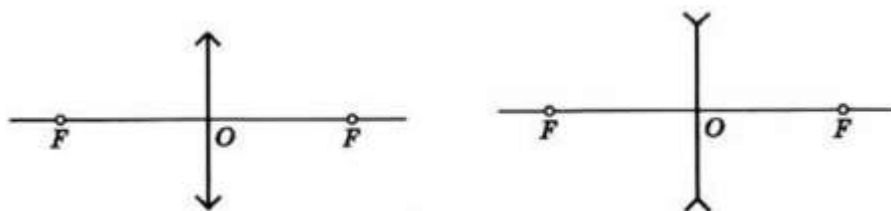
Построение изображения в линзах

Цель работы: закрепить навык построения изображений в тонких линзах

Теория

Свойства тонкой линзы определяются главным образом расположением ее главных фокусов. Поэтому, зная расстояние от источника света до линзы, а также ее фокусное расстояние (положение фокусов), мы можем определить расстояние до изображения, опустив описание хода лучей внутри самой линзы. Поэтому в изображении на чертеже точного вида сферических поверхностей линзы необходимость отсутствует.

Схематически тонкие линзы обозначают отрезком со стрелками на конце. Они смотрят от центра в противоположные стороны, если линза собирающая, и они направлены к центру отрезка, если линза рассеивающая.



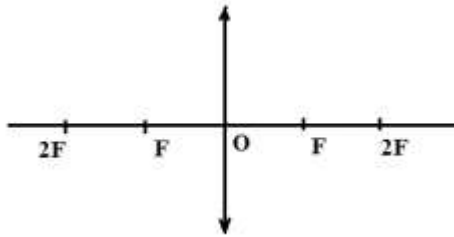
Внимание!

Напомним, что линзы могут давать действительные и мнимые изображения. Причем, собирающая линза может давать как действительные, так и мнимые изображения. Рассеивающая линза всегда дает только мнимые изображения.

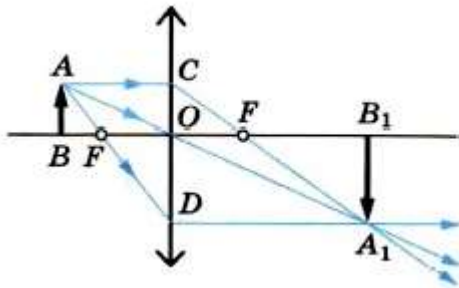
Способ построения изображений, а также вид самих изображений в линзе зависит от того, где расположен изображаемый предмет. Он может располагаться за двойным фокусным расстоянием, в фокальной плоскости второго фокуса, между вторым и первым фокусом, в фокальной плоскости главного фокуса и на расстоянии меньше фокусного расстояния линзы.

Определение

Вторым фокусом называют точку, которая расположена на главной оптической оси от главного фокуса на расстоянии, равном фокусному расстоянию линзы. Относительно линзы он располагается на расстоянии, равном двойному фокусному расстоянию линзы.



Построение изображения в собирающей линзе



Предметы схематично изображаются в виде стрелки. Чтобы построить изображение предмета в собирающей линзе, нужно найти положение верхней и нижней точки этого изображения. Сначала находят положение точки изображения, соответствующей верхней точки предмета (точки A). Для этого из этой точки нужно пустить два луча:

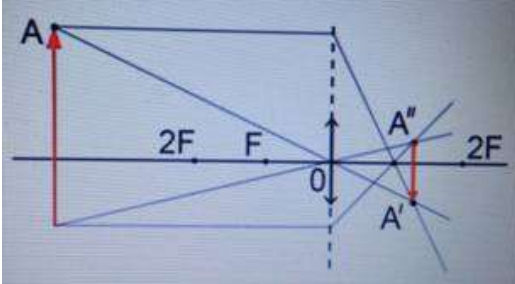
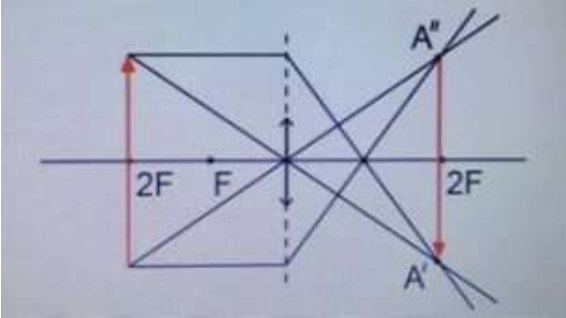
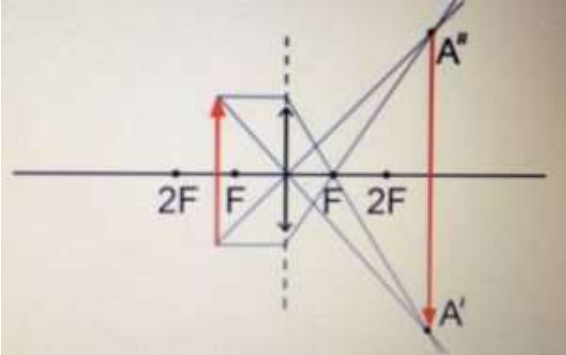
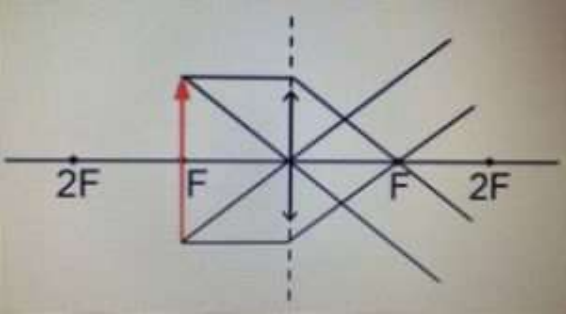
Два вида лучей при построении изображений в линзе

Первый луч проходит из верхней точки предмета (точки A) *параллельно главной оптической оси*. На линзе (в точке C) луч преломляется и проходит через точку фокуса (точку F).

Второй луч необходимо направить из верхней точки предмета (точки A) *через оптический центр* линзы (точку O). Он пройдет, не преломившись.

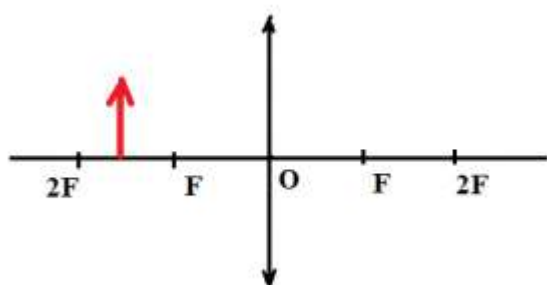
На пересечении двух лучей обозначаем точку A_1 . Это и будет изображение верхней точки предмета. Таким же образом нужно поступить с нижней точкой предмета. Но на пересечении вышедших из линзы лучей нужно поставить точку B_1 . Изображение предмета при этом — $A_1 B_1$.

В зависимости от того, где расположен предмет, изображение может получиться действительным или мнимым, увеличенным или уменьшенным, перевернутым или прямым. Построим изображения для каждого из таких случаев.

<p align="center">Схема построения изображения</p>	<p align="center">Расположение предмета относительно линзы характеристика изображение</p>
	<p>Предмет располагается за двойным фокусом. Изображение:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ уменьшенное; ▪ перевернутое; ▪ действительное.
	<p>Предмет располагается в фокальной плоскости второго фокуса. Изображение:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ перевернутое; ▪ действительное.
	<p>Предмет располагается в пространстве между фокусом и двойным фокусом. Изображение:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ увеличенное; ▪ перевернутое; ▪ действительное.
	<p>Предмет находится в фокальной плоскости. Изображения нет, поскольку лучи идут параллельно друг другу и не пересекаются.</p>

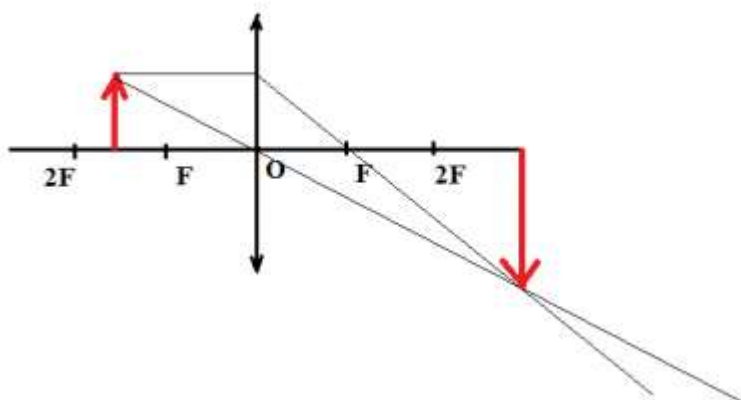
	<p>Предмет располагается между линзой и фокусом. Изображение:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ увеличенное; ▪ прямое; ▪ мнимое.
--	--

Пример №1. Построить изображение предмета, изображенного на рисунке. Определить тип изображения.



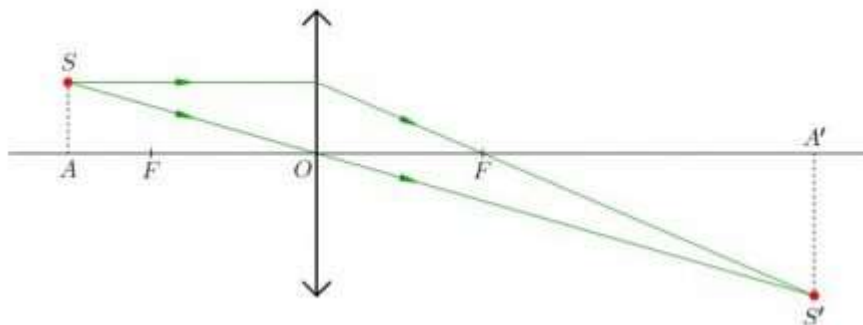
Чтобы построить изображение предмета, достаточно определить его положение одной точки — верхней. Поскольку предмет расположен параллельно линзе, для построения изображения, достаточно будет соединить найденную точку изображения для верхней точки предмета перпендикуляром, проведенным к главной оптической оси.

Чтобы построить изображение верхней точки, пусть от нее два луча — побочную оптическую ось через оптический центр и перпендикуляр к линзе. Затем найдем пересечение побочной оптической оси с преломленным лучом. Теперь пусть перпендикуляр к главной оптической оси и получим изображение. Оно является действительным, увеличенным и перевернутым.

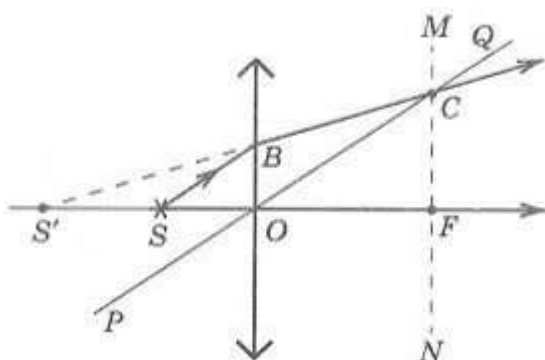


Частный случай — построение изображения точки

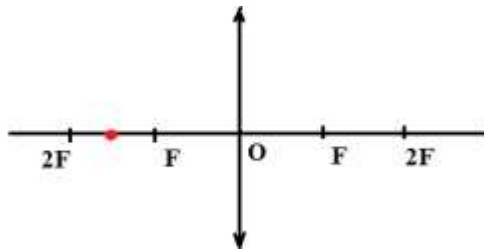
Положение изображения точки можно найти тем же способом, описанным выше. Нужно лишь построить два луча и найти их пересечение после выхода из линзы (см. рисунок ниже). Так, изображению точки S соответствует точка S' .



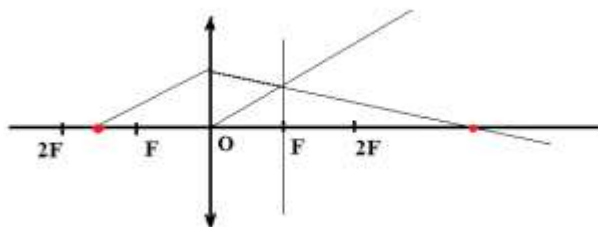
Особую сложность составляет случай, когда точка расположена на главной оптической оси. Сложность заключается в том, что все лучи, которые можно построить, будут совпадать с главной оптической осью. Поэтому возникает необходимость в определении хода произвольного луча. Направим луч от точки S (луч SB) к собирающей линзе. Затем построим побочную оптическую ось PQ такую, которая будет параллельна лучу SB . После этого построим фокальную плоскость и найдем точку пересечения (точка C) фокальной плоскости с побочной оптической осью. Теперь соединим полученную точку C с точкой B . Это будет преломленный луч. Продолжим его до пересечения с главной оптической осью. Точка пересечения с ней и будет изображением точки S . В данном случае оно является мнимым.



Пример №2. Построить изображение точки, расположенной на главной оптической оси.



Чтобы построить изображение, пустим произвольный луч к линзе. Затем построим параллельную ему побочную оптическую ось и фокальную плоскость. Из места пересечения этой оси с фокальной плоскостью пустим луч, также проходящий через точку пересечения линзы с произвольным лучом. Построим продолжение луча до получения точки пересечения с главной оптической осью. Отметим точку пересечения — она является действительным изображением точки.

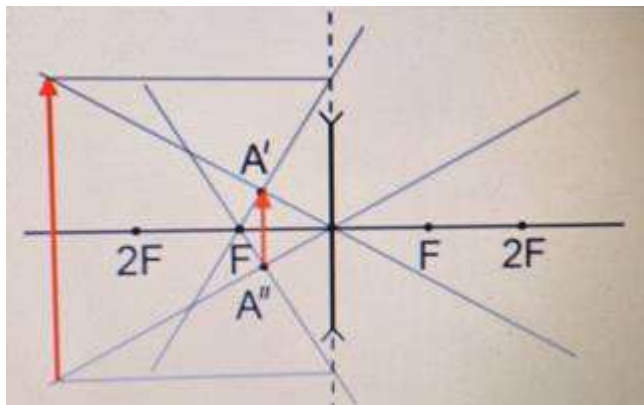


Построение изображения в рассеивающей линзе

Чтобы построить изображение предмета в рассеивающей линзе, нужно определить положения точек изображения, соответствующих верхней и нижней точкам предмета. Вот как определить положение точки изображения для верхней точки предмета:

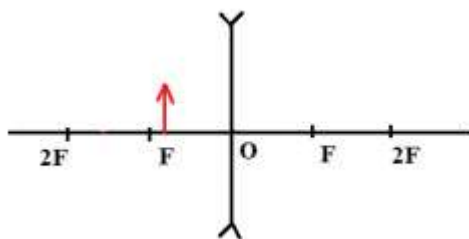
1. Нужно пустить луч, перпендикулярный главной оптической оси. Этот луч после преломления отклонится. Но его продолжение обязательно пересечет главный фокус линзы.
2. Нужно пустить луч от верхней точки предмета через оптический центр линзы (построить побочную оптическую ось).
3. Точку пересечения продолжения луча, полученного в шаге 1, с побочной оптической осью, нужно обозначить за изображение верхней точки предмета (на рисунке это точка A').

Точно такие же действия нужно выполнить для нижней точки предмета. В результате получится точка пересечения, соответствующая изображению нижней точки предмета (на рисунке это точка A'').

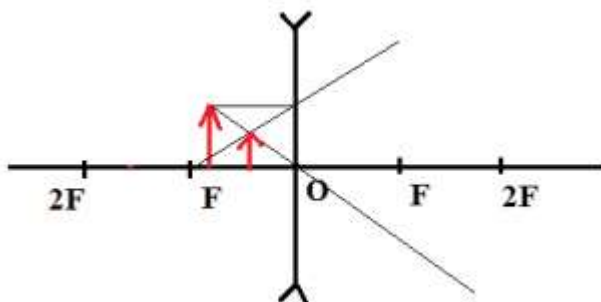


Внимание! Независимо от расположения предмета относительно рассеивающей линзы, изображение всегда получается прямым, уменьшенным, мнимым.

Пример №3. Построить изображение предмета в рассеивающей линзе.



Чтобы построить изображение, пусть от верхней точки предмета побочную оптическую ось через оптический центр и проведем перпендикуляр к линзе. Затем из точки главного фокуса проведем луч через точку пересечения линзы с перпендикуляром. Пересечение этого луча с побочной оптической осью есть изображение верхней точки предмета. Теперь проведем от нее перпендикуляр к главной оптической оси. Это и будет являться изображением предмета. Оно является мнимым, уменьшенным и прямым.



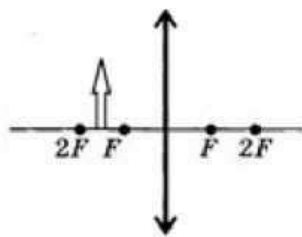
Ход работы:

Задания выполняются по вариантам (вариант определяется преподавателем). Сначала в тетрадь переносится рисунок (на отдельный тетрадный лист в альбомной ориентации), затем осуществляются построения с комментариями.

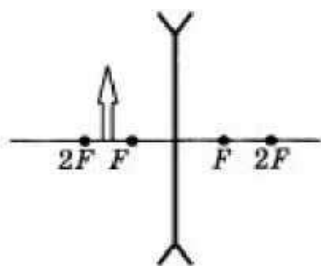
Варианты работы:

I вариант:

1. Построить изображение в собирающей линзе

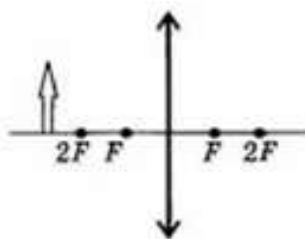


2. Построить изображение в рассеивающей линзе

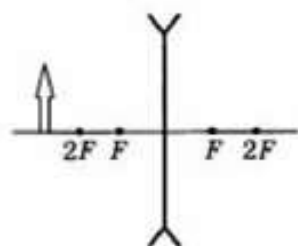


II вариант:

1. Построить изображение в собирающей линзе

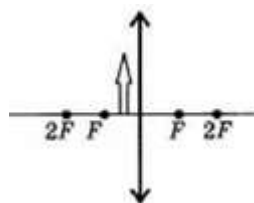


2. Построить изображение в рассеивающей линзе

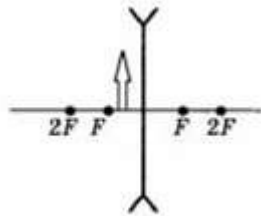


III вариант:

1. Построить изображение в собирающей линзе

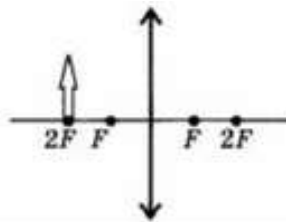


2. Построить изображение в рассеивающей линзе

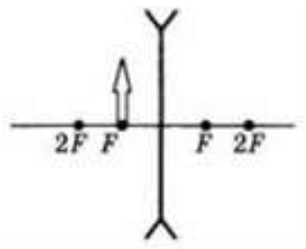


IV вариант:

1. Построить изображение в собирающей линзе

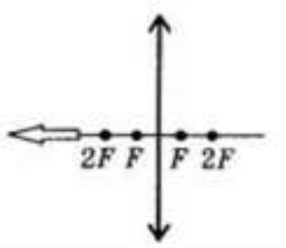


2. Построить изображение в рассеивающей линзе

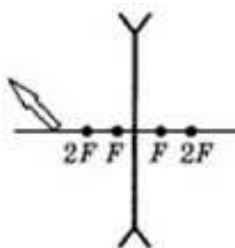


V вариант:

1. Построить изображение в собирающей линзе



2. Построить изображение в рассеивающей линзе



Лабораторная (практическая) работа № 18

Определение длины световой волны с помощью дифракционной решетки

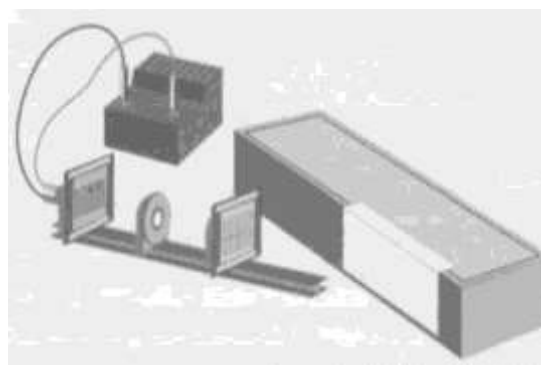
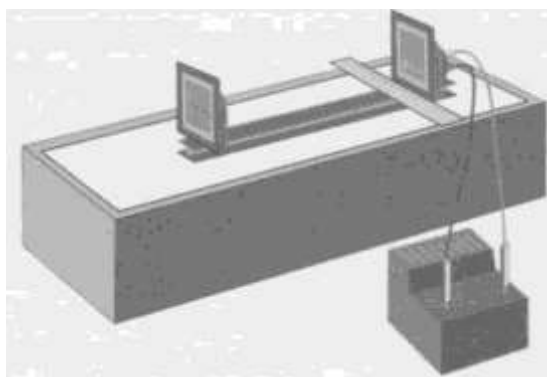
Цель работы: получить практические навыки определения длины световой волны с помощью дифракционной решетки.

Оборудование: пенал, оптическая скамья, рейтер (2 шт.), источник света, слайд-рамка с дифракционными решетками, слайд-рамка с отверстиями в виде круга, щели и буквы "F", экран, соединительные провода, источник питания.

Дополнительное оборудование: линейка с миллиметровыми делениями.

Ход работы:

Работа интересна тем, что экспериментальную установку для ее выполнения можно собрать в двух вариантах. Первый вариант предполагает наблюдение мнимого изображения дифракционного спектра, второй – действительного (см. рисунки ниже).



Для проведения опыта, в котором наблюдают мнимое изображение спектра, источник света размещают на самом конце скамьи. На нем закрепляют рамку с отверстиями в виде круга, щели и буквы "F" так, чтобы свет проходил сквозь ее отверстие в виде щели. На другом конце скамьи помещают рейтер с рамкой с дифракционными решетками. В опыте используется решетка с периодом $1/100$. Включают источник света.

Сквозь решетку, как через окуляр, рассматривают светящееся отверстие на рейтере с источником света. При этом по обе стороны от отверстия на одинаковом удалении от него видны яркие, слегка расширенные изображения отверстия.

Экспериментальная установка для наблюдения действительного изображения дифракционного спектра отличается тем, что на оптическую скамью между источником света и рейтером с решеткой устанавливают еще один рейтер и прикрепляют к нему собирающую линзу. На удалении 10-15 см от рейтера с решеткой помещают пенал с подвешенным к нему экраном. В начале опыта решетку удаляют и, передвигая рейтер с линзой вдоль скамьи, получают на экране четкое изображение щели. Если решетку вернуть на прежнее место, то на экране по обе стороны от изображения щели появятся цветные полосы дифракционного спектра.

Обучающимся, при необходимости, следует пояснить, что в обоих случаях видимые боковые радужные полосы соответствуют главным максимумам многолучевой интерференционной картины. Эти максимумы образованы дифрагировавшими на решетке волнами первого и второго порядков многолучевой интерференции. Углы θ_n которыми

задаются направления дифрагировавших волн для максимумов разных порядков n , определяются формулой:

$$d \sin \theta_n = n\lambda \quad (*)$$

где d – постоянная решетки, а λ – длина волны.

Первая пара ярких изображений соответствует максимумам порядков $n=1$ и $n=-1$ для измерения длины волны λ при известном значении постоянной решетки d необходимо определить угол θ_n соответствующий направлению на какой-либо из главных максимумов.

Это можно сделать, измерив расстояние между видимым положением главного максимума порядка n и самим отверстием (или его изображением, если установка собрана по второму варианту). Для расчета соответствующего угла θ_n нужно измерить также расстояние между слайд-рамкой с щелью и решеткой (для второго варианта опыта измеряют расстояние от решетки до экрана).

Независимо от того, какой вариант установки выберут обучающиеся для проведения опыта, они должны определить длины волн, образующих красные и фиолетовый границы спектров.

Для расчета длины волны используется формула

$$\lambda = \frac{d \sin \theta_n}{n} \quad (**)$$

которую просят обучающихся вывести из формулы (*) самостоятельно.

В качестве дополнительных заданий обучающимся, быстрее других справившихся с выполнением работы, может быть предложено оценить степень монохроматичности излучения источника света, а также определить неизвестный период дифракционной решетки в случае, когда длина волны источника света известна. Оба задания знакомят обучающихся с возможными практическими применениями явления дифракции в технике и науке. Так, например, выполняя первое дополнительное задание, обучающиеся фактически познакомятся с элементами спектрального анализа. Анализ спектрального состава электромагнитных волн с помощью дифракционных решеток широко используется в целом ряде областей научных исследований.

Второе дополнительное задание знакомит обучающихся с одним из методов кристаллографии, где по виду дифракционной картины определяют структуру кристаллической решетки вещества. Это задание выполняется с другой дифракционной решеткой находящейся на слайде. Обучающиеся так же, как и в основной части работы, измеряют расстояние до первого максимума и удаление шкалы от глаза. Затем, используя значение длины световой волны, полученное в основной части работы, по формуле (*) вычисляют период решетки.

Лабораторная (практическая) работа № 19

Интерференция света. Дифракция света

Цель работы: закрепить навыки применения основных расчетных формул по теме «Интерференция света. Дифракция света»

Ход работы.

Перед выполнением работы необходимо повторить теоретический материал по теме работы и решить представленные ниже задания (по вариантам, вариант определяется преподавателем). Решение должно быть полностью прокомментировано (в письменной форме, пояснения на каждом этапе решения)

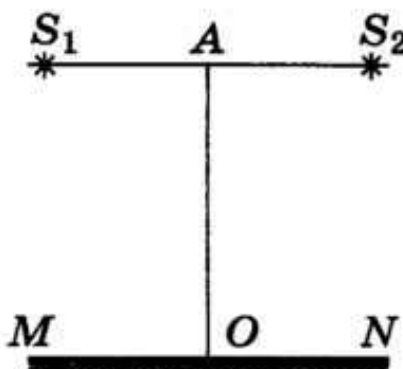
Задача 1.

Между двумя стеклянными пластинами сбоку вложен листок фольги, вследствие чего в отраженном свете на поверхности верхней пластины видны полосы интерференции. Расстояние между соседними светлыми полосами x , толщина фольги h , длина пластин l , длина волны падающего света λ . Рассчитайте значение величины, обозначенные символом "*".

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x , мм	*	0,70	1,0	0,50	*	0,55	0,40	0,30	*	0,40	0,35	0,98
h , мм	0,15	*	0,10	0,15	0,12	*	0,15	0,18	0,18	*	0,20	0,10
l , см	10	15	*	12	10	12	*	10	12	10	*	15
λ , мкм	0,75	0,70	0,65	*	0,60	0,55	0,50	*	0,45	0,75	0,65	*

Задача 2

Два когерентных источника S_1 и S_2 излучают монохроматический свет с частотой ν . Первый максимум освещенности на экране MN находится от точки O на расстоянии x , а расстояния AO и ($S_2A = S_1A$) равны соответственно L и d . Определите значение величины, обозначенной *. (Учтите, что $d \ll L$ и $x \ll L$.)



Вариант	1	2	3	4	6	6	7	8	9	10	11	12
v , ТГц	400	450	500	*	550	600	650	*	700	750	400	*
X , мм	0,80	0,70	*	0,85	0,60	0,65	*	0,86	0,85	0,50	*	0,36
L , м	1,5	*	1,9	2,0	1,6	*	1,7	2,1	2,0	*	2,9	1,8
d , мм	*	0,8	0,9	0,7	*	0,6	0,7	0,9	*	0,8	0,5	1,0

5. Информационные источники

Основные источники (ОИ)

ОИ 1. Касьянов, В. А. Физика : 10-й класс : углублённый уровень : учебник / В. А. Касьянов. — 11-е изд., стер. — Москва : Просвещение, 2023. — 480 с. : ил. - ISBN 978-5-09-103621-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2089899> (дата обращения: 22.12.2023). – Режим доступа: по подписке.

ОИ 2. Касьянов, В. А. Физика. 11-й класс (углублённый уровень) : учебник / В. А. Касьянов. — 11-е изд., стер. — Москва : Просвещение, 2023. — 496 с. - ISBN 978-5-09-103622-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2089901> (дата обращения: 22.12.2023). – Режим доступа: по подписке.

Дополнительные источники (ДИ)

ДИ 1. Ученический эксперимент по физике. Методические рекомендации к лабораторным работам по молекулярной физике и термодинамике / Под ред. Проф. Д-р техн. наук В.С. Пицугина – М.: РА «ИЛЬФ», 2020 – 36 с.

ДИ 2. Ученический эксперимент по физике. Методические рекомендации к лабораторным работам по геометрической и волновой оптике / Под ред. Проф. Д-р техн. наук В.С. Пицугина – М., 2020 – 40 с.

ДИ 3. Ученический эксперимент по физике. Методические рекомендации к лабораторным работам по электродинамике / Под ред. Проф. Д-р техн. наук В.С. Пицугина – М., 2020 – 36 с.

ДИ 4. Ученический эксперимент по физике. Методические рекомендации к лабораторным работам по механике / Под ред. Проф. Д-р техн. наук В.С. Пицугина – М., 2020 – 60 с.

Интернет-ресурсы (И-Р)

И-Р1. Электронная библиотечная система «Znanium»: сайт. – URL: <https://znanium.com/>. – Текст: электронный.

И-Р2. Электронно-библиотечная система «Лань»: сайт. – URL: <https://e.lanbook.com/>. – Текст: электронный.

И-Р3. Электронно-образовательная платформа «Юрайт»: сайт. – URL: <https://biblio-online.ru/>. – Текст: электронный.

И-Р4. Электронная библиотека «Наука и техника»: сайт / Нобелевские лауреаты по физике. – URL: <http://n-t.ru/nl/fz/>. – Текст: электронный.

И-Р5. Подготовка к ЕГЭ: сайт. – URL: www.college.ru/fizika. – Текст: электронный.

И-Р6. ФГБНУ «Федеральный институт педагогических измерений»: официальный сайт / Открытый банк заданий. – URL: www.fipi.ru/content/otkrytyy-bank-zadaniy-ege. – Текст: электронный.