

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

**Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Физика»**

для студентов направления подготовки
09.03.02 «Информационные системы и технологии»
Профиль «Прикладное программирование в интеллектуальных
информационных системах»

Ставрополь
2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	2
Тема 1. Изучение кинематики поступательного движения на воздушной дорожке	4
Тема 2. Изучение динамики поступательного движения на воздушной дорожке	9
Тема 3. Изучение движения математического маятника	13
Тема 4. Изучение распределения Максвелла	16
Тема 5. Определение отношения теплоемкостей воздуха методом адиабатического расширения	19
Тема 6. Определение заряда электрона	24
Тема 7. Изучение магнитного поля проводников различного вида	27
Тема 8. Определение показателя преломления жидкости	32
Тема 9. Изучение внешнего фотоэффекта	41

Введение

Актуальность учебной дисциплины «Физика» обусловлена необходимостью формирования у будущих специалистов теоретико-методологических компетенций, практических умений на которых базируется профессиональная деятельность.

Целью лабораторных занятий является формирование профессиональных компетенций специалиста по направлению 09.03.04 Программная инженерия систем, профиль Разработка и сопровождение программного обеспечения, связанных со способностью проводить исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.

Основные задачи дисциплины:

- освоение современных базовых физических идей, принципов и методов, на которых основано современное научное мировоззрение.
- ознакомление с современной научной аппаратурой и методикой физического исследования, позволяющее развить навыки экспериментального технического поиска

Владеть: математическим аппаратом для описания физических явлений и процессов.

Цель данного практикума – описание последовательности, основного содержания, методики выполнения лабораторных занятий по учебному курсу и (или) самостоятельной подготовки к ним.

Занятия проводятся в форме лабораторной работы.

ТЕМА 1. ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИКИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ ДОРОЖКЕ

Цель работы – экспериментальная проверка основных уравнений и законов поступательного движения тела на специально сконструированной для этого лабораторной установке – воздушной дорожке.

Оборудование и материалы: воздушная дорожка с ползуном и набором аксессуаров, секундомер с 4 измерительными датчиками, набор грузов известной массы, набор перегрузков, весы.

Теория

Любое физическое явление или процесс в окружающем нас материальном мире представляет собой закономерный ряд изменений, происходящих во времени и пространстве. Механическое движение, то есть изменение положения данного тела (или его частей) относительно других тел, – это простейший вид физического процесса. Механическое движение тел изучается в разделе физики, который называется механикой. Основная задача механики – определить положение тела в любой момент времени.

Одна из основных частей механики, которая называется *кинематикой*, рассматривает движение тел без выяснения причин этого движения. Кинематика отвечает на вопрос: как движется тело?

При поступательном движении тела все точки тела движутся одинаково, и, вместо того чтобы рассматривать движение каждой точки тела, можно рассматривать движение только одной его точки.

Основные характеристики движения материальной точки: траектория движения, перемещение точки, пройденный ею путь, координаты, скорость и ускорение.

Линию, по которой движется материальная точка в пространстве, называют траекторией.

Перемещением материальной точки за некоторый промежуток времени называется вектор перемещения $\Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$, направленный от положения точки в начальный момент времени к ее положению в конечный момент (рис. 1).

Скорость материальной точки представляет собой вектор, характеризующий направление и быстроту перемещения материальной точки относительно тела отсчета. Вектор ускорения характеризует быстроту и направление изменения скорости материальной точки относительно тела отсчета.

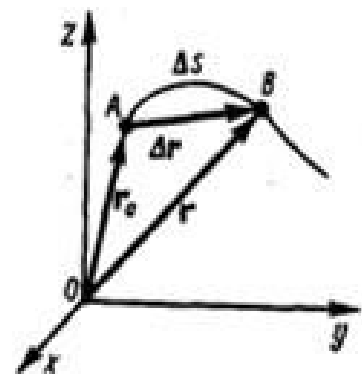
Равномерным прямолинейным движением называется такое прямолинейное движение, при котором материальная точка (тело) движется по прямой и в любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения.

Вектор скорости равномерного прямолинейного движения материальной точки направлен вдоль ее траектории в сторону движения. Вектор скорости при равномерном прямолинейном движении равен вектору перемещения за любой промежуток времени, поделенному на этот промежуток времени:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Движение, при котором за равные промежутки времени тело совершает неравные перемещения называют неравномерным или переменным. Средней скоростью $\langle \vec{v} \rangle$ называется величина, равная отношению перемещения тела $\Delta \vec{r}$ за некоторый промежуток времени Δt к этому промежутку:

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$



Модуль средней скорости определяется как отношение пути ΔS , пройденного телом за некоторый промежуток времени, к этому промежутку:

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Направление вектора средней скорости $\langle \vec{v} \rangle$ совпадает с направлением $\Delta \vec{r}$ (рис. 2).

При неограниченном уменьшении Δt , $\langle \vec{v} \rangle$ стремится к предельному значению, которое называется мгновенной скоростью. Итак, мгновенная скорость $\vec{v}$ есть предел, к которому стремится средняя скорость $\langle \vec{v} \rangle$, когда промежуток времени движения стремится к нулю:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Из курса математики известно, что предел отношения приращения функции к приращению аргумента, когда последний стремится к нулю представляет собой первую производную этой функции по данному аргументу. Поэтому:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Мгновенная скорость $\vec{v}$ есть векторная величина, равная первой производной радиуса-вектора движущейся точки по времени. Так как секущая в пределе совпадает с касательной, то вектор скорости $\vec{v}$ направлен по касательной к траектории в сторону движения (рис. 2).

При неравномерном движении тела его скорость непрерывно изменяется. Как быстро изменяется скорость тела, показывает величина, которая называется ускорением. Средним ускорением неравномерного движения в интервале от t до $t + \Delta t$ называется векторная величина, равная отношению изменения скорости $\Delta \vec{v}$ к интервалу времени Δt :

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Мгновенным ускорением в момент времени t будет предел среднего ускорения:

Таким образом, ускорение есть векторная величина, равная первой производной скорости по времени:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Согласно второму закону Ньютона, описывающего движение материальной точки массой m под действием силы $\vec{F}$ имеет следующий вид:

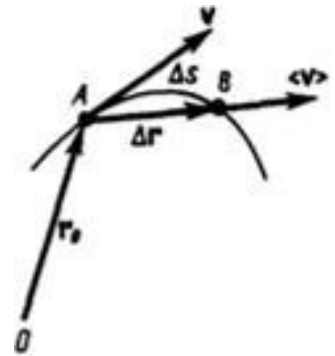
$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1)$$

где $\vec{a} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$ – ускорение тела.

В случае когда сила постоянна, решение уравнения (1) имеет вид:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t; \quad \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2} \quad (2)$$

где $\vec{r}_0$ и $\vec{v}_0$ – радиус-вектор и скорость тела в момент времени $t=0$.



В настоящей работе исследуется движение тела массой M (ползуна), движущегося по горизонтальной поверхности под действием силы натяжения нити, перекинутой через блок, к концу которой привязан груз массой m (см. рис.3).

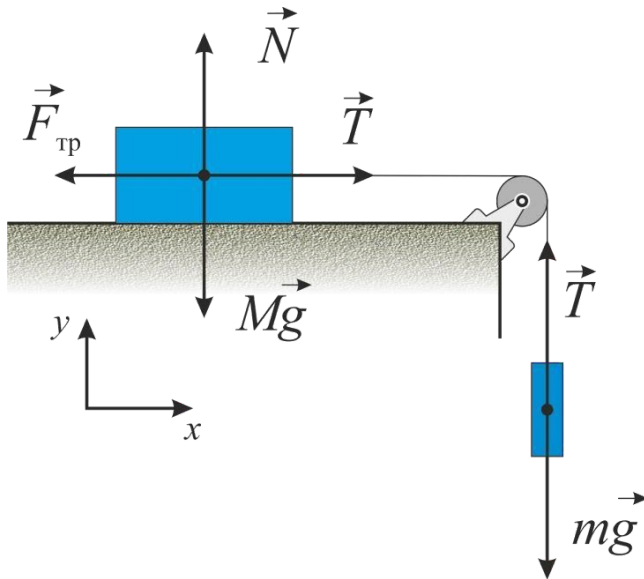


Рис. 3

При движении системы тел (груза и ползуна) связанных нитью, на груз действует сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{T}$. Его ускорение направленно вертикально вниз по оси y . На ползун действует сила тяжести $M\vec{g}$, сила реакции опоры $\vec{N}$, сила натяжения нити $\vec{T}$ и сила трения скольжения $\vec{F}_{тр}$. При движении ползуна на воздушной подушке сила трения

скольжения сводится к минимуму, и ей можно пренебречь, по сравнению с другими силами.

Если нить считать нерастяжимой, то модули ускорений ползуна и груза будут равны. Так как масса блока, нити и сила трения в блоке малы по сравнению с массами ползуна и груза, модули сил натяжения нити будут одинаковы.

Выберем систему координат, как показано на рис.3. тогда второй закон Ньютона для груза в проекции на ось y имеет вид:

$$T - mg = -ma \quad T - mg = -ma \quad (3)$$

а для ползуна в проекции на ось x

$$T = Ma \quad T = Ma \quad (4)$$

Решая эту систему уравнений, получим

$$a = \frac{m}{m+M}g \quad a = \frac{m}{m+M}g \quad (5)$$

Стартовая система установлена таким образом, что спусковое устройство спускает ползун, не сообщая ему начальной скорости. В этом случае система уравнений будет иметь вид:

$$v = at \quad v = at \quad (6)$$

$$S = \frac{at^2}{2} \quad S = \frac{at^2}{2} \quad ($$

7)

где $S = x - x_0$, $S = x - x_0$ – координата в точке пуска.

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка представлена на рис.4. она состоит из трека 1, в котором есть отверстия для создания воздушной подушки. Воздух в трек поступает через воздуховод 2. Ползун

3 соединен с грузом 4 нитью перекинутой через блок 5. Для запуска ползуна служит стартовая система 6, а для его остановки - передвинутый в упор 7. Время движения ползуна измеряется электронным секундомером 8, к которому присоединены фотодатчики 9-12.

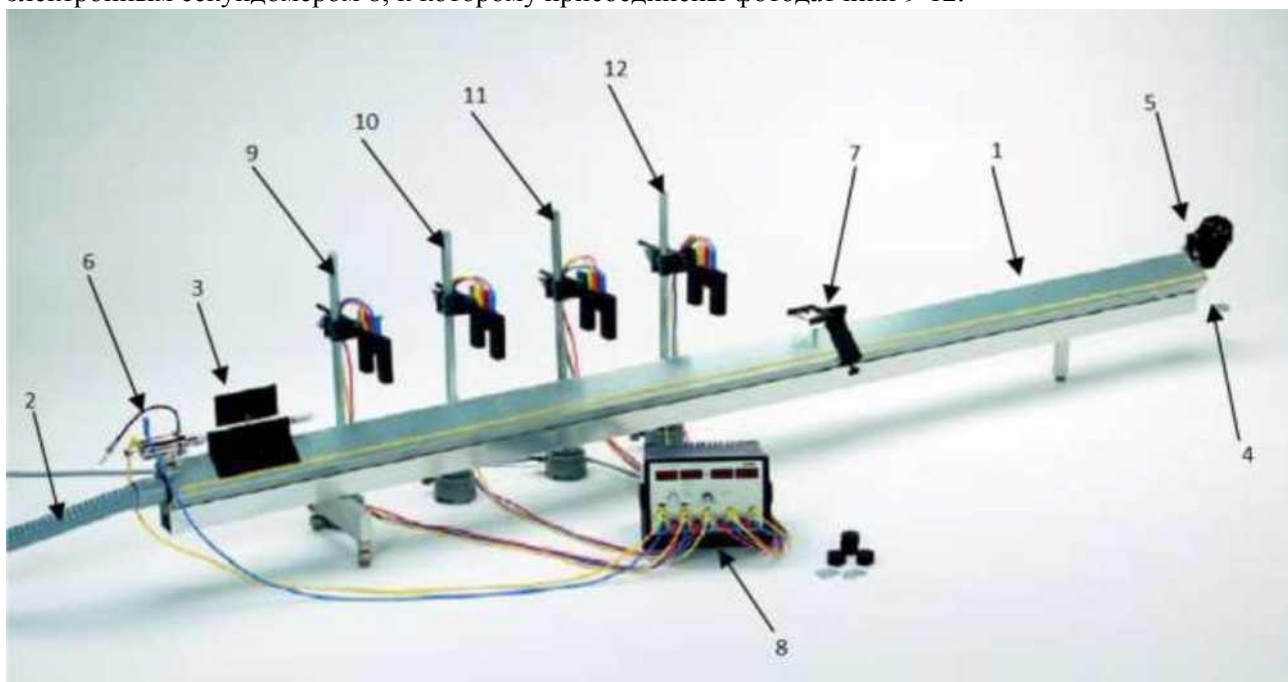


Рис.4. Экспериментальная установка для изучения равноускоренного движения

Масса ползуна может регулироваться при помощи гирь, которые надеваются на прикрепленные к нему с обеих сторон стержни. Оба стержня следует нагружать одинаково. Силу натяжения нити, действующую на ползун, можно изменять, вешая дополнительные гири на держатель.

Для взведения стартовой системы следует нажать на её стержень со стороны ползуна до упора. Излишних усилий прилагать не нужно. Запуск ползуна осуществляется нажатием на кнопку расположенную на гибком тросике стартовой системы.

Проведение эксперимента

Задание. Исследование зависимости пройденного пути и скорости ползуна от времени.

1. Расположить веса горизонтально поверхности, снять защитную крышку, включить их с помощью кнопки on/off.

В отсутствии груза весы должны показывать ноль. Аккуратно положить ползун без добавочных грузов на весы, и зафиксировать его массу M_0 . Таким же образом измерить массу держателя грузов m_0 .

2. Поставьте ползун на трек в точке запуска, зафиксировав его в начальном положении нажатием на стержень стартовой системы. Определите по шкале, нанесенной на трек, координату переднего края экрана ползуна в точке пуска x_0 , а также координаты фотодатчиков x_1 x_n .

3. Расположите четыре световых барьера таким образом, чтобы они разделяли измеряемое расстояние на отрезки примерно равной длины. Например: $S_1 = x_1 - x_0 = 20$ см, $S_2 = x_2 - x_0 = 40$ см, $S_3 = x_3 - x_0 = 60$ см, $S_4 = x_4 - x_0 = 80$ см. Последний барьер расположите так, чтобы ползун с экраном проходил под ним перед тем, как ускоряющаяся гиря коснется пола. Расположите переставной упор с вилкой и гнездом на треке таким образом, чтобы ползун легко ударялся о резиновую ленту перед тем, как ускоряющаяся гиря коснется пола. Проведите все последующие измерения, не изменяя положения световых барьеров.

4. Включить секундомер. Нажав кнопку «Mode» один раз, перевести его в режим измерения времени (), при этом загорится лампочка у пиктограммы этого режима. Нажать два раза кнопку «Reset».

5. Перекинуть нить через блок. Нажав кнопку на тросике стартовой системы, освободить ползун. Медленно передвигая ползун вдоль трека, убедиться, что он может беспрепятственно достигнуть фотодатчиков, а держатель груза не достаёт до пола. Убедиться также в том, что световые датчики фиксируют моменты прохождения мимо них переднего края экрана.

6. Включить воздухоподувку нажатием кнопки на её задней панели. Медленно повернуть ручку мощности наддува до положения 2. Подождать несколько секунд, после чего медленно повернуть ручку до положения 4. **Не устанавливать на воздухоподувке значения больше 4!**

7. С помощью гирь установить массу груза $m=10$ г и массу ползуна $M = 210$ г. Перед запуском закрепить ползун в стартовом положении, сбросить показания секундомера, нажав кнопку «Reset». Убедившись, что ползун и груз покоятся, нажать кнопку на тростике стартовой системы и запустить ползун. После прекращения движения снять показания секундомера t_1, t_2, t_3, t_4 . Повторить измерения четыре раза. Результаты измерений занести в таблицу отчета.

8. Постройте график зависимости пройденного пути от времени t .

9. Рассчитайте средние скорости на каждом отрезке по формуле $\langle v \rangle_i = \frac{S_i}{\langle t \rangle_i} = \frac{S_i}{t_i}$.

Результаты занести в таблицу отчета.

Для равноускоренного движения эти скорости равны соответствующим мгновенным скоростям $v(t)$ на этих участках в моменты времени

$$t = \frac{t_i}{2} = \frac{t_i}{2} \quad (9)$$

Построить график зависимости мгновенной скорости v от времени t . Убедиться, что это зависимость линейная.

10. По наклону этого графика определить ускорение системы $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, и сравнить его с теоретическим значением, рассчитанным по формуле (5).

Контрольные вопросы.

1. Что называется радиус-вектором, скоростью, ускорением материальной точки?
2. Приведите примеры движения тела под действием постоянной силы. Какова в общем случае форма его траектории и почему?
3. Как зависит координата от времени при движении с постоянным ускорением?
4. Как зависит скорость от времени при движении с постоянным ускорением?
5. Как будет зависеть ускорение линейно от массы груза при фиксированной массе ползуна?
6. Почему средняя скорость при равноускоренном движении на участке пути ΔS равна мгновенной скорости в момент времени $t = \frac{\Delta t}{2}$, где Δt - время движения на этом участке пути?

ТЕМА 2. ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ ДОРОЖКЕ

Цель работы – экспериментальная проверка основных уравнений и законов поступательного движения тела на специально сконструированной для этого лабораторной установке – воздушной дорожке.

Оборудование и материалы: воздушная дорожка с ползуном и набором аксессуаров, секундомер с 4 измерительными датчиками, набор грузов известной массы, набор перегрузков, весы

Теория

Любое физическое явление или процесс в окружающем нас материальном мире представляет собой закономерный ряд изменений, происходящих во времени и пространстве. Механическое движение, то есть изменение положения данного тела (или его частей) относительно других тел, – это простейший вид физического процесса. Механическое движение тел изучается в разделе физики, который называется механикой. Основная задача механики – определить положение тела в любой момент времени.

Часть механики, в которой изучаются причины, вызвавшие движение, называется динамикой. Динамика отвечает на вопрос: почему тело движется именно так, а не иначе? В основу динамики взяты три закона Ньютона.

Первый закон Ньютона.

Существуют такие системы отсчета, относительно которых тело движется равномерно и прямолинейно, если на него не действуют другие тела, или действия других тел компенсируются; эти системы отсчета называются инерциальными. Не все системы отсчета являются инерциальными.

Если система отсчета является инерциальной, то любая другая система отсчета, движущаяся относительно нее равномерно и прямолинейно, также инерциальна. Системы отсчета, движущиеся относительно инерциальной системы с ускорением, являются неинерциальными.

Принцип относительности Галилея: во всех инерциальных системах отсчета при одинаковых начальных условиях все механические явления протекают одинаково.

Инерция – это явление сохранения скорости тела. Поэтому первый закон Ньютона называют законом инерции.

Инертность – это свойство тела, заключающееся в его способности сохранять скорость. Более инертными являются тела, которые медленнее изменяют свою скорость. Мерой инертности является масса.

Масса тела – физическая величина, количественно характеризующая инертность тела.

Сила – это количественная мера взаимодействия тел. Сила является причиной изменения скорости тела. В механике Ньютона силы могут иметь различную физическую природу: сила трения, сила тяжести, упругая сила и т.д. Сила является векторной величиной. Векторная сумма всех сил, действующих на тело, называется равнодействующей силой.

Согласно второму закону Ньютона, описывающего движение материальной точки массой m под действием силы $\vec{F}$ имеет следующий вид:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1)$$

где $\vec{a} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$ – ускорение тела.

Если равнодействующая сила равна нулю, то тело будет оставаться в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения. Таким образом, формально второй закон Ньютона включает как частный случай первый закон Ньютона, однако первый закон Ньютона имеет более глубокое физическое содержание – он постулирует существование инерциальных систем отсчета. Согласно третьему закону Ньютона, тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Силы, возникающие при взаимодействии тел, всегда имеют одинаковую природу. Они приложены к разным телам и поэтому не могут уравновешивать друг друга. Складывать по правилам векторного сложения можно только силы, приложенные к одному телу.

В случае когда сила постоянна, решение уравнения (1) имеет вид:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t; \quad \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2} \quad (2)$$

где $\vec{r}_0$ и $\vec{v}_0$ – радиус-вектор и скорость тела в момент времени $t=0$.

В настоящей работе исследуется движение тела массой M (ползуна), движущегося по горизонтальной поверхности под действием силы натяжения нити, перекинутой через блок, к концу которой привязан груз массой m (см. рис.1).

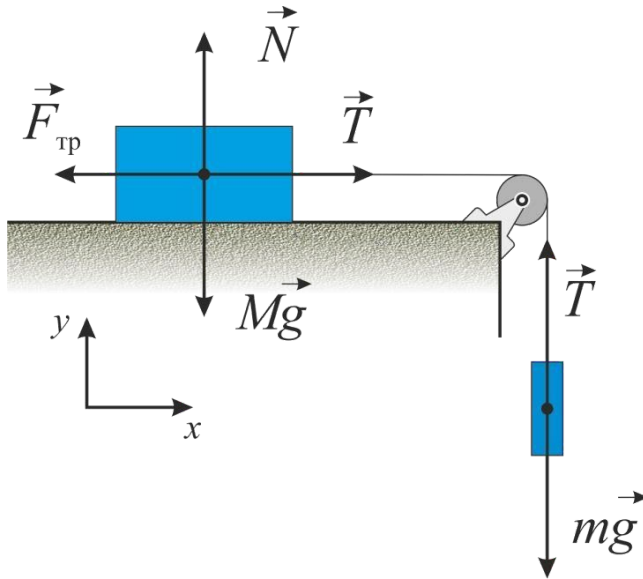


Рис. 1

При движении системы тел (груза и ползуна) связанных нитью, на груз действует сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{T}$ его ускорение направленно вертикально вниз по оси y . На ползун действует сила тяжести $M\vec{g}$, сила реакции опоры $\vec{N}$, сила натяжения нити $\vec{T}$ и сила трения скольжения $\vec{F}_{тр}$. При движении ползуна на воздушной подушке сила трения

скольжения сводится к минимуму, и ей можно пренебречь, по сравнению с другими силами.

Если нить считать нерастяжимой, то модули ускорений ползуна и груза будут равны. Так как масса блока, нити и сила трения в блоке малы по сравнению с массами ползуна и груза, модули сил натяжения нити будут одинаковы.

Выберем систему координат, как показано на рис.1. тогда второй закон Ньютона для груза в проекции на ось y имеет вид:

$$T - mg = -ma \quad (3)$$

а для ползуна в проекции на ось x

$$T = Ma \quad (4)$$

Решая эту систему уравнений, получим

$$a = \frac{m}{m+M}g \quad (5)$$

Стартовая система установлена таким образом, что спусковое устройство спускает ползун, не сообщая ему начальной скорости. В этом случае система уравнений будет иметь вид:

$$v = at \quad (6)$$

$$S = \frac{at^2}{2} S = \frac{at^2}{2} \quad ($$

7)

где $S = x - x_0$; $S = x - x_0$; x_0 – координата в точке пуска.

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка представлена на рис. 2. она состоит из трека 1, в котором есть отверстия для создания воздушной подушки. Воздух в трек поступает через воздуховод 2. Ползун 3 соединен с грузом 4 нитью перекинутой через блок 5. Для запуска ползуна служит стартовая система 6, а для его остановки - передвинутый в упор 7. Время движения ползуна измеряется электронным секундомером 8, к которому присоединены фотодатчики 9-12.

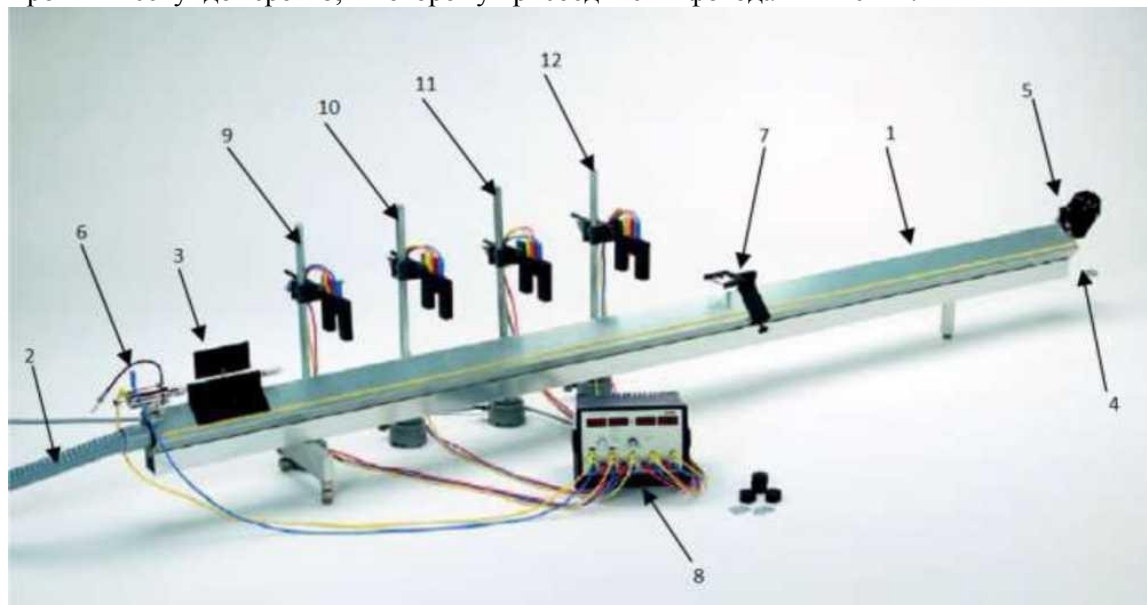


Рис.2. Экспериментальная установка для изучения равноускоренного движения

Масса ползуна может регулироваться при помощи гирь, которые надеваются на прикрепленные к нему с обеих сторон стержни. Оба стержня следует нагружать одинаково. Силу натяжения нити, действующую на ползун, можно изменять, вешая дополнительные гири на держатель. Для взведения стартовой системы следует нажать на её стержень со стороны ползуна до упора. Излишних усилий прилагать не нужно. Запуск ползуна осуществляется нажатием на кнопку расположенную на гибком тросике стартовой системы.

Проведение эксперимента

Задание 1. Исследование зависимости ускорения ползуна от массы груза m при постоянной суммарной массе $M + m$.

11. Расположить весы горизонтально поверхности, снять защитную крышку, включить их с помощью кнопки on/off.

В отсутствии груза весы должны показывать ноль. Аккуратно положить ползун без добавочных грузов на весы, и зафиксировать его массу M_0 . Таким же образом измерить массу держателя грузов m_0 .

12. Поставьте ползун на трек в точке запуска, зафиксировав его в начальном положении нажатием на стержень стартовой системы. Определите по шкале, нанесенной на трек, координату переднего края экрана ползуна в точке пуска x_0 , а также координаты фотодатчиков x_1 x_n .

13. Расположите четыре световых барьера таким образом, чтобы они разделяли измеряемое расстояние на отрезки примерно равной длины. Например: $S_1 = x_1 - x_0 = 20$ см, $S_2 = x_2 - x_0 = 40$ см, $S_3 = x_3 - x_0 = 60$ см, $S_4 = x_4 - x_0 = 80$ см. Последний барьер расположите так, чтобы ползун с экраном проходил под ним перед тем, как ускоряющаяся гиря коснется пола. Расположите переставной упор с вилкой и гнездом на треке таким образом, чтобы ползун легко ударялся о резиновую ленту

перед тем, как ускоряющаяся гиря коснется пола. Проведите все последующие измерения, не изменяя положения световых барьеров.

14. Включить секундомер. Нажав кнопку «Mode» один раз, перевести его в режим измерения времени (), при этом загорится лампочка у пиктограммы этого режима. Нажать два раза кнопку «Reset».

15. Перекинуть нить через блок. Нажав кнопку на тросике стартовой системы, освободить ползун. Медленно передвигая ползун вдоль трека, убедиться, что он может беспрепятственно достигнуть фотодатчиков, а держатель груза не достаёт до пола. Убедиться также в том, что световые датчики фиксируют моменты прохождения мимо них переднего края экрана.

16. Включить воздухоподушку нажатием кнопки на её задней панели. Медленно повернуть ручку мощности наддува до положения 2. Подождать несколько секунд, после чего медленно повернуть ручку до положения 4. **Не устанавливать на воздухоподушке значения больше 4!**

17. С помощью гирь установить массу груза $m = 8$ г и массу ползуна с дополнительными гирями $M = 320$ г. Перед запуском закрепить ползун в стартовом положении, сбросить показания секундомера, нажав кнопку «Reset». Убедившись, что ползун и груз покоятся, нажать кнопку на тросике стартовой системы и запустить ползун. После прекращения движения снять показания секундомера t_1, t_2, t_3, t_4 . Повторить измерения четыре раза. Результаты измерений занести в таблицу 1.

18. Повторить измерения для масс груза в диапазоне от 8 г до 16 г с шагом в 2 г. При этом нужно переносить гири ползуна на подставку груза, так чтобы суммарная масса $M+m=328$ г оставалась неизменной. Результаты занести в таблицу 1.

19. Рассчитать ускорение на каждом отрезке пути по формуле (см.(7)):

$$a_i = \frac{2s_i}{t_i^2} a_i = \frac{2s_i}{t_i^2} \quad (10)$$

и определить среднее значение ускорения для каждой массы m .

20. Построить график зависимости ускорения от массы груза m . Убедиться, что эта зависимость является линейной.

Задание 2. Исследование зависимости ускорения от суммарной массы ползуна и груза при постоянной массе груза.

1. С помощью гирь установить массу груза $m=10$ г и суммарную массу ползуна и груза $M + m = 210$ г.

2. Провести измерения времен t_1, t_2, t_3, t_4 . Результаты измерений занести в таблицу 2.

3. Повторить измерения для масс $M + m$ в диапазоне от 210 г до 330 г с шагом 30 г. Результаты занести в таблицу 2.

4. Определить ускорение на каждом участке пути по формуле (10), и определить среднее ускорение для каждой массы $M + m$.

5. Построить график зависимости ускорения от обратной массы $\frac{1}{M+m} \frac{1}{M+m}$. Убедиться, что зависимость является линейной (см.(5)).

6. По наклону прямой графика зависимости a от $\frac{1}{M+m} \frac{1}{M+m}$ определить ускорение свободного падения (см.(5))

$$g = \frac{1}{m} \frac{\Delta a}{\Delta \left(\frac{1}{M+m} \right)}$$

Сравнить полученное значение с табличным. Сделать выводы.

Контрольные вопросы.

1. Какая система отсчета называется инерциальной? неинерциальной?
2. Сформулируйте первый закон Ньютона.
3. Что собой представляют свойства симметрии пространства и времени?
4. Что называется силой? массой? Как они вводятся в физику?

5. Сформулируйте второй закон Ньютона.
6. Сформулируйте третий закон Ньютона.
7. Как ставится основная задача динамики материальной точки?
8. Опишите экспериментальную установку и методику проведения эксперимента.
9. При каком условии силы натяжения нити по разные стороны блока можно считать одинаковыми?
10. При каком условии можно пренебречь моментом инерции блока машины, не допуская большой ошибки в расчете ускорения тел системы?

ТЕМА 3. ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: Изучение основных закономерностей колебательного движения математического маятника.

Идея эксперимента

Колебательным движением механической системы называется периодическое движение системы в окрестности положения равновесия.

Время T , за которое совершается одно полное колебание, называется периодом колебаний.

Величина ν , обратная периоду, называется частотой колебаний $\nu = 1/T$, а величина

$\omega = 2\pi\nu$ – циклической частотой.

В настоящей лабораторной работе изучаются колебания математического маятника.

В эксперименте исследуется колебательное движение груза, подвешенного на длинной нити. Соотношение его элементов таково, что этот физический маятник с достаточной степенью точности может считаться моделью математического маятника.

Теория

Маятник – тело, совершающее колебательное движение под действием квазиупругой силы. Если подвес нерастяжим, размеры груза пренебрежимо малы по сравнению с длиной подвеса и масса нити пренебрежимо мала по сравнению с массой груза, то груз можно рассматривать как материальную точку, находящуюся на неизменном расстоянии l от точки подвеса O . Такой маятник называется *математическим*.

На маятник действуют силы: натяжения нити $\vec{T}$ и тяжести $m\vec{g}$, которые в положении равновесия компенсируют друг друга $\vec{R} = \vec{T} + m\vec{g} = \vec{0}$. Для возбуждения колебаний маятник выводят из положения равновесия (рис.1). Теперь $\vec{R} \neq \vec{0}$ и маятник обладает избыточной потенциальной энергией mgh по отношению к положению равновесия. Эта энергия обуславливает колебание, происходящее по окружности и описываемое основным уравнением динамики вращательного движения:

$$\vec{M} = I\vec{\varepsilon} = I\ddot{\varphi} \quad (1)$$

где $\vec{M}$ – результирующий вращающий момент, $\vec{\varepsilon}$ – угловое ускорение, $I = ml^2$ – момент инерции шарика относительно оси OO^2 , проходящей через точку подвеса O , перпендикулярно плоскости колебаний (плоскости чертежа). Результирующий момент силы натяжения нити и силы тяжести равен

$$\vec{M} = \vec{M}_T + \vec{M}_g \quad (2)$$

Тогда

$$I\vec{\varepsilon} = \vec{M}_T + \vec{M}_g \quad (3)$$

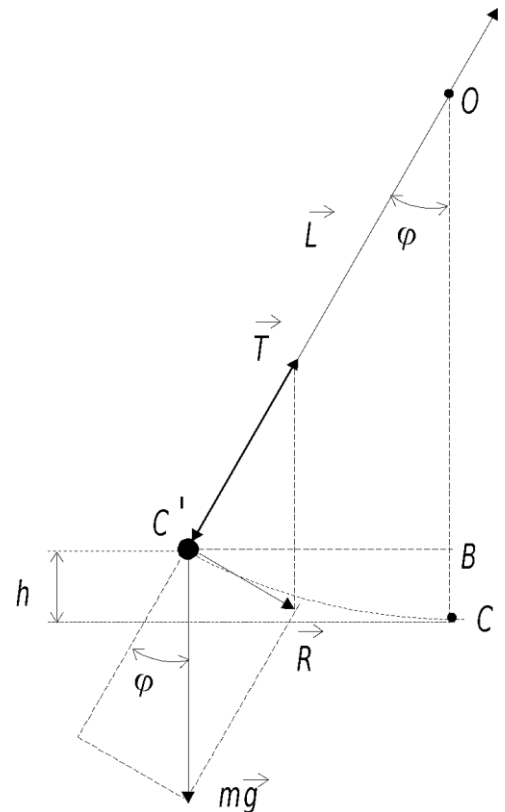


Рис. 1. Математический маятник

Угол $\vec{\varphi}$ – вектор, направленный от читателя вглубь, так как отсчет угла ведется по часовой стрелке. Векторы $\vec{\varepsilon}, \vec{M}_T, \vec{M}_g$ направлены по оси вращения.

Спроецируем выражение (3) на ось OO^2 . Примем за положительное направление оси направление вектора $\vec{\varphi}$. Тогда

$$I\varepsilon = mgl \cdot \sin(\vec{L}, \vec{g}) + T \cdot \sin(\vec{T}, \vec{l}) I\varepsilon = mgl \cdot \sin(\vec{L}, \vec{g}) + T \cdot \sin(\vec{T}, \vec{l}), \quad (4)$$

где $\vec{L}$ – радиус-вектор точки, модуль которого равен длине подвеса $|\vec{L}| = l|\vec{l}| = l$.

Очевидно, что угол $(\vec{L}, \vec{g}) = -\varphi(\vec{L}, \vec{g}) = -\varphi$, а угол $(\vec{T}, \vec{l}) = 0(\vec{T}, \vec{l}) = 0$. Тогда

$$I\varepsilon = -mg \cdot \sin \varphi I\varepsilon = -mg \cdot \sin \varphi \quad (5)$$

Или, так как $\varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega_0^2 \cdot \sin \varphi = 0 \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega_0^2 \cdot \sin \varphi = 0 \quad (6)$$

Для достаточно малых углов $\sin \varphi \approx \varphi$, тогда

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega_0^2 \varphi = 0 \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega_0^2 \varphi = 0, \quad (7)$$

где $\omega_0^2 = \frac{g}{l} \omega_0^2 = \frac{g}{l}$.

Решение уравнения (7) представляет собой гармоническую функцию, соответствующую гармоническому колебанию

$$\varphi = \varphi_0 \cos(\omega_0 t + \alpha_0) \varphi = \varphi_0 \cos(\omega_0 t + \alpha_0), \quad (8)$$

где φ_0 – амплитуда, ω_0 – частота так называемых собственных колебаний, α_0 – начальная фаза.

Период колебаний связан с циклической частотой соотношением $T = \frac{2\pi}{\omega_0} T = \frac{2\pi}{\omega_0}$, тогда период

математического маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (9)$$

Из равенства (9) следует, что малые колебания математического маятника не зависят от амплитуды. Такие колебания называются изохронными.

Равенство (9) получено для колебаний маятника с малой амплитудой, когда можно пользоваться приближенной формулой $\sin \varphi \approx \varphi$. При больших амплитудах эта формула не применима и период колебаний будет зависеть от угла отклонения.

Экспериментальная установка

Используемый маятник – шарик на тонкой прочной (нерастяжимой) нити, закреплённой на штативе. Полная длина маятника l – расстояние от точки подвеса до центра тяжести шарика (рис.2).

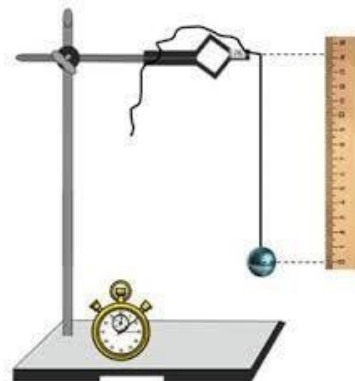


Рис. 2. Схема установки.

Проведение эксперимента

Задание 1. Проверка независимости периода колебаний математического маятника от его массы.

1. Для проверки необходимо использовать тела разной массы, но имеющие одинаковые размеры и форму, что позволяет считать силу сопротивления воздуха во всех опытах одинаковой. При этом тела не обязательно должны иметь шарообразную форму. Угол отклонения маятника из положения равновесия не должен превышать 5° .

Задание 2. Изучение зависимости периода колебаний математического маятника от его длины и определение ускорения свободного падения.

1. Подвешивают на нити стальной груз. Длину подвеса изменяют в пределах от 0,8 до 1,8 м с шагом приблизительно 10 см. Число колебаний в каждом опыте 10-20. Полученные данные заносят в таблицу 2 отчета. Угол отклонения маятника из положения равновесия не должен превышать 5° .

2. Зависимость $T=f(l)$ нелинейная. Поэтому для удобства экспериментальной проверки эту зависимость следует линеализировать. Для этого можно, например, построить график зависимости квадрата периода колебаний от длины маятника $T^2=f(l)$. Если экспериментальные точки ложатся на прямую с небольшим разбросом, то можно сделать вывод о выполнении формулы (9).

3. Для определения с помощью полученного графика ускорения свободного падения необходимо найти угловой коэффициент прямой, т.е. значение тангенса угла наклона графика к оси l . Вычисляют ускорение свободного падения.

Контрольные вопросы.

1. Какое движение механической системы называется колебательным? Что называется периодом и частотой колебаний?
2. Какая система называется математическим маятником?
3. Какие колебания называются гармоническими? Что такое амплитуда и фаза колебаний.
4. Какие колебания называются изохронными? Являются ли колебания математического маятника изохронными? При каком условии колебания математического маятника можно считать изохронными?

ТЕМА 4. ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

Откройте программу «Открытая физика». Выберите «Термодинамика и молекулярная физика», «Распределение Максвелла». Нажмите кнопку с изображением страницы во внутреннем окне. Прочитайте теорию и запишите необходимое в свой конспект лабораторной работы. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- * Знакомство с компьютерной моделью, описывающей поведение молекул идеального газа
- * Экспериментальное подтверждение распределения Максвелла молекул идеального газа по скоростям.
- * Экспериментальное определение массы молекул в данной модели.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

ВЕРОЯТНОСТЬЮ P_i получения некоторого результата измерения называется предел отношения количества измерений, давших этот результат, (N_i) к полному числу измерений N , когда $N \rightarrow \infty$.

ЭЛЕМЕНТАРНОЙ вероятностью dP_v при измерении величины скорости v называется вероятность наличия скорости величиной от v до $v + dv$. Эта вероятность пропорциональна приращению скорости dv : $dP_v = F(v) dv$, где коэффициент пропорциональности $F(v)$ называется ФУНКЦИЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ молекул по величине скорости. Она может быть выражена через другие функции распределения

$F(v) = \Pi(v_x) \otimes \Pi(v_y) \otimes \Pi(v_z) \otimes 4\pi v^2 = f(v) \otimes 4\pi v^2$, где $\Pi(v_x)$, $\otimes \Pi(v_y)$ и $\otimes \Pi(v_z)$ - функции распределения для соответствующих проекций скоростей молекул, а $f(v)$ - их произведение.

В §98 вы можете найти вывод формул, в частности

$$F(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{\left(-\frac{mv^2}{2kT} \right)} 4\pi v^2$$

СРЕДНЯЯ скорость

$$\langle v \rangle = \int_0^{\infty} v F(v) dv = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

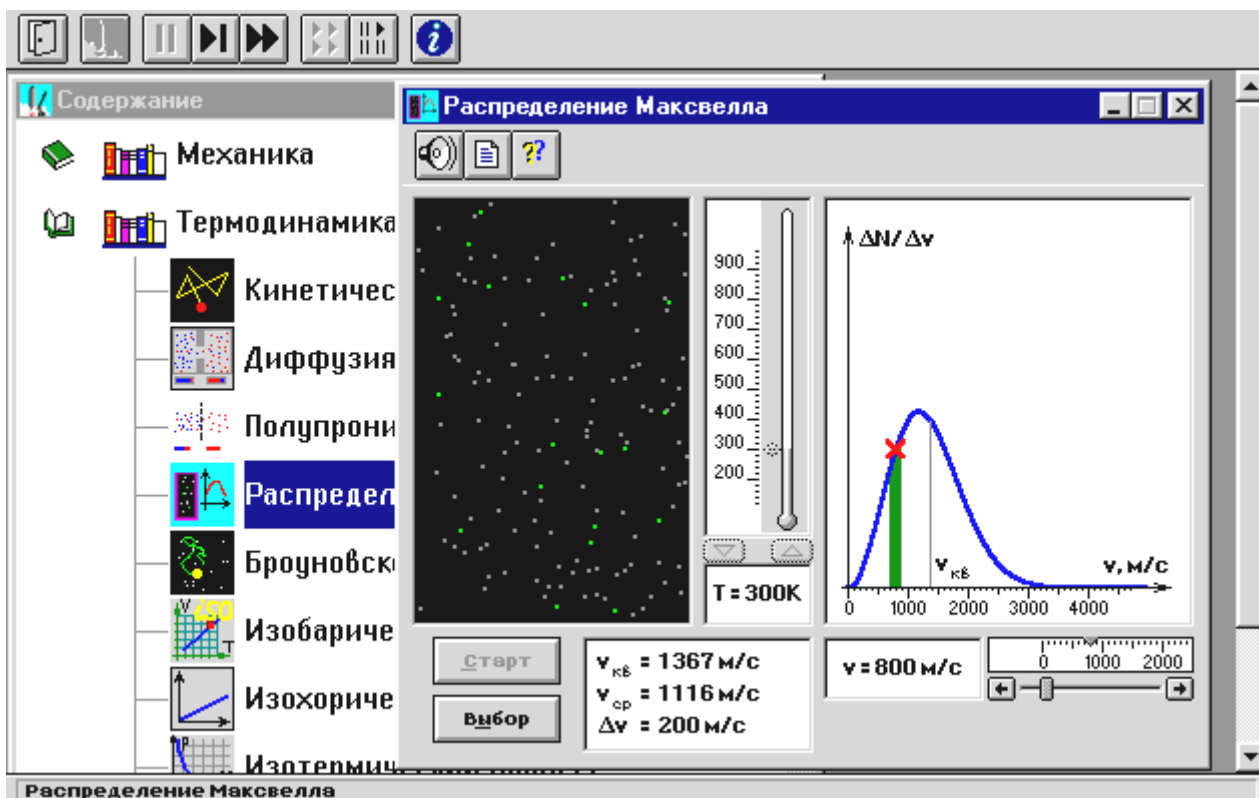
СРЕДНЯЯ квадратичная скорость $v_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$.

НАИВЕРОЯТНЕЙШЕЙ называется скорость $v_{\text{ВЕР}}$, при которой $F(v)$ имеет максимум:

$$v_{\text{ВЕР}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок и зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы.



Внимательно рассмотрите изображение на экране монитора компьютера. Обратите внимание на систему частиц, движущихся в замкнутом объеме слева во внутреннем окне. Они абсолютно упруго сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда. Их количество около 100 и данная система является хорошей «механической» моделью идеального газа. В процессе исследований можно останавливать движение всех молекул (при нажатии кнопки «□'» вверх) и получать как бы «мгновенные фотографии», на которых выделяются более ярким свечением частицы (точки), скорости которых лежат в заданном диапазоне $\otimes v$ вблизи заданной скорости v (т.е., имеющие скорости от v до $v+\otimes v$). Для продолжения наблюдения движения частиц надо нажать кнопку «□□». Запишите в тетрадь значение $\otimes v$, указанное на экране.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Нажмите кнопки «□□», «СТАРТ» и «ВЫБОР» и установите температуру T_1 , указанную в таблице 1 для вашей бригады. Запишите для нее значение наивероятнейшей скорости.
2. Установите скорость выделенной группы молекул вблизи минимального заданного в таблице 2 значения.
3. Нажмите клавишу «□'» и подсчитайте на «мгновенной фотографии» количество молекул $\otimes N$, скорости которых лежат в заданном диапазоне $\otimes v$ вблизи заданной скорости молекул v (они более яркие). Результат запишите в таблицу 2.
4. Нажмите кнопку «□□» и через 10-20 секунд получите еще одну мгновенную фотографию (нажав кнопку «□'»). Подсчитайте количество частиц с заданной скоростью. Результат запишите в табл.2.
5. Повторите еще 3 раза измерения для данной скорости и результаты запишите в табл.2.
6. Измените скорость до значения, указанного в табл.2, и сделайте по 5 измерений (как в пункте 4) для каждой скорости.
7. Установите (как в пункте 1) вторую температуру T_2 из табл.1. Запишите для нее значение наивероятнейшей скорости.
8. Повторите измерения (по пунктам 2,3,4,5), записывая результат в табл.3, аналогичную табл.2.

ТАБЛИЦА 1. Примерные значения температуры (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
T ₁	160	200	260	300	360	400	460	500
T ₂	700	740	760	800	840	860	900	960

ТАБЛИЦЫ 2,3 Результаты измерений при T = К

v[км/с]=	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
⊗N ₁							
⊗N ₂							
⊗N ₃							
⊗N ₄							
⊗N ₅							
⊗N _{CP}							

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Вычислите и запишите в таблицы средние значения количества частиц $\otimes N_{CP}$, скорости которых лежат в данном диапазоне от v до $v+\otimes v$.

Постройте на одном рисунке графики экспериментальных и теоретических зависимостей $\otimes N_{CP}(v)$. Теоретические зависимости можно срисовать с экрана монитора компьютера, подобрав соответствующий масштаб по вертикальной оси ординат.

Для каждой температуры определите экспериментальное значение наивероятнейшей скорости молекул v_{BER} .

Постройте график зависимости квадрата наивероятнейшей скорости от температуры $v_{BER}^2(T)$.

По данному графику определите значение массы молекулы

$$m = 2k \frac{\Delta(T)}{\Delta(v_{BER}^2)}$$

Подберите газ, масса молекулы которого достаточно близка к измеренной массе молекулы. Запишите ответы и проанализируйте ответы и графики.

Табличные значения

Газ	Водород	Гелий	Неон	Азот	Кислород
Масса молекулы 10 ⁻²⁷ кг	3.32	6.64	33.2	46.5	53.12

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дайте определение вероятности получения некоторого результата измерения.
2. Дайте определение элементарной вероятности при измерении величины скорости.
3. Что такое функция распределения?
4. Как связаны функции распределения величины и проекции скорости?
5. Каковы особенности графика функции распределения величины скорости молекул идеального газа?
6. Как вычисляется среднее значение некоторой физической величины A, если известна ее функция распределения f(A)?
7. Напишите формулу для вычисления среднего значения скорости молекул.
8. Напишите формулу для вычисления средней квадратичной скорости молекул.
9. Напишите условие для вычисления наивероятнейшей скорости молекул.
10. Напишите выражение для средней скорости молекул идеального газа.
11. Напишите выражение для средней квадратичной скорости молекул идеального газа.
12. Напишите выражение для наивероятнейшей скорости молекул идеального газа.
13. Вычислите на сколько процентов отличаются средняя и средняя квадратичная скорости молекул идеального газа.
14. Вычислите на сколько процентов отличаются средняя и наивероятнейшая скорости молекул идеального газа.

ТЕМА 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ВОЗДУХА МЕТОДОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ.

Цель работы: углубить представления о тепловых свойствах газов и их зависимости от характера тепловых процессов. Освоить один из методов определения отношения теплоемкостей.

Теория

Теплоемкостью тела называется то количество теплоты, которое необходимо сообщить этому телу, чтобы изменить его температуру на 1 градус:

$$C_{\text{тела}} = \frac{\Delta Q_{\text{тела}}}{\Delta T} C_{\text{тела}} = \frac{\Delta Q_{\text{тела}}}{\Delta T},$$

где $\Delta Q_{\text{тела}}$ – количество теплоты, сообщаемое телу при изменении его температуры на ΔT градусов. Единицей измерения теплоёмкости тела является Дж/К.

Однако, этим понятием пользоваться неудобно, т.к. оно характеризует способность только данного тела, а не вещества из которого оно изготовлено. Поэтому гораздо чаще используют понятие теплоемкости, отнесенное не к произвольному телу, а к единице массы вещества, из которого оно изготовлено. Такая теплоемкость называется **удельной теплоемкостью** c и представляет собой количество теплоты, которое необходимо сообщить единице массы вещества, чтобы изменить ее температуру на 1 градус.

$$c = \frac{C_{\text{тела}}}{m} = \frac{\Delta Q_{\text{тела}}}{m \Delta T} c = \frac{C_{\text{тела}}}{m} = \frac{\Delta Q_{\text{тела}}}{m \Delta T},$$

где m – масса тела. Единицей измерения удельной теплоёмкости является $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Еще чаще в физике предпочитают пользоваться понятием молярной теплоемкости. Под **молярной теплоемкостью** C понимают такое количество теплоты ΔQ_M , которое необходимо сообщить одному молю вещества, чтобы изменить его температуру на 1 градус:

$$C = \frac{\Delta Q_M}{\Delta T} C = \frac{\Delta Q_M}{\Delta T} \quad (1)$$

где ΔQ_M – количество теплоты, сообщаемое одному молю вещества при изменении его температуры на ΔT градусов. Единицей измерения молярной теплоёмкости является $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

$\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

Между удельной и молярной теплоёмкостями существует простая связь:

$$C = M c \quad (2)$$

где M – молярная масса данного вещества.

Так дело обстоит только с твердыми и жидкими телами. Газы же могут нагреваться либо при постоянном объеме, либо при постоянном давлении. От этих условий нагревания газа очень сильно зависит их молярная теплоемкость, которую в дальнейшем для краткости будем называть просто теплоемкостью. Согласно первому началу термодинамики, все количество теплоты ΔQ , подводимое к газу, идет на изменение его внутренней энергии ΔU и на совершение газом работы $A = p \Delta V$. Запишем этот закон для одного моля идеального газа:

$$\Delta Q_M = \Delta U_M + p_M \Delta V \quad (3)$$

где ΔV – изменение объема газа вследствие его теплового расширения. Если количество теплоты ΔQ_M сообщают одному молю газа с целью повысить его температуру на 1 градус ($\Delta T = 1 \text{ K}$), то (1) примет вид:

$$C = \Delta Q_M \text{ или } C = \Delta U_M + p_M \Delta V \quad (4)$$

Рассмотрим теперь каждое из условий нагревания газа в отдельности.

Нагревание газа при постоянном объеме ($V = \text{const}$, $p_M \neq \text{const}$). В этом случае газ не расширяется ($\Delta V = 0$), а следовательно работа против внешних сил им не совершается. Тогда, согласно (3), все подводимое к газу тепло ΔQ_M идет только на изменение внутренней энергии ΔU_M газа:

$$\Delta Q_M = \Delta U_M$$

Подставляя последнее выражение в формулу (4), получаем:

$$C_V = \frac{\Delta Q_M}{\Delta T} = \frac{\Delta U_M}{\Delta T} \quad (5)$$

где C_V – молярная теплоемкость при постоянном объеме, ΔU_M – изменение внутренней энергии идеального газа при его нагревании на $\Delta T = 1 \text{ K}$

$$\Delta U_M = \frac{i}{2} R \Delta T = \frac{i}{2} R \Delta T \quad \text{то} \quad C_V = \frac{i}{2} R \quad (6)$$

где i – сумма числа степеней свободы поступательного, вращательного и удвоенного числа степеней свободы колебательного движения молекул газа.

Теплоемкость газа, нагреваемого при постоянном объеме, часто называют *изохорной теплоемкостью*.

Нагревание газа при постоянном давлении ($p_M = \text{const}$, $V \neq \text{const}$). В этом случае $\Delta V \neq 0$ и тепло, подводимое к газу, идет не только на изменение его внутренней энергии, но и на совершение работы $p_M \Delta V$ против внешних сил.

Тогда, согласно (4), получаем:

$$C_p = \frac{\Delta U_M + p_M \Delta V}{\Delta T} = \frac{\Delta U_M}{\Delta T} + \frac{p_M \Delta V}{\Delta T}$$

где C_p – молярная теплоемкость газа при постоянном давлении. С учетом (5) имеем:

$$C_p = C_V + \frac{p_M \Delta V}{\Delta T} \quad (7)$$

это означает, что газ, расширяющийся при постоянном давлении, обладает большей теплоемкостью, чем газ, расширяющийся при постоянном объеме, на величину, равную работе $p_M \Delta V$, совершаемой газом против внешних сил.

Выражение (7) чаще записывают в несколько ином виде. Для этого выразим величину $p_M \Delta V$ из уравнения Менделеева-Клапейрона, записанного для одного моля газа:

$$p_M \Delta V = R \Delta T \Rightarrow p_M \Delta V = R \Delta T \Rightarrow p_M \Delta V = R \quad (\text{т.к. } \Delta T = 1 \text{ K})$$

Подставляя это выражение в формулу (7), получаем:

$$C_p = C_V + R \quad (8)$$

Сравнивая выражения (7) и (8), можно сделать очень интересный и важный вывод: *работа одного моля газа против внешних сил, расширяющегося при постоянном давлении, всегда равна универсальной газовой постоянной*.

Численное значение теплоемкости при постоянном давлении зависит от числа степеней свободы молекул газа, которое можно записать в виде:

$$C_p = \frac{i+2}{2} R \quad (9)$$

Теплоемкость газа, нагреваемого при постоянном давлении, часто называют *изобарной теплоемкостью*.

Весьма важное значение при изучении свойств идеальных газов играет отношение молярных теплоемкостей газа C_p к C_V . Это отношение обозначают буквой γ и называют *показателем*

адиабаты:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{i+2}{i} > 1 \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{i+2}{i} > 1 \quad (10)$$

Для одноатомных молекул $i = 3$, для двухатомных с вращательной степенью свободы $i = 5$, для двухатомных с вращательной и колебательной степенями свободы $i = 7$, и т. д. Поэтому для сопоставления теории с опытом

достаточно

сравнивать

экспериментальные и теоретические значения γ . Например, для одноатомного газа, согласно теории, $i = 3$ и $\gamma = 5/3 = 1,67$, для 2-х атомного газа при комнатной температуре $i = 5$ и $\gamma = 7/5 = 1,4$.

Выражение (10) можно получить, разделив (9) на (6). Важность его заключается в том, что показатель адиабаты является величиной, характерной для каждого газа, и входит в уравнение, описывающее адиабатические процессы в газах. Это уравнение называется **уравнением адиабаты** или **уравнением Пуассона**:

$$PV^\gamma = \text{const} \quad PV^\gamma = \text{const} \quad (11.a)$$

Заменяя в (11.a) PV^γ через $PV \cdot V^{\gamma-1}$ и применяя уравнение Менделеева-Клапейрона, получим иную запись уравнения Пуассона:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad (11.6)$$

Следует заметить, что уравнение Пуассона, описывающее адиабатические процессы, очень похоже на уравнение Бойля-Мариотта ($PV = \text{const}$), описывающее изотермические процессы. Однако, показатель степени в уравнении Пуассона (11.a) свидетельствует о том, что адиабата всегда располагается круче изотермы (рис.1). Иными словами, тангенс угла наклона касательной к адиабате в γ раз больше тангенса угла наклона касательной к изотерме.

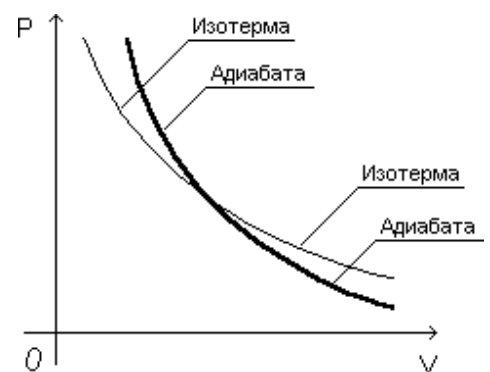


Рис. 1.

Экспериментальная установка

Лабораторная работа выполняется на базе лабораторного комплекса ЛКТ-5 (рисунок 2). Основным элементом комплекса – баллон объемом 3,25 л. Баллон снабжен клапаном КЗ, позволяющим быстро сбрасывать давление газа в баллоне. Педаль клапана выведена на панель прибора. Клапан открывается при нажатии на педаль. В целях безопасности на баллон в рабочем состоянии надет чехол из плотной ткани.

Элементы комплекса соединены шлангами из синтетического материала. Краны К1 и К2 пережимают соответствующие шланги. Полная схема соединений элементов изображена на передней панели прибора. Исследуемый газ подается в баллон через штуцер Ш2, при этом происходит удаление влаги из газа.

Если осушение не требуется, то газ подается через штуцер Ш1. Штуцер Ш3 позволяет соединить баллон с дополнительными устройствами.

Традиционным методом определения величины показателя адиабаты является метод адиабатического расширения или, как его ещё называют, метод Клемана-Дезорма. Экспериментальная установка (рис. 2) этого метода представляет собой достаточно большого объема сосуд, который при помощи резиновых шлангов



и двух клапанов, может соединяться либо с окружающей средой,

либо с компрессором. Разность давлений внутри сосуда и снаружи

измеряется манометром. Суть метода состоит в следующем. Когда клапан «Сброс» открыт, то воздух массой m_0 , заполняющий сосуд объемом V_0 , находится под давлением, равным атмосферному p_0 , а температура его равна температуре окружающей среды T_0 . Для определения показателя адиабаты воздуха следует изначально находящийся в сосуде газ массой m_0 последовательно провести через три различных состояния.

Первое состояние: закрывают клапан «К3», открывают клапан «К1» и повышают давление воздуха в баллоне до тех пор, пока разность давлений в баллоне и окружающей среде не достигнет ~ 200 мм рт. ст. Далее необходимо выждать некоторое время, пока температура воздуха в баллоне, возросшая из-за быстрого нагнетания, не станет равной температуре T_0 окружающей среды, о чём можно судить по прекращению изменения давления. Вследствие нагнетания в сосуд некоторого количества газа, масса воздуха m , занимавшего изначально весь объем V_0 сосуда, окажется в сжатом состоянии и будет теперь занимать меньший объем $V_1 < V_0$, находясь при этом под давлением $p_1 = p_0 + \Delta p_1$ (где Δp_1 – разность давлений воздуха внутри сосуда и с наружи) при температуре окружающей среды T_0 .

Второе состояние: открывают клапан «К3» и позволяют газу, находящемуся в баллоне под повышенным давлением, как можно быстрее расшириться до давления, равного атмосферному, после чего клапан «К3» тут же закрывают. На этом этапе эксперимента происходит следующее. При расширении воздуха его температура понижается. Поскольку процесс расширения газа протекает очень быстро, то температура внутри баллона не успевает выровняться с температурой воздуха в комнате. Поэтому такой процесс можно считать протекающим практически без теплообмена с окружающей средой, т.е. адиабатическим.

Поэтому к моменту расширения газа до атмосферного давления p_0 его температура оказывается несколько ниже комнатной температуры T_0 ($T_2 < T_0$), объем воздуха массой m несколько возрастет до величины $V_2 < V_0$.

Третье состояние. По истечении некоторого промежутка времени газ в баллоне вследствие теплообмена с окружающей средой нагреется до комнатной температуры T_0 , в результате чего его давление возрастет до некоторой величины $p_2 = p_0 + \Delta p_2$ (где Δp_2 – разность давлений воздуха внутри сосуда и с наружи). Объем воздуха массой m останется прежним.

Ниже в таблице сведены воедино параметры газа в каждом из трех описанных состояний.

Параметр системы	Первое состояние	Второе состояние	Третье состояние
Давление	$p_1 = p_0 + \Delta p_1$	p_0	$p_2 = p_0 + \Delta p_2$
Температура	T_0	$T_2 < T_0$	T_0
Объем	$V_1 < V_0$	$V_1 < V_2 < V_0$	$V_3 = V_2$

Адиабатический процесс перехода газа из *первого* состояния во *второе* может быть описан уравнением Пуассона:

$$\frac{p_0^{\gamma-1}}{T_0^\gamma} = \frac{p_0^{\gamma-1} p_0^{\gamma-1}}{T_2^\gamma T_0^\gamma} = \frac{p_0^{\gamma-1}}{T_2^\gamma}. \quad (12)$$

Поскольку переход газа из *второго* состояния в *третье* происходит изохорически (см. таблицу), то этот процесс может быть описан законом Шарля:

$$\frac{p_0}{T_2} = \frac{p_2 p_0}{T_0 T_2} = \frac{p_2}{T_0}. \quad (13)$$

Решая совместно уравнения (12) и (13), получаем:

$$\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^\gamma = \frac{p_1}{p_0} \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^\gamma = \frac{p_1}{p_0} \quad (14)$$

Логарифмируя выражение (14), получаем формулу для расчета показателя адиабаты:

$$\gamma = \frac{\lg p_1 - \lg p_0}{\lg p_1 - \lg p_2} \quad (15)$$

раскладывая выражение (15) в ряд Тейлора и ограничиваясь его первыми двумя членами, а так же учитывая, что $p_1 = p_0 + \Delta p_1$ и $p_2 = p_0 + \Delta p_2$, получаем:

$$\gamma = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_1 - \Delta p_2} \quad (16)$$

Измерения и обработка результатов

1. Закрывать штуцер ШЗ заглушкой.
2. Закрывать кран К2.
3. Подключить грушу-помпу к штуцеру Ш1.
4. Открыть кран К3 и убедиться, что давление в баллоне равно атмосферному (стрелка манометра должна стоять на отметке «0»).
5. Накачать в баллон воздух до избыточного давления Δp_1 , после чего закрыть кран К1. Подождать 1-2 минуты, пока установится температура воздуха, и давление перестанет изменяться. Если необходимо, аккуратно довести давление до заданного значения, слегка приоткрывая кран К2 или накачивая воздух грушей. Полученное значение записать в таблицу 1 отчета.
6. На короткое время с открытым краном К3 баллона (опустить вниз педаль до упора) и снова закрыть его (отпустить педаль) сразу после прекращения шипения выходящего из сосуда воздуха. На этом этапе эксперимента следует помнить, что точность измерений во многом зависит именно от времени истечения воздуха при открытом клапане. Этот процесс должен длиться ровно столько времени, сколько необходимо для выравнивания давления воздуха внутри сосуда с давлением атмосферным при соблюдении условия адиабатичности процесса. Этому состоянию будет соответствовать прекращение шипения выходящего через кран К3 воздуха. Подождать 1-2 минуты до установления температуры и давления в баллоне. Записать установившееся избыточное давление Δp_2 в таблицу 1 отчета.
7. Повторить опыт ещё 19 раз, нагнетая каждый раз в баллон воздух до разного избыточного давления.
8. Определить показатель адиабаты по формуле (16).
9. Сравнить полученный результат с теоретическим.
10. Сделать вывод.

Контрольные вопросы

1. Теплоёмкость тела, удельная и молярная теплоёмкости.
2. Теплоёмкость газа при изохорическом нагревании.
3. Теплоёмкость газа при изобарическом нагревании.
4. Какой процесс называется адиабатическим? Приведите примеры адиабатных процессов.
5. Запишите уравнение Пуассона.
6. Почему при адиабатном расширении температура газа падает, а при сжатии возрастает?
7. В чем суть способа определения показателя адиабаты методом адиабатического расширения (Клемана-Дезорма)?

ТЕМА 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА.

Цель работы: экспериментально подтвердить утверждение о том, что заряд электрона можно определить используя явление электролиза.

Оборудование и материалы: источник питания, кювета с двумя медными электродами, амперметр, весы, провода, секундомер, медный купорос, дистиллированная вода.

Теоретическая подготовка к работе.

Сущность электролиза заключается в выделении из электролита, при протекании через электролитическую ванну постоянного тока, частиц вещества и осаждении их на погруженных в ванну электродах (электроэкстракция) или в переносе веществ с одного электрода через электролит на другой (электролитическое рафинирование). В обоих случаях цель процессов – получение возможно более чистых незагрязненных примесями веществ.

В отличие от электронной электропроводности металлов в электролитах (растворах солей, кислот и оснований в воде и в некоторых других растворителях, а также в расплавленных соединениях) наблюдается ионная электропроводность.

Электролиты являются проводниками второго рода. В этих растворах и расплавах имеет место электролитическая диссоциация – распад на положительно и отрицательно заряженные ионы.

Если в сосуд с электролитом – электролизер поместить электроды, присоединенные к электрическому источнику энергии, то в нем начнет протекать ионный ток, причем положительно заряженные ионы – катионы будут двигаться к катоду (это в основном металлы и водород), а отрицательно заряженные ионы – анионы (хлор, кислород) – к аноду.

У анода анионы отдают свой заряд и превращаются в нейтральные частицы, оседающие на электроде. У катода катионы отбирают электроны у электрода и также нейтрализуются, оседая на нем, причем выделяющиеся на электродах газы в виде пузырьков поднимаются кверху.

Электрический ток во внешней цепи представляет собой движение электронов от анода к катоду (рис. 1). При этом раствор обедняется, и для поддержания непрерывности процесса электролиза приходится его обогащать. Так осуществляют извлечение тех или иных веществ из электролита (электроэкстракцию).

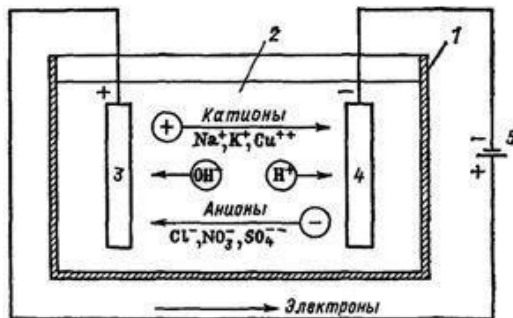


Рис. 1. Процессы, протекающие при электролизе. Схема электролизной ванны: 1 - ванна, 2 - электролит, 3 - анод, 4 - катод, 5 - источник питания.

Если же анод может растворяться в электролите по мере обеднения последнего, то частицы его, растворяясь в электролите, приобретают положительный заряд и направляются к катоду, на котором осаждаются, тем самым осуществляется перенос материала с анода на катод. Так как при этом процесс ведут так, чтобы содержащиеся в металле анода примеси не переносились на катод, такой процесс называется электролитическим рафинированием.

Если электрод поместить в раствор с ионами того же вещества, из которого он изготовлен, то при некотором потенциале между электродом и раствором не происходит ни растворения электрода, ни осаждения на нем вещества из раствора.

Такой потенциал называется нормальным потенциалом вещества. Если на электрод подать более отрицательный потенциал, то на нем начнется выделение вещества (катодный процесс), если же более положительный, то начнется его растворение (анодный процесс).

Если в электролите имеются ионы разных металлов, то первыми на катоде выделяются ионы, имеющие меньший отрицательный нормальный потенциал (медь, серебро, свинец, никель), щелочноземельные металлы выделить труднее всего. Кроме того, в водных растворах всегда имеются ионы водорода, которые будут выделяться ранее, чем все металлы, имеющие

отрицательный нормальный потенциал, поэтому при электролизе последних значительная или даже большая часть энергии затрачивается на выделение водорода.

Путем специальных мер можно воспрепятствовать в известных пределах выделению водорода, однако металлы с нормальным потенциалом меньше 1 В (например, магний, алюминий, щелочноземельные металлы) получить электролизом из водного раствора не удастся. Их получают разложением расплавленных солей этих металлов.

Течение катодных и анодных реакций при электролизе определяется следующими двумя законами Фарадея.

1. Масса вещества m , выделившегося при электролизе на катоде или перешедшего с анода в электролит, пропорциональна количеству прошедшего через электролит электричества $q=It$ (I – сила тока, t – время): $m = kq$, здесь k – электрохимический эквивалент вещества, г/Кл. Электрохимический эквивалент численно равен массе вещества, выделившегося при прохождении через электролит единичного электрического заряда, и зависит от химической природы вещества.

2. 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:

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

$F = 96485,3383$ Кл/моль – постоянная Фарадея.

Электрохимический эквивалент вещества представляет собой массу вещества в граммах, выделяемую единицей проходящего через электролитическую ванну количества электричества – кулоном (ампер-секундой).

На основании двух этих законов можно сформулировать объединенный закон Фарадея:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} It \quad (1)$$

Для меди $M = 63,54$ г/моль, $n=2$, $k=63,54/96480 \cdot 2=0,000329$ г/Кл, для никеля $k=0,000304$ г/Кл, для цинка $k=0,00034$ г/Кл.

В действительности масса выделившегося вещества всегда меньше указанной, что объясняется рядом побочных процессов, проходящих в ванне (например, выделением водорода на катоде), утечками тока и короткими замыканиями между электродами.

Отношение массы фактически выделившегося вещества к массе его, которая должна была бы выделиться по закону Фарадея, носит название выхода вещества по току η .

Следовательно, для реального процесса $m = \eta_I \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} It$. Естественно, всегда $\eta < 1$.

Применение электролиза

Электролиз широко применяют в технике для различных целей. Электролитическим путём покрывают поверхность одного металла тонким слоем другого (никелирование, хромирование, омеднение и т.п.). Это прочное покрытие защищает поверхность от коррозии.

Если обеспечить хорошее отслаивание электролитического покрытия от поверхности, от которой осаждается металл (этого достигают, например, нанося на поверхность графит), то можно получить копию с рельефной поверхности.

В полиграфической промышленности такие копии (стереотипы) получают с матриц (оттиск набора на пластичном материале), для чего осаждают на матрицах толстый слой железа или другого материала. Это позволяет воспроизвести набор в нужном количестве экземпляров. Если раньше тираж книги ограничивался числом оттисков, которые можно получить с одного набора (при печатании набор стирается), то сейчас использование стереотипов позволяет значительно увеличить тираж. Правда, в настоящее время с помощью электролиза получают стереотипы только для книг высококачественной печати.

Процесс получения отслаиваемых покрытий – гальванопластика был разработан русским учёным Б.С. Якоби (1801–1874), который в 1836 г. применил этот способ для изготовления полых фигур для Исаакиевского собора в Ленинграде.

При помощи электролиза осуществляют очистку металлов от примесей. Так, полученную из руды неочищенную медь отливают в форме толстых листов, которые затем помещают в ванну в качестве анодов. При электролизе медь анода растворяется, примеси, содержащие ценные и редкие металлы выпадают на дно, а на катоде оседает чистая медь.

При помощи электролиза получают алюминий из расплавов бокситов. Именно этот способ получения алюминия сделал его дешёвым и наряду с железом самым распространённым в технике и быту металлом.

Методика и ход проведения эксперимента.

Поскольку число Фарадея можно представить как

$$F = N_A \cdot e, \quad (2)$$

где $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ – число Авогадро, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона. Из объединенного закона Фарадея для электролиза (1) и равенства (2) следует, что заряд электрона может быть определен соотношением:

$$e = \frac{M}{mnN_A} It, \quad (3)$$

где m – масса вещества, выделившегося на катоде, M – его молярная масса, n – валентность этого вещества, N_A – число Авогадро, I – сила тока при электролизе, t – время протекания тока.

Электрическая схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. В качестве электролита используют водный раствор медного купороса. В кювету устанавливают два медных электрода на расстоянии 3-4 см один от другого.

1. Измерьте массу электрода m_1 , который в последствии будет подключен к отрицательному полюсу источника электропитания.

2. Соберите электрическую цепь по рис. 2, соблюдая полярность («+» к «+», «-» к «-»). Электроды подключают к цепи, вставляя их отогнутые лепестки в прорези штекеров соединительных проводов.

3. Приготовьте насыщенный раствор медного купороса.

4. Подключите источник питания к электросети и заполните кювету раствором медного купороса, значение тока должно быть порядка 0,3 А.

5. Включите источник и одновременно с этим начните отсчет времени. Запишите первое показание амперметра.

6. На протяжении 20 минут с интервалом в одну минуту измеряйте и записывайте величину силы тока в цепи.

7. Отключите источник электропитания!

8. Аккуратно (чтобы не осыпалась медь) достаньте и просушите катод, просушите его не менее 15-20 минут, измерьте массу катода m_2 .

9. Вычислите массу осевшей на катоде меди: $m = m_2 - m_1$.

10. Определите по формуле (3) величину заряда электрона.

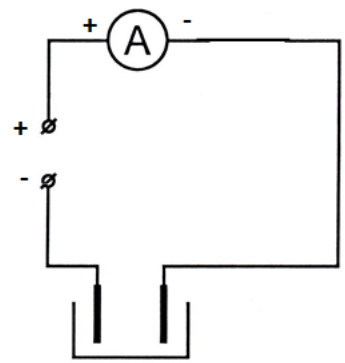


Рис. 2

Контрольные вопросы:

1. Что такое электролиз?
2. Сформулируйте основные законы электролиза.
3. Каково применение электролиза?

ТЕМА 7. ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОВОДНИКОВ РАЗЛИЧНОГО ВИДА

Запустите программу «Открытая физика» «Эл-магн.Кванты». Выберите «Электричество и магнетизм» и «Магнитное поле прямого тока».

Нажмите сверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Необходимое запишите в свой конспект. Закройте внутреннее окно, нажав кнопку с крестом справа сверху этого окна, и вызовите сначала эксперимент «Магнитное поле витка с током», а затем «Магнитное поле соленоида». Прочитайте и запишите в свой конспект необходимые краткие теоретические сведения.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- * Знакомство с моделированием магнитного поля от различных источников.
- * Экспериментальное подтверждение закономерностей для магнитного поля прямого провода и кругового витка (контура) с током.
- * Экспериментальное определение величины магнитной постоянной.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ (МП) называется область пространства, в которой на электрически нейтральный проводник с током действует сила, называемая магнитной. ИСТОЧНИКОМ МП является движущаяся электрически заряженная частица (заряд), которая создает также и электрическое поле.

Если вблизи одной движущейся заряженной частицы (заряда №1) будет находиться вторая движущаяся с такой же скоростью V заряженная частица (заряд №2), то на второй заряд будут действовать 2 силы: электрическая (кулоновская) $F_{ЭЛ}$ и магнитная сила F_M , которая будет меньше электрической в $\left(\frac{V}{c}\right)^2$ раз, где c – скорость света.

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

МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ - характеристика силового действия МП на проводник с током, векторная величина, обозначаемая символом $\vec{B}$.

ЛИНИИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ - линии, в любой точке которых вектор индукции МП направлен по касательной.

Анализ взаимодействия движущихся зарядов с учетом эффектов теории относительности (релятивизма) дает выражение для индукции $d\vec{B}$ МП, создаваемого элементарным отрезком $d\vec{L}$ с током I , расположенным в начале координат (закон Био-Савара-Лапласа или Б-С-Л):

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

где $\vec{r}$ - радиус-вектор точки наблюдения, $\vec{e}_r$ - единичный радиус-вектор, направленный в точку наблюдения, μ_0 - магнитная постоянная.

МП подчиняется ПРИНЦИПУ СУПЕРПОЗИЦИИ: индукция МП нескольких источников является суммой индукций полей, создаваемых независимо каждым источником $\vec{B}_{\text{СУМ}} = \sum_i \vec{B}_i$.

ЦИРКУЛЯЦИЕЙ МП называется интеграл по замкнутому контуру от скалярного произведения индукции МП на элемент контура: $\Gamma_B = \oint_L \vec{B} d\vec{L}$.

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

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

Закон Б-С-Л и принцип суперпозиции МП позволяют получить многие другие закономерности, в частности, индукцию магнитного поля прямого бесконечно длинного проводника с током:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Линии магнитной индукции поля прямого проводника с током представляют собой концентрические окружности, лежащие в плоскостях, перпендикулярных проводнику, с центрами, расположенными на его оси.

Индукция МП на оси кругового контура (витка) радиуса R с током I на расстоянии r от центра:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{p_m}{(R^2 + r^2)^{3/2}},$$

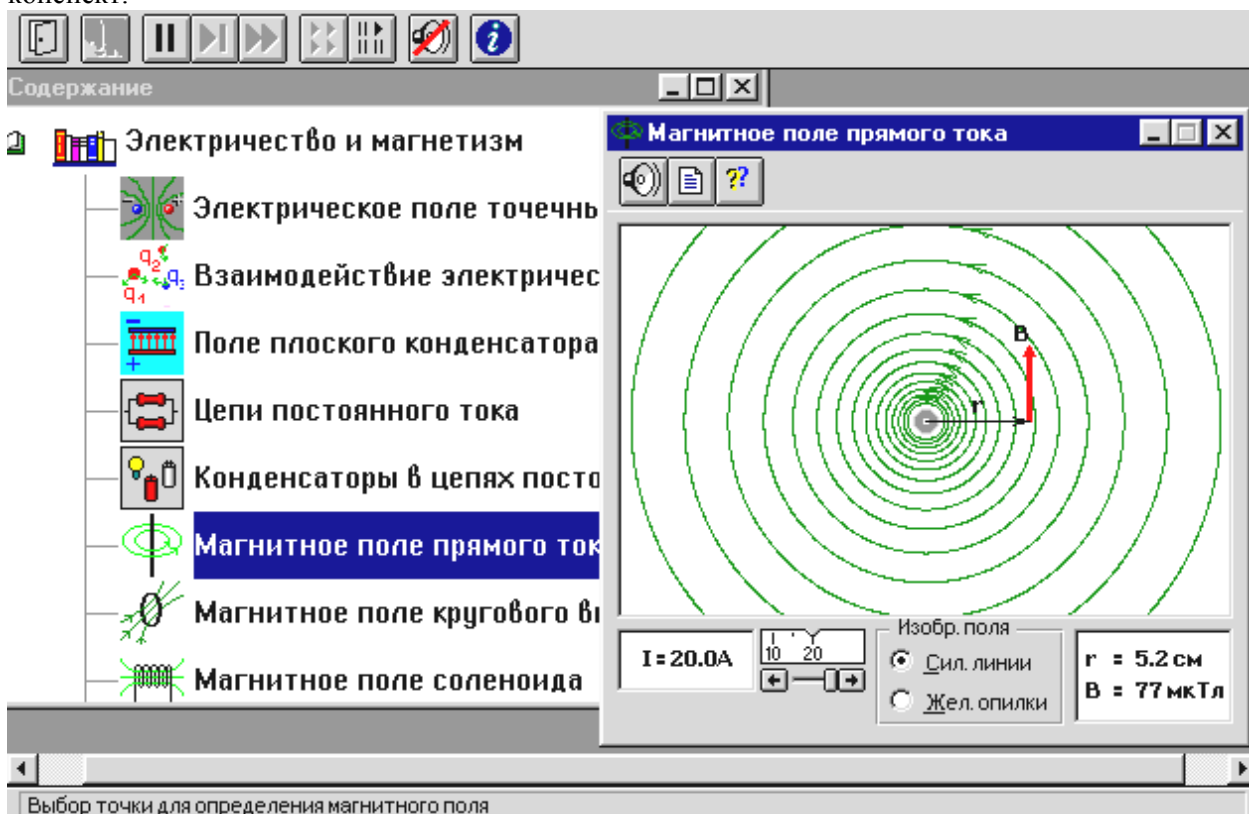
где $p_m = IS\vec{e}_n$ - МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ витка площадью S, $\vec{e}_n$ - единичный вектор нормали к поверхности витка.

СОЛЕНОИДОМ называется длинная прямая катушка с током. Величина индукции МП вблизи центра соленоида меняется очень мало. Такое поле можно считать практически однородным.

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

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Закройте окно теории. Рассмотрите внимательно рисунок, изображающий компьютерную модель. Найдите на нем все основные регуляторы и поле эксперимента. Зарисуйте необходимое в конспект.



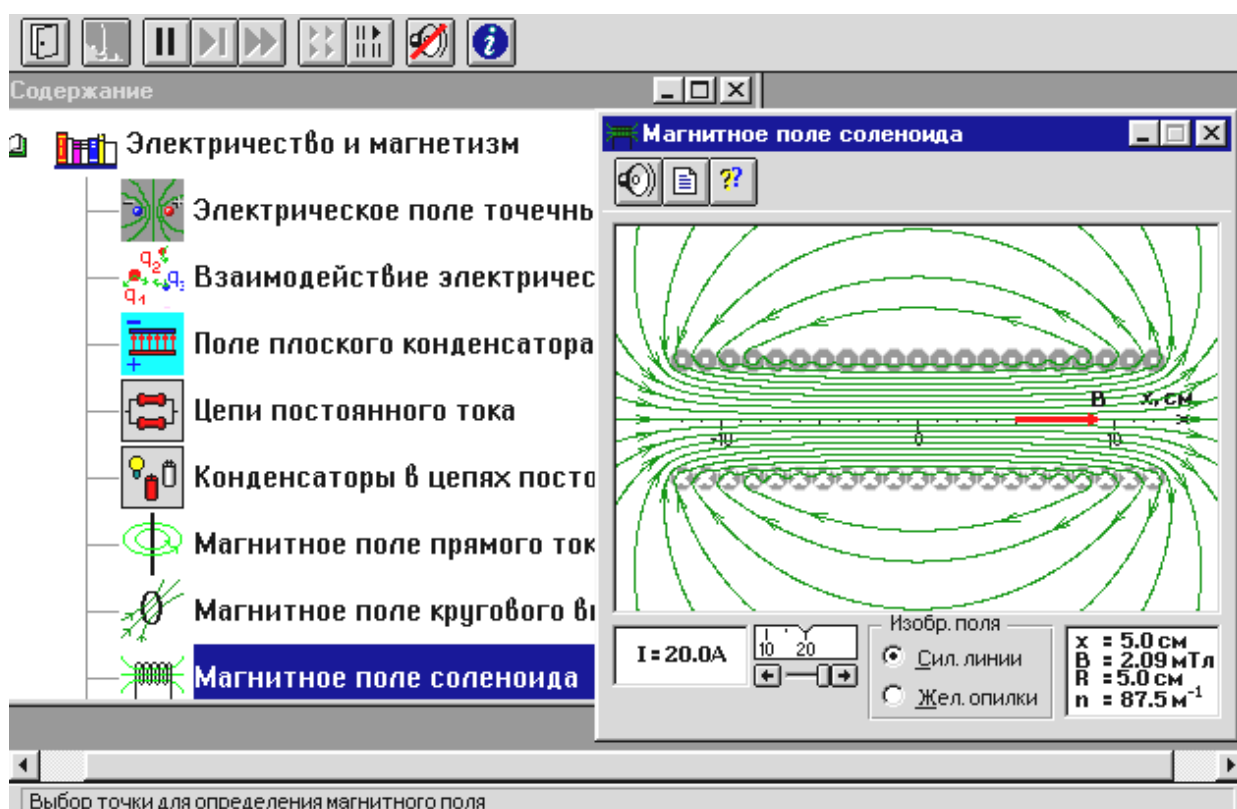
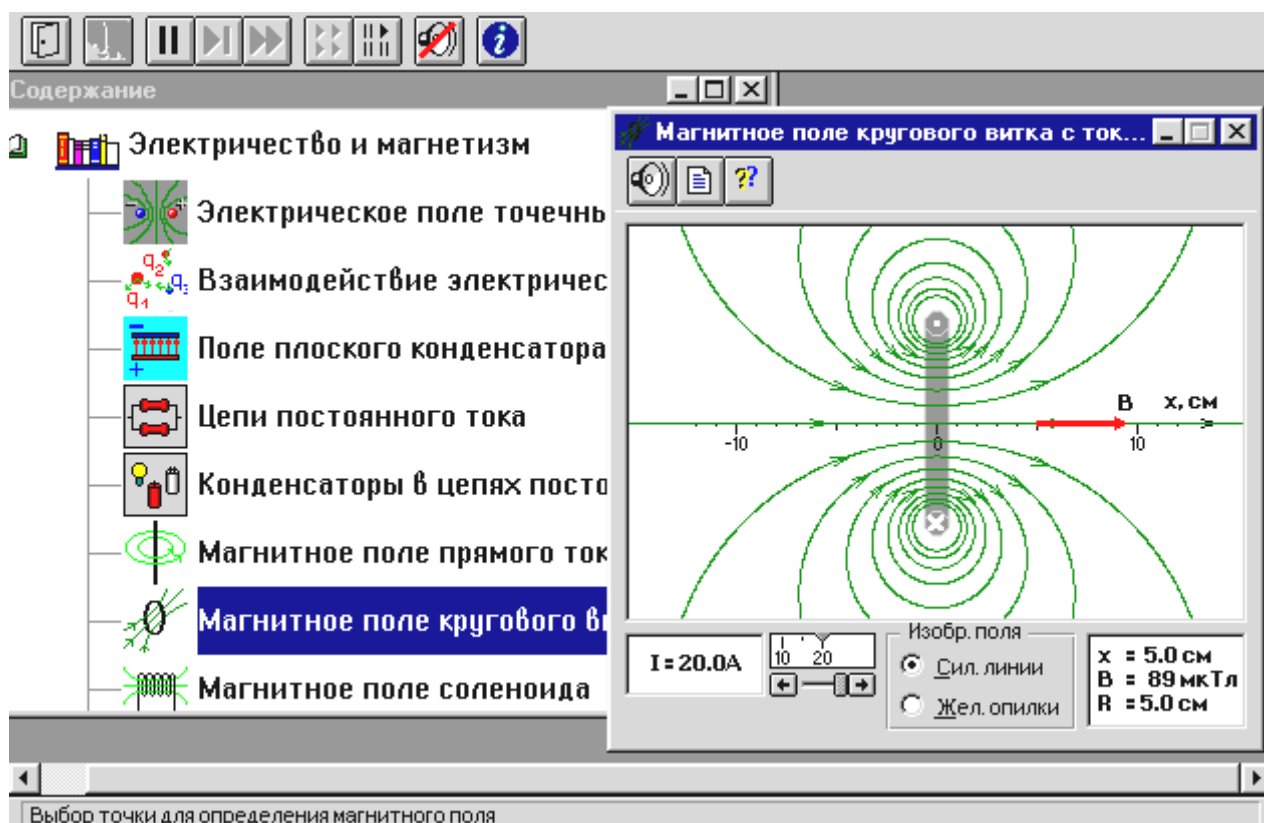


ТАБЛИЦА 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

r (см) =	2	3	...	10
$1/r, \text{ м}^{-1}$				
$B_1, \text{ Тл}$				
$B_2, \text{ Тл}$				
$B_3, \text{ Тл}$				
$B_4, \text{ Тл}$				

ТАБЛИЦА 2. Значения величины тока (не перерисовывать)

Бригады	I_1	I_2	I_3	I_4
1 и 5	5	10	15	20
2 и 6	-5	-10	-15	-20
3 и 7	-15	-10	5	10
4 и 8	-20	-15	-10	5

Подготовьте таблицу 1, используя образец. Подготовьте также таблицы 3 и 4, аналогичные табл.1, за исключением второй строчки, содержание которой см. в следующем разделе.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ:

ЭКСПЕРИМЕНТ 1.

1. Закройте окно эксперимента 3, нажав кнопку в правом верхнем углу внутреннего окна. Запустите, дважды щелкнув мышью, следующий эксперимент «Магнитное поле прямого тока». Наблюдайте линии индукции МП прямого провода.
2. Зацепив мышью, перемещайте движок регулятора тока. Зафиксируйте величину тока, указанную в таблице 2 для вашей бригады.
3. Перемещая мышью «руку» вблизи провода, нажимайте левую кнопку мыши на расстояниях r до оси провода, указанных в таблице 1. Значения r и B занесите в табл.1. Повторите измерения для трех других значений тока из табл.2.

ЭКСПЕРИМЕНТ 2.

1. Закройте окно эксперимента 1, нажав кнопку в правом верхнем углу внутреннего окна. Запустите, дважды щелкнув мышью, следующий эксперимент «Магнитное поле кругового витка с током». Наблюдайте линии индукции МП кругового витка (контура).
2. Зацепив мышью, перемещайте движок регулятора тока. Зафиксируйте величину тока, указанную в таблице 2 для вашей бригады.
3. Перемещая мышью «руку» по оси витка, нажимайте левую кнопку мыши на расстояниях r до оси витка, указанных в таблице 1. Значения r и B занесите в табл.3, аналогичную табл.1 (кроме второй строки, в которой здесь надо записать $1/(R^2+r^2)^{3/2}$ (м^{-3})). Повторите измерения для трех других значений тока из табл.2.

ЭКСПЕРИМЕНТ 3.

1. Закройте окно эксперимента 2, нажав кнопку в правом верхнем углу внутреннего окна. Запустите, дважды щелкнув мышью, следующий эксперимент «Магнитное поле соленоида». Наблюдайте линии индукции МП соленоида.
2. Зацепив мышью, перемещайте движок регулятора тока. Зафиксируйте величину тока, указанную в таблице 2 для вашей бригады.
3. Перемещая мышью «руку» по оси соленоида, нажимайте левую кнопку мыши на расстояниях r до оси соленоида, указанных в таблице 1. Значения r и B занесите в табл.4, аналогичную табл.1 (кроме второй строки, в которой здесь не надо записывать ничего). Повторите измерения для трех других значений тока из табл.2.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Вычислите и запишите в таблицы 1, 3 и 4 значения для второй строки.
2. Постройте на одном листе графики зависимости индукции МП (B) прямого провода с током от обратного расстояния ($1/r$).
3. Постройте на втором листе графики зависимости индукции МП (B) на оси витка с током от куба обратного расстояния $1/(R^2+r^2)^{3/2}$.
4. На третьем листе постройте графики зависимости индукции МП на оси соленоида от расстояния до его центра.

5. По тангенсу угла наклона графиков на первых двух листах определите постоянную, используя формулы $\mu_0 = \frac{2\pi}{I} \frac{\Delta(B)}{\Delta(\frac{1}{r})}$ для первого чертежа и $\mu_0 = \frac{4\pi}{I} \frac{\Delta(B)}{\Delta(\frac{1}{(R^2 + r^2)^{3/2}})}$ для

второго.

6. Вычислите среднее значение магнитной постоянной.
7. Для магнитного поля соленоида при каждом токе определите протяженность $\otimes$ области однородности, в которой индукция меняется не более, чем на 10% от максимальной. Вычислите среднее значение области однородности.
8. Запишите ответы и проанализируйте ответ и график.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое магнитное поле (МП)?
2. Назовите источники МП.
3. Какие силы действуют между движущимися зарядами?
4. Во сколько раз магнитная сила меньше электрической для двух движущихся точечных электрических зарядов?
5. Сформулируйте определение квазинейтральности проводов с током.
6. Какие силы и почему действуют между проводами с током?
7. Дайте определение линии индукции МП. Зачем их рисуют?
8. Запишите закон Био-Савара-Лапласа. В чем он похож на закон Кулона?
9. Сформулируйте принцип суперпозиции для МП.
10. Дайте определение циркуляции МП.
11. Сформулируйте и запишите формулу закона циркуляции МП.
12. Сформулируйте и запишите формулу для МП прямого провода с током.
13. Как выглядят линии индукции МП прямого провода с током?
14. Сформулируйте и запишите формулу для МП на оси кругового витка (контура) с током.
15. Что такое магнитный момент витка с током?
16. Какую форму имеет линия индукции, проходящая через центр витка с током?
17. Что такое соленоид и для чего он используется?
18. Чему равно магнитное поле в центре соленоида?
19. Является ли МП внутри соленоида точно однородным?
20. Как определить протяженность области однородности МП внутри соленоида, если задана точность?

ТЕМА 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ.

Цель работы: расширить представления о явлении преломления света, о полном внутреннем отражении; изучить принцип действия и правила работы с рефрактометром и определить показатель преломления жидких сред.

Оборудование и материалы: рефрактометр ИРФ-22; водные растворы поваренной соли различных концентраций; пипетка; мягкая ткань для протирания оптических деталей приборов.

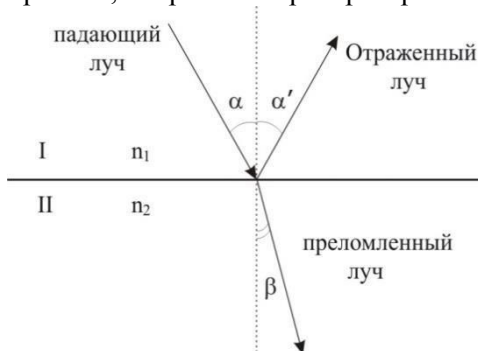
Теоретическая подготовка к работе.

Длины световых волн, которые воспринимает наш глаз, очень малы (менее 1 мкм). Поэтому распространение света во многих случаях можно рассматривать, отвлекаясь от его волновой природы и полагая, что свет распространяется вдоль некоторых линий, называемых лучами. В пределе, соответствующем $\lambda \rightarrow 0$, законы оптики можно сформулировать на языке геометрии. Соответствующий раздел оптики называют *геометрической или лучевой оптикой*.

В основе геометрической оптики лежат три закона: закон прямолинейного распространения света; закон отражения света; закон преломления света.

Закон прямолинейного распространения света: в однородной среде свет распространяется прямолинейно. Доказательством этого закона может служить наличие тени с резкими границами от непрозрачных предметов при освещении их точечными источниками света (источники, размеры которых значительно меньше освещаемого предмета и расстояния до него). Однако необходимо отметить, что этот закон нарушается, если свет проходит сквозь очень малые отверстия, причем отклонение от прямолинейности распространения тем больше, чем меньше отверстия.

На границе раздела сред свет меняет направление своего распространения, часть световой энергии возвращается в первую среду, т.е. происходит *отражение* света. Если вторая среда прозрачна, то часть света при определенных условиях проходит через границу раздела сред, меняя при этом, как правило, направление распространения; это явление называется *преломлением света* (рис. 1).



Закон отражения и преломления света. Лучи при прохождении света через плоскую границу раздела сред подчиняются законам отражения и преломления света. Лучи лежат в одной плоскости с падающим лучом и нормалью к границе раздела сред в точке падения. Угол падения α равен

углу отражения α' . Лучи лежат в одной плоскости с падающим лучом и нормалью, восстановленной к плоскости раздела сред в точке падения. Отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления β есть величина постоянная для данных двух сред, называемая *относительным показателем преломления* второй среды по отношению к первой:

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (1)$$

Относительный показатель преломления двух сред равен отношению скорости распространения света в первой среде v_1 к скорости света во второй среде v_2 :

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} n_{21} = \frac{v_1}{v_2} \quad (2)$$

Если свет идет из вакуума в среду, то показатель преломления среды относительно вакуума называется *абсолютным показателем преломления этой среды* и равен отношению скорости света в вакууме c к скорости света в данной среде v :

$$n = \frac{c}{v} n = \frac{c}{v} \quad (3)$$

Абсолютные показатели преломления всегда больше единицы $n > 1$; для воздуха n принят за

единицу $n_{возд} \approx 1$.

Относительный показатель преломления двух сред n_{21} можно выразить через их абсолютные показатели n_1 и n_2 , тогда:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (4)$$

Когда свет распространяется из оптически более плотной среды в оптически менее плотную, т.е. $n_1 > n_2$, то согласно (4) следует, что преломленный луч удаляется от нормали и угол преломления больше угла падения $\beta > \alpha$. С увеличением угла падения α увеличивается угол преломления β , это происходит до тех пор, пока при некотором угле падения $\alpha = \alpha_{hp}$ угол преломления β не

окажется равным $\frac{\pi}{2}$. Угол α_{hp} называется предельным углом. При углах падения $\alpha > \alpha_{hp}$ весь

падающий свет полностью отражается.

Приближение угла падения α к предельному α_{hp} приводит к уменьшению интенсивности преломленного луча и увеличению интенсивности отраженного. В случае когда $\alpha = \alpha_{hp}$,

интенсивность преломленного луча обращается в нуль, а интенсивность отраженного равна интенсивности падающего. Таким образом, при углах падения в пределах от α_{hp} до $\frac{\pi}{2}$ луч не

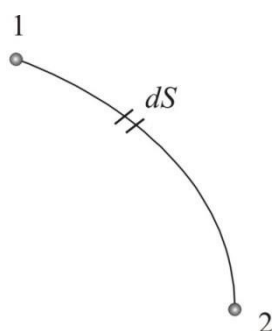
преломляется, а полностью отражается в первую среду, причем интенсивности отраженного и падающего лучей одинаковы, это явление называется полным отражением. Значение α_{hp} может

быть найдено из формулы (4), подстановкой в нее $\beta = \frac{\pi}{2}$ тогда:

$$\sin \alpha_{hp} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (5)$$

Уравнение (5) удовлетворяет значениям угла α_{hp} при $n_2 \leq n_1$, следовательно, явление полного отражения имеет место только при падении света *из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную*. Явление полного внутреннего отражения нашло широкое практическое применение (призмы полного внутреннего отражения, световоды и т.д.).

В основу геометрической оптики (вместо приведенных выше трех законов) положен принцип, который сформулировал в XVII веке французский математик Пьер Ферма. Согласно формулировке предложенной самим Ферма: *свет распространяется по такому пути, для прохождения которого ему требуется минимальное время*.



Рассмотрим путь 1-2, который проходит луч света в неоднородной среде (рис. 2).

Для прохождения пути dS свету потребуется время $dt = \frac{dS}{v}$, где v – скорость света в данной точке среды. Поскольку $v = \frac{c}{n}$, то $dt = \frac{ndS}{c}$,

а значит время τ , которое затрачивает свет на прохождение пути 1-2, будет равно:

$$\tau = \frac{1}{c} \int_1^2 n dS = \frac{L}{c}, \quad (6)$$

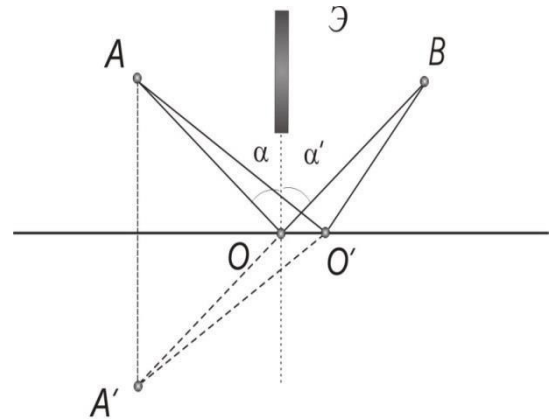
где $L = \int n dS$ – оптическая длина пути; в однородной среде оптическая длина пути равна $L = nS$, где S – геометрический путь.

Пропорциональность времени прохождения оптической длине пути позволяет сформулировать принцип Ферма следующим образом: *свет распространяется по такому пути, оптическая длина которого минимальна.*

Необходимо отметить, что оптическая длина пути должна быть экстремальной, то есть или минимальной, или максимальной, или стационарной – одинаковой для всех возможных путей. В последнем случае все пути света между точками оказываются *таутохронными* (т.е. требующими для своего прохождения одинакового времени).

Получим с помощью принципа Ферма законы отражения и преломления света.

Пусть луч света попадает из точки A в точку B , отразившись от поверхности (рис. 3); при этом прямой путь из A в B прегражден непрозрачным экраном $\mathcal{E}$. Если среда, в которой распространяется свет, однородна, то минимальность оптической длины пути сводится к минимальности его геометрической длины. Как видно из рис. 3, наименьшей длиной обладает путь луча AOB , для которого угол отражения равен углу падения ($\alpha = \alpha'$), а длина любого из ближайших путей, например $AO'B = A'O'B$ будет больше (точка A' – это зеркальное изображение точки A).



Теперь получим с помощью принципа Ферма закон преломления света на границе раздела двух однородных прозрачных сред с показателями преломления n_1 и n_2 . Найдём точку C (рис. 4), в которой должен преломиться луч, распространяясь от точки A к точке B , чтобы оптическая длина пути L была экстремальной.

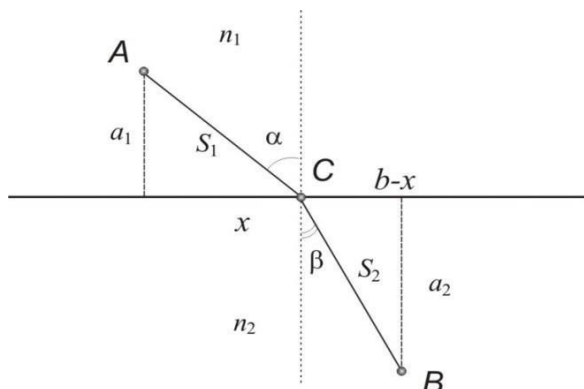
Оптическая длина пути для произвольного луча равна

$$L = n_1 S_1 + n_2 S_2 = n_1 \sqrt{a_1^2 + x^2} + n_2 \sqrt{a_2^2 + (b-x)^2}. \quad (7)$$

Для нахождения экстремального значения, необходимо продифференцировать L по x и приравнять производную к нулю:

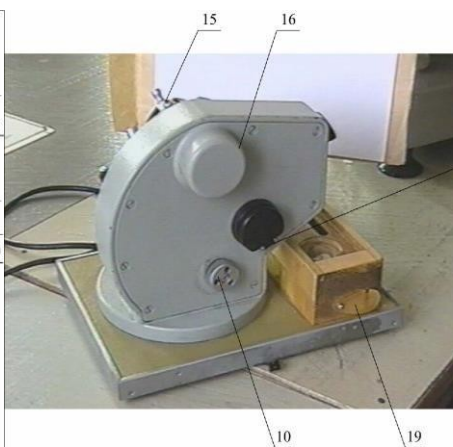
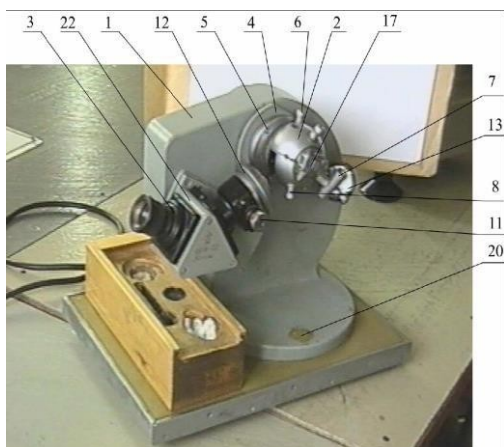
$$\frac{dL}{dx} = \frac{n_1 x}{\sqrt{a_1^2 + x^2}} - \frac{n_2 (b-x)}{\sqrt{a_2^2 + (b-x)^2}} = n_1 \frac{x}{S_1} - n_2 \frac{b-x}{S_2} = 0.$$

Множители при n_1 и n_2 равны соответственно $\sin \alpha$ и $\sin \beta$, следовательно, получаем соотношение $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$, выражающее закон преломления.



Экспериментальная установка

Технический рефрактометр Аббе предназначен для определения показателя преломления жидких тел. Современная модель данного прибора – рефрактометр ИРФ-22 представлена на рис. 5.



измерительной головки 2 и одится призмный блок Аббе состоит из ов и сложенных ый 0,1 мм), который вспомогательной, а , изготовленной из ет, что измерения иться для веществ,

показатели преломления которых $n < 1.7$. Призмный блок Аббе, жестко связан со шкалой отсчетного устройства, расположенной внутри корпуса. Шкала подсвечивается зеркалом 14 и проектируется специальной оптической системой в поле зрения трубы. Таким образом, в поле зрения трубы одновременно видны границная линия, крест нитей, деления шкалы и визирный штрих шкалы. Чтобы найти границу раздела и совместить ее с перекрестием, необходимо вращая маховичок 10, наклонить измерительную головку. Окрашенность наблюдаемой границы устраняется поворотом компенсатора с помощью маховичка 11. Вместе с компенсатором одновременно вращается барабан 12 со шкалой, по которой в случае необходимости можно измерить дисперсию вещества. Подсветка исследуемого вещества осуществляется с помощью зеркала 13 дневным светом.

Измерение показателя преломления прозрачных жидкостей на ИРФ-22.

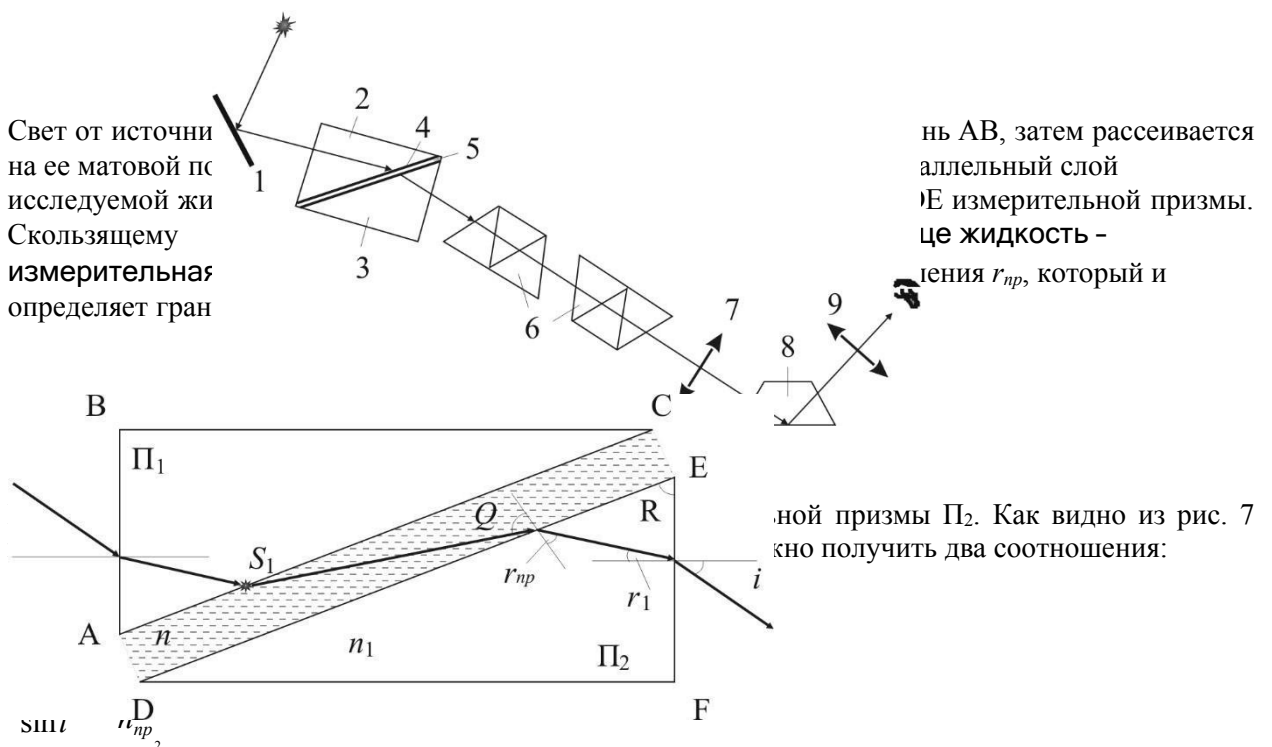
На поверхность измерительной призмы наносят несколько капель исследуемой жидкости и осторожно закрывают головку; наблюдают в окно 15, чтобы жидкость полностью заполнила зазор между измерительной и осветительной призмами. Осветительное зеркало 13 устанавливают перед окном 15 так, чтобы поле зрения трубы было равномерно освещено, затем зеркало закрепляют винтом 16. Вращая маховичок 10, находят границу раздела света и тени, маховичком 11 устраняют ее окрашенность. Точно совмещая границу раздела с перекрестием сетки, снимают отсчет по

шкале показателей преломления. Индексом для отсчета служит неподвижный визирный штрих сетки. Целые, десятые, сотые и тысячные доли значения показателя преломления отсчитываются по шкале.

По окончании измерений тщательно вытирают рабочие поверхности блока Аббе мягкой тряпочкой или фильтровальной бумагой. Полированную грань измерительной призмы надо вытирать очень осторожно, чтобы не повредить полировку. Затем призмы промывают спиртом или эфиром, протирают и оставляют блок на некоторое время открытым для просушки. После этого измерительную головку осторожно закрывают, и прибор накрывают футляром.

Для определения показателя преломления с помощью рефрактометра Аббе пользуются двумя методами: методом скользящего луча и методом полного внутреннего отражения.

Метод скользящего луча применяется для определения показателей преломления для прозрачных жидкостей. Ход луча при измерении данным методом представлен на рис. 6, а ход луча в призмах рефрактометра представлен на рис. 7.



Поскольку $n_{возд} \approx 1$, то решая уравнения (8) и (9) получим, что показатель преломления жидкости $n_{жс}$ зависит от углов Q, r, r_1, i и определяется равенством вида:

$$n_{жс} = \frac{\sin r \cdot \sin i}{\sin r_1 \sin Q} \quad (10)$$

Преломляющий угол R призмы Π_2 связан с углами r и r_1 равенством:

$$R = r + r_1 \quad (11)$$

Задав углу Q максимальное значение $Q_{max} = \frac{\pi}{2}$ (луч S_1S_2 становится "скользящим"), из

выражения (8) следует, что r тоже будет иметь максимальное значение: $r = r_{max} \cdot r_{max}$

соответствуют минимальные значения углов r_1 и i , т.е. $r_{1\min}$ и $i_{\min}$. С учетом вышеописанного, а также выражая из (11) r и подставляя в (10) получим:

$$n_{жс} = \frac{\sin i_{\min} \cdot \sin(R - r_{1\min})}{\sin r_{1\min}} = \sin i_{\min} \cdot \left[\frac{\sin R \cdot \cos r_{1\min} - \cos R}{\sin r_{1\min}} \right] =$$

$$= \sin i_{\min} \cdot \sin R \sqrt{\frac{1}{\sin^2 r_{1\min}} - 1} - \cos R \cdot \sin i_{\min}$$

Т.к. $\frac{\sin i_{\min}}{\sin r_{1\min}} = n_{np2}$, то выражение для $n_{жс}$ запишем в виде:

$$n_{жс} = \sin R \sqrt{n_{np2}^2 - \sin^2 i_{\min}} - \cos R \cdot \sin i_{\min} \quad (12)$$

Таким образом, для определения показателя преломления исследуемой жидкости $n_{жс}$ необходимо знать значение $i_{\min}$ – угла выхода предельного луча из Π_2 в воздух.

Лучи выходят из грани EF под разными углами, значения которых лежат в пределах от 90° до наименьшего угла $i_{\min}$, значение последнего можно определить, используя соотношение (12).

Если на пути лучей, выходящих из грани EF под разными углами, поставить зрительную трубу, установленную на бесконечность, то в ее фокальной плоскости будет наблюдаться резкая граница света и темноты. При этом лучи, углы выхода которых меньше i_m , распространяться не будут. Также в фокальной плоскости зрительной трубы находится шкала величин показателя преломления и указатели (перекрестия). В окуляре зрительной трубы ((9) на рис. 6) можно увидеть лишь часть шкалы и часть сфокусированных лучей, однако, вращая измерительный блок Аббе и тем самым изменяя наклон предельного пучка лучей относительно оси зрительной трубы, можно добиться того, чтобы в поле зрения окуляра оказалась граница света и темноты и при этом совпала с перекрестием.

Граница раздела света и темноты при этом положении зрительной трубы соответствует направлению выхода лучей под наименьшим углом i_m . В этом случае нижняя половина поля зрения в окуляре рефрактометра будет соответствовать направлениям лучей, который выходят из призмы под углами большими, чем i_m , а верхняя – меньшими, чем i_m .

Как показано выше показатель преломления исследуемой жидкости связан с наименьшим углом i_m соотношением (12), однако для определения показателя преломления жидкости с помощью рефрактометра ИРФ-22 нет необходимости пользоваться данной формулой, поскольку отсчетная шкала уже проградуирована в значениях n с учетом (12).

Одной из особенностей рефрактометра ИРФ-22 является то, что для проведения измерений используется белый свет.

Так как источник света не является монохроматичным, то вследствие дисперсии света граница света и тени оказывается размытой и окрашенной. Для устранения этого эффекта на пути лучей, выходящих из призмы Π_2 , помещают компенсатор с переменной дисперсией. Компенсатор состоит из двух одинаковых дисперсионных призм прямого видения – призм Амичи ((6) на рис. 6). Призма Амичи состоит из трех призм с различными показателями преломления и различной дисперсией. Призмы подобраны таким образом, чтобы луч с длиной волны $5893 \text{ \AA}$ не испытывал отклонения. В то время как лучи с другими длинами волн отклоняются в ту или иную сторону. Если призмы Амичи расположены как показано на рис. 6, то их дисперсия равна нулю, поскольку дисперсия одной из призм скомпенсирована дисперсией другой. Если повернуть одну из призм Амичи вокруг оптической оси на 180° относительно другой, то полная дисперсия станет равной удвоенному значению одной призмы (при равных дисперсиях призм). Таким образом, в зависимости от взаимной ориентации призм дисперсия компенсатора может изменяться от нуля до удвоенного значения дисперсии каждой из призм. Вращением ручки компенсатора добиваются резкого изображения границы света и темноты, положение которой при этом соответствует значению показателя преломления для желтой линии натрия D ($5893 \text{ \AA}$).

Метод полного внутреннего отражения применяется для определения показателя преломления темных, мутных и окрашенных растворов. Ход лучей при использовании данного метода

представлен на рис. 8.

Свет от источника проходит сквозь матовую поверхность грани DF призмы Π_2 . Затем рассеивается на этой грани и под всевозможными углами падает на границу раздела стекло-жидкость. При этом если $r_2 > r_1$ будет происходить полное внутренне отражение, если $r_2 < r_1$ – свет отражается частично. В окуляре зрительной трубы будет наблюдаться резкая граница раздела между светом и полутенью.



у предельного угла и в методе скользящего луча, выпадают, то положение границы раздела света и тм. бе может быть использован для определения о применимы как метод скользящего луча, так и

Порядок выполнения работы.

1. Прежде чем приступить к определению показателя преломления исследуемой жидкости необходимо убедиться в правильности работы рефрактометра. Такую проверку проще всего выполнить, измерив показатель преломления вещества с известным показателем преломления. В качестве такого вещества будем использовать дистиллированную воду, показатель преломления которой равен 1,333.

Откройте предназначенное для подсветки шкалы зеркало и направьте свет от окна в лаборатории или от осветительной лампы на шкалу показателей преломления, с помощью окуляра добейтесь резкого изображения измерительной шкалы и перекрестия. Поднимите вспомогательную призму и с помощью пипетки нанесите несколько капель дистиллированной воды на измерительную призму. Осторожно опустите первую призму в исходное положение, посмотрите в окуляр и убедитесь в том, что вода полностью заполнила зазор между измерительной и осветительной призмами. Затем установите осветительное зеркало таким образом, чтобы поле зрения трубы было равномерно освещено, закрепите зеркало в данном положении. Вращая блок измерительной и вспомогательной призм, найдите в поле зрения окуляра границу света и темноты. Устраните окрашенность последней с помощью компенсатора. Совместите точку перекрестия с границей света и тени и по шкале показателей преломления определите показатель преломления дистиллированной воды. При условии, что рефрактометр исправен, для дистиллированной воды должно получиться значение показателя преломления указанное выше, то есть 1,333. Если же полученное значение отличаются от теоретического следует найти поправку к шкале

$\Delta n = n_{изм.} - 1,333$. Внесите полученную поправку в таблицу 1 отчета и учитывайте ее при дальнейших измерениях.

2. Не забывайте, что рабочие поверхности вспомогательной и измерительной призм легко повредить, поэтому при работе с ними необходимо соблюдать осторожность. Для получения правильных значений показателя преломления после каждого опыта необходимо обязательно тщательно вытирать рабочие поверхности обеих призм мягкой тряпочкой или фильтрованной бумагой. Вытирая поверхность измерительной призмы будьте внимательны, можно повредить полировку.

3. Измерьте показатели преломления растворов поваренной соли, концентрация которых известна. Результаты измерений занесите в таблицу 2 отчета. Определите истинные значения показателей преломления исследуемых растворов, эти данные также внесите в таблицу 2.

4. Используя данные таблицы 2, постройте график зависимости показателя преломления n от концентрации C .

5. Определите показатель преломления раствора поваренной соли с неизвестной концентрацией. Используя график определить неизвестную концентрацию. Полученный результат внесите в таблицу 2. Узнайте у лаборанта неизвестную концентрацию, сделайте выводы.

Контрольные вопросы.

1. Почему при переходе от законов физической оптики к законам геометрической оптики существенно $\lambda \rightarrow 0$?
2. Сформулируйте законы отражения и преломления света.
3. Что называется абсолютным и относительным показателем преломления?
4. От чего зависит абсолютный показатель преломления?
5. Зависит ли показатель преломления от угла падения? Угла преломления? Угла отражения? Скорости распространения света в среде?
6. Что такое полное внутреннее отражение? Условие полного внутреннего отражения.
7. В чем заключается физический смысл показателя преломления?

ТЕМА 9. ИЗУЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

Цель работы: расширить представления о внешнем фотоэффекте, экспериментально определить постоянную Планка.

Оборудование и материалы: лабораторная установка «Изучение фотоэффекта и определение постоянной Планка», светофильтры.

Теоретическая часть

Явление вырывания электронов из вещества под действием электромагнитного излучения получило название фотоэлектрического эффекта или **фотоэффекта**.

Различают внешний и внутренний фотоэффект.

При **внешнем фотоэффекте** электроны освобождаются светом из поверхностного слоя вещества и переходят в другую среду.

При **внутреннем фотоэффекте** оптически возбуждаемые электроны остаются внутри освещаемого тела, не нарушая электрическую нейтральность последнего. При этом изменяется электропроводность (фотопроводимость), возникает электродвижущая сила, изменяется диэлектрическая проницаемость (фотодиэлектрический эффект).

Явление фотоэффекта было открыто в 1887 году Генрихом Герцем. Он обнаружил, что проскакивание искры между шариками разрядника значительно облегчается, если отрицательно заряженный шарик осветить ультрафиолетовыми лучами. При освещении такими же лучами положительно заряженного тела потери заряда не наблюдается. Более того, если тело не было заряжено, то при освещении оно заряжается положительно до потенциала в несколько вольт. Однако, занятый исследованием электромагнитных волн, Герц не обратил внимание на это явление серьезного внимания.

Первые систематические исследования явления фотоэффекта принадлежат Столетову, проведенные в 1888-1890 гг. Схема установки, с помощью которой Столетов проводил исследования представлена на рисунке 1.

Конденсатор, образованный проволоочной сеткой и сплошной пластиной, был включен последовательно с гальванометром G в цепь батареи. Свет, проходя через сетку, падал на сплошную пластинку. В результате в цепи возникал ток, регистрировавшийся гальванометром. В результате экспериментальных исследований Столетов установил следующие **закономерности фотоэффекта**:

- 1) наибольшее действие оказывают ультрафиолетовые лучи;
- 2) сила тока возрастает с увеличением освещенности пластины;
- 3) испускаемые под действием света заряды имеют отрицательный знак.

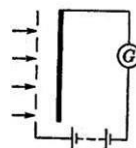
В 1898 году Ленард и Томсон, измерив удельный заряд, испускаемых под действием света частиц, установили, что эти частицы являются электронами. В 1905 г. теоретически фотоэффект объяснил А. Эйнштейн.

Впоследствии установка для исследования фотоэффекта, предложенная Столетовым, была усовершенствована и ее принципиальная схема представлена на рис.2.

Вольтамперная характеристика фотоэлемента

Построим вольтамперную характеристику фотоэлемента. Фотоэлемент представляет собой небольшой баллон, в котором создан вакуум и в центре которого находится положительный электрод (анод) (рис. 2). На часть внутренней поверхности баллона нанесен тонкий слой металла, представляющий отрицательный электрод (катод).

Допустим, что фотоэлемент включен в цепь, изображенную на рис. 2. Передвигая движок потенциометра и снимая показания приборов, можно построить вольтамперную характеристику фотоэлемента. При $U = 0$ через элемент проходит небольшой ток (рис. 3). Под действием света из катода вырываются электроны, и он заряжается положительно. Вырванные электроны вблизи катода создают отрицательно заряженное облако, из которого большая часть электронов попадает обратно на катод (катод при $U = 0$ притягивает электроны), а часть электронов из облака попадает на анод. Они и создают небольшой ток. Для прекращения фототока необходимо приложить обратное по знаку напряжение U_z , которое называют задерживающим напряжением.



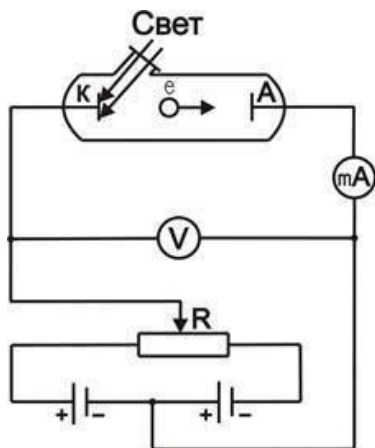


Рис. 2

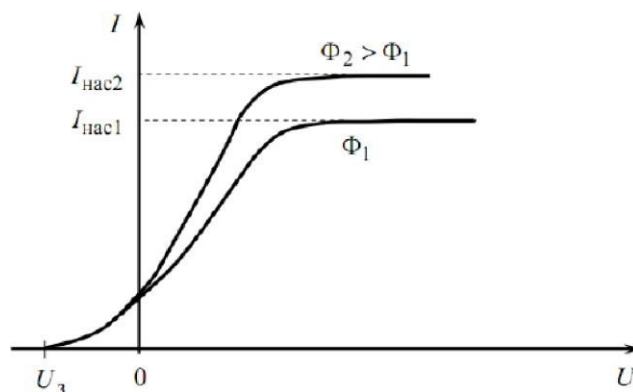


Рис. 3

Если увеличивать напряжение, то по мере роста все большее число электронов за секунду попадает на анод. Облако из электронов вблизи катода редет, а ток через фотоэлемент растет. При достаточно сильном поле облако из электронов вблизи катода полностью исчезнет. Все электроны, вышедшие из катода, будут попадать на анод – наступит насыщение: дальнейшее усиление поля в баллоне фотоэлемента не приведет к увеличению тока. Ток насыщения $I_{\text{нас}}$ определяется тем количеством электронов, которые вырываются в секунду из металла.

Фототок насыщения зависит от падающего на фотоэлемент светового потока Φ . Он будет тем больше, чем больше число фотонов в секунду падает на катод. Очевидно, что зависимость $I_{\text{нас}}(\Phi)$ должна быть линейной. По этой причине вакуумные фотоэлементы могут служить точными фотометрами, позволяющими измерять световые потоки. Следует отметить, что при достаточно больших световых потоках ток насыщения перестает увеличиваться пропорционально световому потоку – наступает насыщение фотоэлемента по световому потоку.

Если световой поток, падающий на фотоэлемент, создается точечным источником, то его величина обратно пропорциональна квадрату расстояния R от источника до фотоэлемента:

$$\Phi \sim \frac{1}{R^2} \quad \Phi \sim \frac{1}{R^2}$$

При изучении вольт-амперных характеристик разнообразных материалов при различных частотах падающего на катод излучения и различных энергетических освещенностях катода и обобщения полученных данных были установлены следующие три закона внешнего фотоэффекта.

Законы внешнего фотоэффекта.

I. Закон Столетова: при фиксированной частоте падающего света число фотоэлектронов, вырываемых из катода в единицу времени, пропорционально интенсивности света (сила фототока насыщения пропорциональна энергетической освещенности катода).

II. Максимальная начальная скорость (максимальная начальная кинетическая энергия) фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а определяется только его частотой ν , а именно линейно возрастает с увеличением частоты.

III. Для каждого вещества существует «красная граница» фотоэффекта, т. е. минимальная частота света (зависящая от химической природы вещества и состояния его поверхности), при которой свет любой интенсивности фотоэффекта не вызывает.

Качественное объяснение фотоэффекта с волновой точки зрения на первый взгляд не должно было бы представлять трудностей. Действительно, под действием поля световой волны в металле возникают вынужденные колебания электронов, амплитуда которых (например, при резонансе) может быть достаточной для того, чтобы электроны покинули металл; тогда и наблюдается фотоэффект. Кинетическая энергия, с которой электрон вырывается из металла, должна была бы зависеть от интенсивности падающего света, так как с увеличением последней электрону передавалась бы большая энергия. Однако этот вывод противоречит II закону фотоэффекта. Так как, по волновой теории, энергия, передаваемая электронам, пропорциональна интенсивности света, то свет любой частоты, но достаточно большой интенсивности должен был бы вырывать электроны из металла; иными словами, «красной границы» фотоэффекта не должно быть, что противоречит III закону фотоэффекта.

А. Эйнштейн в 1905 г. показал, что явление фотоэффекта и его закономерности могут быть объяснены на основе предложенной им *квантовой теории фотоэффекта*. Согласно Эйнштейну, свет частотой ν не только испускается и поглощается, но и распространяется в пространстве отдельными порциями или квантами, энергия которых $\varepsilon = h\nu$, h – постоянная Планка ($h=6.63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с).

Таким образом, распространение света нужно рассматривать не как непрерывный волновой процесс, а как поток локализованных в пространстве дискретных световых квантов, движущихся со скоростью c распространения света в вакууме. Эти кванты электромагнитного излучения получили название *фотонов*.

В соответствии с гипотезой предложенной Эйнштейном, энергия, полученная электроном, доставляется ему в виде кванта $h\nu$, который усваивается им целиком. Часть этой энергии,

равная работе выхода $A_{\text{вых}}$, затрачивается на то, чтобы электрон мог покинуть тело. Остаток энергии переходит в кинетическую энергию вылетевшего из металла фотоэлектрона.

Фотоны, падая на поверхность металла, проникают на очень малую глубину в металл и поглощаются отдельными его электронами проводимости. При этом их энергия практически моментально возрастает до значения, достаточного, чтобы преодолеть потенциальный барьер вблизи поверхности металла, и они вылетают наружу.

Закон сохранения энергии позволяет написать простое соотношение, связывающее скорость фотоэлектронов с частотой поглощаемого света.

Энергия фотона после поглощения его, с одной стороны, расходуется на преодоление потенциального барьера (эта часть энергии называется работой выхода электрона из металла), а с другой стороны, частично сохраняется у электрона вне металла в виде кинетической энергии.

Таким образом, баланс энергий выглядит следующим образом:

$$h\nu = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2} + A_{\text{вых}} \quad h\nu = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2} + A_{\text{вых}} \quad (1)$$

где $A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона, m и v_{max} – его масса и скорость соответственно, ν – частота излучения.

Соотношение (1) называется уравнением Эйнштейна для фотоэффекта. Оно в частности показывает, что энергия фотоэлектронов, действительно, никак не зависит от интенсивности света, а линейно зависит от частоты света. При достаточно низкой частоте света фотоэффект не наблюдается: энергии фотона не хватает на преодоление потенциального барьера. Критическая частота, при которой прекращается фотоэффект, называется красной границей фотоэффекта. У различных металлов красная граница фотоэффекта различна. Она зависит лишь от работы выхода электрона, т. е. от химической природы вещества и состояния его поверхности:

$$h\nu_{\text{кр}} = A_{\text{вых}} \quad \nu_{\text{кр}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h} \quad (2)$$

Значение работы выхода для некоторых металлов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Материал	калий	литий	платина	рубидий	серебро	цезий	цинк
$A_{\text{вых}}$, эВ	2.2	2.3	6.3	2.1	4.7	2.0	4.0

По Эйнштейну, каждый квант поглощается только одним электроном. Поэтому число вырванных фотоэлектронов должно быть пропорционально интенсивности света (I закон фотоэффекта).

Уравнение Эйнштейна позволяет объяснить II и III законы фотоэффекта. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона линейно возрастает с увеличением частоты падающего излучения и не зависит от его интенсивности (числа фотонов), так как ни $A_{\text{вых}}$, ни h от интенсивности света не зависят (II закон фотоэффекта). Так как с уменьшением частоты света кинетическая энергия фотоэлектронов уменьшается (для данного металла $A_{\text{вых}} = \text{const}$), то при некоторой, достаточно малой частоте $\nu = \nu_{\text{кр}}$, кинетическая энергия фотоэлектронов станет равной нулю и фотоэффект прекратится (III закон фотоэффекта).

Фотонная теория излучения. Развивая гипотезу М.Планка о квантах, А.Эйнштейн в 1905 г. предположил, что квантовые свойства излучения (света) проявляются не только при испускании и поглощении его веществом, но и при распространении излучения в пространстве. Возрождая корпускулярную теорию света, предложенную Ньютоном еще в начале 18 столетия, Эйнштейн выдвинул гипотезу, согласно которой излучение можно представить состоящим из большого числа частиц, каждая из которых, обладая квантом энергии, движется в пространстве со скоростью света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Рассмотрим свойства таких частиц.

Частица излучения, которую называли фотоном, представляет собой ультрарелятивистскую незаряженную частицу. Свойства фотона могут быть описаны только с использованием основных соотношений специальной теории относительности. В частности, из этой теории следует, что фотон является уникальной элементарной частицей, имеющей нулевую массу покоя. Это означает, что фотон всегда движется со скоростью c и не может находиться в состоянии покоя. Если при неупругом столкновении с другой элементарной частицей фотон «останавливается», то он исчезает, передавая всю свою энергию этой частице.

Энергия фотона

$$\varepsilon_{\phi} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \hbar\omega \quad (3)$$

где λ – длина волны, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – постоянная Планка с чертой ($h = 1.05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с)

$\omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота.

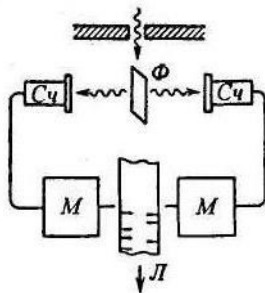
Как и любая материальная частица, фотон имеет массу m_{ϕ} , которая связана с его энергией релятивистской формулой: $m_{\phi}c^2 = \varepsilon_{\phi}$. С учетом (3) находим:

$$m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{\hbar\omega}{c^2}$$

Движущийся со скоростью c фотон обладает импульсом, величина которого связана с его энергией релятивистским соотношением $p_{\phi}c = \varepsilon_{\phi}$. Учитывая, что масса покоя фотона равна нулю. Отсюда

$$p_{\phi} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Непосредственное подтверждение гипотезы Эйнштейна дал опыт Боте.



бы

одна против другой. В действительности же наблюдалось совершенно беспорядочное расположение отметок. Это можно объяснить лишь тем, что в отдельных актах испускания возникают световые частицы, летящие то в одном, то в другом направлении.

Таким образом, экспериментально было доказано существование особых световых частиц – фотонов.

Определение постоянной Планка

С помощью уравнения Эйнштейна (1) для фотоэффекта, можно экспериментально получить значение постоянной Планка. Для этого необходимо измерить величину запирающего напряжения при различных частотах падающего на фотоэлемент света. В этом случае работа внешнего поля над электронами равна кинетической энергии электрона при вылете из катода:

$$eU_3 = \frac{mv_{\max}^2}{2} \quad (4)$$

где $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона.

С учётом формулы (4) уравнение (1) можно переписать в виде:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + eU_3 \quad h\nu = A_{\text{вых}} + eU_3, \quad (5)$$

или окончательно:

$$U_3 = \frac{h}{e} \nu - \frac{A_{\text{вых}}}{e} U_3 = \frac{h}{e} \nu - \frac{A_{\text{вых}}}{e}. \quad (6)$$

Из последнего уравнения видно, что если строить по точкам график экспериментальной зависимости $U_3(\nu)$, то должна получиться прямая. Тангенс угла наклона этой прямой численно равен $\frac{hh}{ee}$

Описание установки и проведение эксперимента.

Лабораторная установка (рис. 4) состоит из металлического корпуса 1, на котором установлен объектив 2 фотоэлемента и осветитель 3. Лампа осветителя установлена на подвижной каретке, которая может перемещаться вдоль установки. За счёт этого можно изменять расстояние от источника света до линзы фотоприёмника. Это расстояние измеряется по линейке 4. Для фиксации осветителя в определённой позиции служит зажимный винт 6. Имеется комплект из 5 светофильтров, которые устанавливаются на фотоприёмник. Перед фотоприёмником установлена стойка 5 для крепления вращающихся поляроидов, которые служат для ослабления светового потока, падающего на фотоэлемент.

Внутри металлического корпуса 1 расположен вакуумный фотоэлемент, блоки питания установки, а также встроенный датчик тока и напряжения, который служит для измерения фототока и катод-анодного напряжения фотоэлемента.

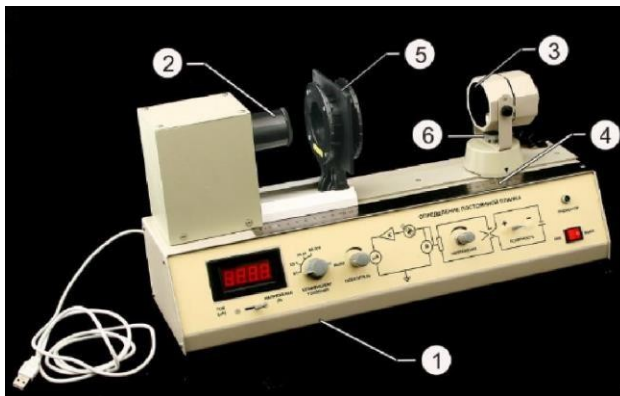


Рис. 4

1. Включите питание установки, дайте ей прогреться в течение 5 минут, передвиньте источник света на отметку 25 см.
2. Установите максимальную интенсивность света (не меняйте в течение эксперимента). Полярность напряжения переключите на «-». Режим отображения цифрового дисплея переключите в положение «Ток». Переключатель «Коэффициент усиления» установите в положение «x0.001».
3. Установите красный светофильтр, значение длины волны (указана на оправе) занесите в таблицу. Изменяя напряжение, добейтесь падения фототока до нуля. ВНИМАНИЕ! Запирающее напряжение – минимальное значение напряжения, при котором фотоэффект еще возможен. Если добились нулевого значения тока, то дальнейшее увеличение напряжения приведет к искажению результатов!
4. Зафиксируйте значение запирающего напряжения U_3 , данные занесите в отчет.
5. Повторите измерения для остальных светофильтров.
6. Рассчитайте частоту падающего света $\nu = \frac{c}{\lambda} \nu = \frac{c}{\lambda}$.
7. Постройте зависимость $U_3(\nu)$.
8. По углу наклона прямой, описываемой уравнением (6), определите значение постоянной Планка.

Контрольные вопросы.

1. Что такое фотоны?
2. Напишите формулу энергии фотона.
3. Дайте формулировку явления внешнего фотоэффекта.
4. Сформулируйте законы фотоэффекта.
5. Что такое работа выхода? Чья это характеристика?
6. Напишите формулу Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
7. Дайте определение красной границы фотоэффекта.
8. Что такое запирающее напряжение для данного фотокатода.
9. Проанализируйте вольт-амперную характеристику фотоэлемента.

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

Методические указания

по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине

«Физика»

для студентов направления подготовки

09.03.02 «Информационные системы и технологии»

направленность (профиль)

**«Прикладное программирование в интеллектуальных информационных
системах»**

Ставрополь, 2026

1. Общие положения

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов (СРС) в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения.

К основным видам самостоятельной работы студентов относятся:

- формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);
- написание докладов;
- подготовка к семинарам, практическим и лабораторным работам, их оформление;
- составление аннотированного списка статей из соответствующих журналов по отраслям знаний (педагогических, психологических, методических и др.);
- выполнение учебно-исследовательских работ, проектная деятельность;
- подготовка практических разработок и рекомендаций по решению проблемной ситуации;
- выполнение домашних заданий в виде решения отдельных задач, проведения типовых расчетов, расчетно-компьютерных и индивидуальных работ по отдельным разделам содержания дисциплин и т.д.;
- компьютерный текущий самоконтроль и контроль успеваемости на базе электронных обучающих и аттестующих тестов;
- выполнение курсовых работ (проектов) в рамках дисциплин;
- выполнение выпускной квалификационной работы и др.

Методика организации самостоятельной работы студентов зависит от структуры, характера и особенностей изучаемой дисциплины, объема часов на ее изучение, вида заданий для самостоятельной работы студентов, индивидуальных качеств студентов и условий учебной деятельности.

Процесс организации самостоятельной работы студентов включает в себя следующие этапы:

- подготовительный (определение целей, составление программы, подготовка методического обеспечения, подготовка оборудования);
- основной (реализация программы, использование приемов поиска информации, усвоения, переработки, применения, передачи знаний, фиксирование результатов, самоорганизация процесса работы);
- заключительный (оценка значимости и анализ результатов, их систематизация, оценка эффективности программы и приемов работы, выводы о направлениях оптимизации труда).

Самостоятельная работа по дисциплине «Физика» направлена на формирование следующих **компетенций**:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора
ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и	ИД-1_{ОПК-1} Применяет естественнонаучные знания в профессиональной деятельности

общее инженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретические и экспериментальные исследования в профессиональной деятельности	ИД-2_{опк-1} Применяет общие инженерные знания в профессиональной деятельности
	ИД-3_{опк-1} Применяет методы математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности

2. Цель и задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРС совпадает с целью обучения студента – формирование набора общенаучных, профессиональных и специальных компетенций будущего бакалавра по соответствующему направлению подготовки

При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности. Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Задачами СРС являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

3. Технологическая карта самостоятельной работы студента

Коды реализуемых компетенций	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе (акад.)		
			СРС	Контактная работа с преподавателям	Всего
1 семестр					
	Самостоятельное изучение литературы и источников	Собеседование	16	2	18
	Подготовка лабораторным занятиям	Защита ЛР	16	2	18
	Написание реферата/доклада	Защита доклада	16	2	18
Итого за 1 семестр			48	6	54
Итого			/ -		54

4. Порядок выполнения самостоятельной работы студентом

4.1. Методические рекомендации по работе с учебной литературой

При работе с книгой необходимо подобрать литературу, научиться правильно ее читать, вести записи. Для подбора литературы в библиотеке используются алфавитный и систематический каталоги.

Важно помнить, что рациональные навыки работы с книгой - это всегда большая экономия времени и сил.

Правильный подбор учебников рекомендуется преподавателем, читающим лекционный курс. Необходимая литература может быть также указана в методических разработках по данному курсу.

Изучая материал по учебнику, следует переходить к следующему вопросу только после правильного уяснения предыдущего, описывая на бумаге все выкладки и вычисления (в том числе те, которые в учебнике опущены или на лекции даны для самостоятельного вывода).

При изучении любой дисциплины большую и важную роль играет самостоятельная индивидуальная работа.

Особое внимание следует обратить на определение основных понятий курса. Студент должен подробно разбирать примеры, которые поясняют такие определения, и уметь строить аналогичные примеры самостоятельно. Нужно добиваться точного представления о том, что изучаешь. Полезно составлять опорные конспекты. При изучении материала по учебнику полезно в тетради (на специально отведенных полях) дополнять конспект лекций. Там же следует отмечать вопросы, выделенные студентом для консультации с преподавателем.

Выводы, полученные в результате изучения, рекомендуется в конспекте выделять, чтобы они при перечитывании записей лучше запоминались.

Опыт показывает, что многим студентам помогает составление листа опорных сигналов, содержащего важнейшие и наиболее часто употребляемые формулы и понятия. Такой лист

помогает запомнить формулы, основные положения лекции, а также может служить постоянным справочником для студента.

Чтение научного текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации. От того насколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия.

Выделяют **четыре основные установки в чтении научного текста:**

информационно-поисковый (задача – найти, выделить искомую информацию)

усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить как сами сведения излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений)

аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему)

творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения;

Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала;

Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала;

Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора;

Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного.

Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Методические рекомендации по составлению конспекта:

1. Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта;

2. Выделите главное, составьте план;

3. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора;

4. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно.

5. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли.

В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы.

4.2. Методические рекомендации по подготовке к практическим и лабораторным занятиям

Для того чтобы практические и лабораторные занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнение и решение задач проводятся по вычитанному на лекциях

материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться на практических занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения проблемных ситуаций, задач. При этих условиях студент не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном решении задач нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если студент видит несколько путей решения проблемы (задачи), то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы (задачи). Решение проблемных задач или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что решение каждой учебной задачи должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие, и по возможности с выводом. Полученный ответ следует проверить способами, вытекающими из существа данной задачи. Полезно также (если возможно) решать несколькими способами и сравнить полученные результаты. Решение задач данного типа нужно продолжать до приобретения твердых навыков в их решении.

4.3. Методические рекомендации по самопроверке знаний

После изучения определенной темы по записям в конспекте и учебнику, а также решения достаточного количества соответствующих задач на практических занятиях и самостоятельно студенту рекомендуется, провести самопроверку усвоенных знаний, ответив на контрольные вопросы по изученной теме.

В случае необходимости нужно еще раз внимательно разобраться в материале.

Иногда недостаточность усвоения того или иного вопроса выясняется только при изучении дальнейшего материала. В этом случае надо вернуться назад и повторить плохо усвоенный материал. Важный критерий усвоения теоретического материала - умение решать задачи или пройти тестирование по пройденному материалу. Однако следует помнить, что правильное решение задачи может получиться в результате применения механически заученных формул без понимания сущности теоретических положений.

4.4. Методические рекомендации по написанию научных текстов (докладов, докладов, эссе, научных статей и т.д.)

Перед тем, как приступить к написанию научного текста, важно разобраться, какова истинная цель вашего научного текста - это поможет вам разумно распределить свои силы и время.

Во-первых, сначала нужно определиться с идеей научного текста, а для этого необходимо научиться либо относиться к разным явлениям и фактам несколько критически (своя идея – как иная точка зрения), либо научиться увлекаться какими-то известными идеями, которые нуждаются в доработке (идея – как оптимистическая позиция и направленность на дальнейшее совершенствование уже известного). Во-вторых, научиться организовывать свое время, ведь, как известно, свободное (от всяких глупостей) время – важнейшее условие настоящего творчества, для него наконец-то появляется время. Иногда именно на организацию такого времени уходит немалая часть сил и талантов.

Писать следует ясно и понятно, стараясь основные положения формулировать четко и недвусмысленно (чтобы и самому понятно было), а также стремясь структурировать свой текст.

Каждый раз надо представлять, что ваш текст будет кто-то читать и ему захочется сориентироваться в нем, быстро находить ответы на интересующие вопросы (заодно представьте себя на месте такого человека). Понятно, что работа, написанная «сплошным текстом» (без заголовков, без выделения крупным шрифтом наиболее важных мест и т. п.), у культурного читателя должна вызывать брезгливость и даже жалость к автору (исключения составляют некоторые древние тексты, когда и жанр был иной и к текстам относились иначе, да и самих текстов было гораздо меньше – не то, что в эпоху «информационного взрыва» и соответствующего «информационного мусора»).

Объем текста и различные оформительские требования во многом зависят от принятых в конкретном учебном заведении порядков.

Доклад – это самостоятельное исследование студентом определенной проблемы, комплекса взаимосвязанных вопросов.

Доклад не должен состояться из фрагментов статей, монографий, пособий. Кроме простого изложения фактов и цитат, в доклад должно проявляться авторское видение проблемы и ее решения.

Рассмотрим основные этапы подготовки
а студентом.

Выполнение доклада начинается с выбора темы.

Затем студент приходит на первую консультацию к руководителю, которая предусматривает:

- обсуждение цели и задач работы, основных моментов избранной темы;
- консультирование по вопросам подбора литературы;
- составление предварительного плана.

Следующим этапом является работа с литературой. Необходимая литература подбирается студентом самостоятельно.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы – изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться к самостоятельному (авторскому) изложению содержания доклада. Конспектируя первоисточники, необходимо отразить основную идею автора и его позицию по исследуемому вопросу, выявить проблемы и наметить задачи для дальнейшего изучения данных проблем.

Систематизация и анализ изученной литературы по проблеме исследования позволяют студенту написать работу.

Рабочий вариант текста доклада предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление. После доработки доклад сдается на кафедру для его оценивания руководителем.

Требования к написанию доклада

Написание 1 доклада является обязательным условием выполнения плана СРС по любой дисциплине профессионального цикла.

Тема доклада может быть выбрана студентом из предложенных в рабочей программе или фонде оценочных средств дисциплины, либо определена самостоятельно, исходя из интересов студента (в рамках изучаемой дисциплины). Выбранную тему необходимо согласовать с преподавателем.

Доклад должен быть написан научным языком.

Объем доклада должен составлять 20-25 стр.

Структура доклада:

- Введение (не более 3-4 страниц). Во введении необходимо обосновать выбор темы, ее актуальность, очертить область исследования, объект исследования, основные цели и задачи исследования.

- Основная часть состоит из 2-3 разделов. В них раскрывается суть исследуемой проблемы, проводится обзор мировой литературы и источников Интернет по предмету исследования, в котором дается характеристика степени разработанности проблемы и авторская аналитическая оценка основных теоретических подходов к ее решению. Изложение материала не должно ограничиваться лишь описательным подходом к раскрытию выбранной темы. Оно также должно содержать собственное видение рассматриваемой проблемы и изложение собственной точки зрения на возможные пути ее решения.

- Заключение (1-2 страницы). В заключении кратко излагаются достигнутые при изучении проблемы цели, перспективы развития исследуемого вопроса

- Список использованной литературы (не меньше 10 источников), в алфавитном порядке, оформленный в соответствии с принятыми правилами. В список использованной литературы рекомендуется включать работы отечественных и зарубежных авторов, в том числе статьи, опубликованные в научных журналах в течение последних 3-х лет и ссылки на ресурсы сети Интернет.

- Приложение (при необходимости).

Требования к оформлению:

- текст с одной стороны листа;
- шрифт Times New Roman;
- кегль шрифта 14;
- межстрочное расстояние 1,5;
- поля: сверху 2,5 см, снизу – 2,5 см, слева - 3 см, справа 1,5 см;
- доклад должен быть представлен в сброшюрованном виде.

Порядок защиты доклада:

Защита доклада проводится на практических занятиях, после окончания работы студента над ним и исправления всех недочетов, выявленных преподавателем в ходе консультаций. На защиту доклада отводится 5-7 минут времени, в ходе которого студент должен показать свободное владение материалом по заявленной теме. При защите доклада приветствуется использование мультимедиа-презентации.

Оценка доклада

Доклад оценивается по следующим критериям:

- соблюдение требований к его оформлению;
- необходимость и достаточность для раскрытия темы приведенной в тексте доклада информации;
- умение студента свободно излагать основные идеи, отраженные в докладе;
- способность студента понять суть задаваемых преподавателем и сокурсниками вопросов и сформулировать точные ответы на них.

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется студенту, если в докладе студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует для написания доклада современные научные материалы; анализирует полученную информацию; проявляет самостоятельность при написании доклада.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если качество выполнения доклада достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопросы по теме доклада.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если материал доклада излагается частично, но пробелы не носят существенного характера, студент допускает неточности и

ошибки при защите доклада, дает недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении материала.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не подготовил доклад или допустил существенные ошибки. Студент неуверенно излагает материал доклада, не отвечает на вопросы преподавателя.

4.5. Методические рекомендации по выполнению исследовательских проектов

Исследовательская проектная работа – это групповая работа, для выполнения которой необходим выбор и приложение научной методики к поставленной задаче, получение собственного теоретического или экспериментального материала, на основании которого необходимо провести анализ и сделать выводы об исследуемом явлении. Выполнение проекта – это всегда коллективная, творческая практическая работа, предназначенная для получения определенного продукта или научно-технического результата. Такая работа подразумевает четкое, однозначное формирование поставленной задачи, определение сроков выполнения намеченного, определение требований к разрабатываемому объекту.

Выполнение 1 группового проекта является обязательным условием выполнения самостоятельной работы по любой дисциплине профессионального цикла. Тема проектного задания может быть выбрана студентом из предложенных в рабочей программе или фонде оценочных средств дисциплины, либо определена самостоятельно, исходя из интересов студента (в рамках изучаемой дисциплины). Выбранную тему необходимо согласовать с преподавателем.

Требования по выполнению и оформлению проекта

При выполнении проекта приветствуется работа в группе (2-3 человека). Проект – это исследовательская работа, в ходе которой студенты должны продемонстрировать владение навыками научного исследования, умения проводить анализ, обобщать информацию, делать выводы, предлагать свои решения проблемы, рассматриваемой в проекте.

При подготовке материалов проекта студенты должны продемонстрировать владение современными методами компьютерной обработки данных.

Критерии оценки работы участника проекта.

Для каждого из участников проекта оцениваются:

- профессиональные теоретические знания в соответствующей области;
- умение работать со справочной и научной литературой, осуществлять поиск необходимой информации в Интернет;
- умение работать с техническими средствами;
- умение пользоваться соответствующими выполняемому проекту информационными технологиями;
- умение готовить материалы проекта для презентации: составлять и редактировать тексты, формировать презентацию проекта;
- умение работать в команде;
- умение публично представлять результаты собственной деятельности;
- коммуникабельность, инициативность, творческие способности.

Критерии выставления оценки участникам проекта

Оценка	Профессиональные компетенции	Компетенции, связанные с использованием соответствующих выполняемому проекту технических средств и информационных технологий	Иные универсальные компетенции (коммуникабельность, инициативность, умение работать в «команде», управленческие навыки и т.д.)	Отчетность
«Отлично»	Работа выполнена на высоком профессиональном уровне. Представленный материал в основном фактически верен, допускаются негрубые фактические неточности. Студент свободно отвечает на вопросы, связанные с проектом.	Технические средства и информационные технологии освоены и использованы для реализации проекта полностью	Студент проявил инициативу, творческий подход, способность к выполнению сложных заданий, навыки работы в коллективе, организационные способности.	Проект представлен полностью и в срок.
«Хорошо»	Работа выполнена на достаточно высоком профессиональном уровне. Допущено до 4–5 фактических ошибок. Студент отвечает на вопросы, связанные с проектом, но недостаточно полно.	Обнаруживаются некоторые ошибки в использовании соответствующих технических средств и информационных технологий	Студент достаточно полно, но без инициативы и творческих находок выполнил возложенные на него задачи.	Проект представлен достаточно полно и в срок, но с некоторыми недоработками.
«Удовлетворительно»	Уровень недостаточно высок. Допущено до 8 фактических ошибок. Студент может ответить лишь на некоторые из заданных вопросов, связанных с проектом.	Обнаруживает недостаточное владение навыками работы с техническими средствами и соответствующим и информационным и технологиями	Студент выполнил большую часть возложенной на него работы.	Проект сдан со значительным опозданием (более недели) и не полностью
«Неудовлетворительно»	Работа не выполнена или выполнена на низком уровне. Допущено более 8 фактических ошибок. Ответы на	Навыков работы с техническими средствами нет, информационные технологии не освоены	Студент практически не работал, не выполнил свои задачи или выполнил лишь	Проект не сдан.

Оценка	Профессиональные компетенции	Компетенции, связанные с использованием соответствующих выполняемому проекту технических средств и информационных технологий	Иные универсальные компетенции (коммуникабельность, инициативность, умение работать в «команде», управленческие навыки и т.д.)	Отчетность
	связанные с проектом вопросы обнаруживают непонимание предмета и отсутствие ориентации в материале проекта.		отдельные не существенные поручения в групповом проекте.	

Студенты должны: защитить проект в режиме презентации, предъявить файлы выполненного проекта, уметь рассказать о технологиях, использованных ими при выполнении проекта, дать оценку работы каждого члена группы (*если проект групповой*).

4.6. Методические рекомендации по подготовке к экзаменам и зачетам

Изучение многих общепрофессиональных и специальных дисциплин завершается экзаменом. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания. На экзамене студент демонстрирует то, что он приобрел в процессе обучения по конкретной учебной дисциплине.

Экзаменационная сессия - это серия экзаменов, установленных учебным планом. Между экзаменами интервал 3-4 дня. Не следует думать, что 3-4 дня достаточно для успешной подготовки к экзаменам.

В эти 3-4 дня нужно систематизировать уже имеющиеся знания. На консультации перед экзаменом студентов познакомят с основными требованиями, ответят на возникшие у них вопросы. Поэтому посещение консультаций обязательно.

Требования к организации подготовки к экзаменам те же, что и при занятиях в течение семестра, но соблюдаться они должны более строго. Во-первых, очень важно соблюдение режима дня; сон не менее 8 часов в сутки, занятия заканчиваются не позднее, чем за 2-3 часа до сна. Оптимальное время занятий - утренние и дневные часы. В перерывах между занятиями рекомендуются прогулки на свежем воздухе, неустойчивые занятия спортом. Во-вторых, наличие хороших собственных конспектов лекций. Даже в том случае, если была пропущена какая-либо лекция, необходимо во время ее восстановить (переписать ее на кафедре), обдумать, снять возникшие вопросы для того, чтобы запоминание материала было осознанным. В-третьих, при подготовке к экзаменам у студента должен быть хороший учебник или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра. Здесь можно эффективно использовать листы опорных сигналов.

Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения, используя при этом листы опорных сигналов.

Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний.

Контроль самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы проводится преподавателем в аудитории.

Предусмотрены следующие виды контроля: собеседование, оценка доклада, оценка презентации, оценка участия в круглом столе, оценка выполнения проекта.

Подробные критерии оценивания компетенций приведены в Фонде оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации.

Список литературы для выполнения СРС

Перечень основной литературы:

1. Башмакова,, Е. И. Информатика и информационные технологии. Технология работы в MS WORD 2016 : учебное пособие / Е. И. Башмакова. - Информатика и информационные технологии. Технология работы в MS WORD 2016, Весь срок охраны авторского права. - Электрон. дан. (1 файл). - Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2020. - 90 с. - электронный. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-4497-0515-0, экземпляров неограничено
2. Башмакова,, Е. И. Информатика и информационные технологии. Умный Excel 2016: библиотека функций : учебное пособие / Е. И. Башмакова. - Информатика и информационные технологии. Умный Excel 2016: библиотека функций, Весь срок охраны авторского права. - Электрон. дан. (1 файл). - Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2020. - 109 с. - электронный. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-4497-0516-7, экземпляров неограничено
3. Мандра,, А. Г. Информатика и информационные технологии : лабораторный практикум / А. Г. Мандра, А. В. Попов, А. И. Дьяконов. - Информатика и информационные технологии, 2026-09-20. - Электрон. дан. (1 файл). - Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2020. - 64 с. - электронный. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 2227-8397, экземпляров неограничено
4. Цветкова, А. В. Информатика и информационные технологии Электронный ресурс : Учебное пособие для СПО / А. В. Цветкова. - Информатика и информационные технологии, 2020-08-30. - Саратов : Научная книга, 2019. - 190 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-9758-1891-1, экземпляров неограничено

Перечень дополнительной литературы:

1. Современные информационные технологии Электронный ресурс : Сборник трудов по материалам 3-й межвузовской научно-технической конференции с международным участием 29 сентября 2017 г. / В. И. Воловач [и др.] ; ред. В. М. Артюшенко. - Королёв : Научный консультант, МГОТУ, 2017. - 191 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-9500999-7-7, экземпляров неограниченно
2. Современные мультимедийные информационные технологии Электронный ресурс : учебное пособие / С.С. Мытько / Д.А. Репечко / А.П. Алексеев / А.Р. Ванютин / И.А. Королькова. - Современные мультимедийные информационные технологии, 2019-05-25. - Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2017. - 108 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-5-91359-219-

4, экземпляров неограниченно

3. Современные информационные технологии Электронный ресурс : учебное пособие / С.С. Мытько / Д.А. Репечко / И.А. Королькова / А.Р. Ванютин / А.П. Алексеев ; ред. А.П. Алексеев. - Самара : Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2019. - 101 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks., экземпляров неограниченно

4. Адлер, Ю.П. Статистическое управление процессами. «Большие данные» Электронный ресурс : учебное пособие / Е.А. Черных / Ю.П. Адлер. - Статистическое управление процессами. «Большие данные», 2019-09-01. - Москва : Издательский Дом МИСиС, 2016. - 52 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-5-87623-969-3, экземпляров неограниченно

Методическая литература:

1. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физика»
2. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Физика»

Интернет-ресурсы:

1. <http://el.ncfu.ru/> – система управления обучением ФГАОУ ВО СКФУ. Дистанционная поддержка дисциплины «Физика».
2. <http://www.un.org> - Сайт ООН Информационно-коммуникационные технологии.
3. <http://www.intuit.ru> – Интернет-Университет Компьютерных технологий.