

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКА

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Направление подготовки
19.03.01 Биотехнология

Направленность (профиль)
Промышленная биотехнология
Квалификация выпускника: бакалавр

Ставрополь, 2026

Введение

Актуальность учебной дисциплины «Физика» обусловлена необходимостью формирования у будущих бакалавров теоретико-методологических компетенций, практических умений на которых базируется их профессиональная деятельность. В современных условиях важнейшим элементом подготовки бакалавров является формирование у них самостоятельности и культуры научного мышления, способности вести научную и профессиональную деятельность, навыков постановки целей, задач при решении проблемных ситуаций.

Целью лабораторных занятий является формирование профессиональных компетенций бакалавра по направлению подготовки 19.03.01 Биотехнология связанных с приобретением знаний о методах научного познания природы; о современной физической картине мира; свойствах вещества и поля; об основах фундаментальных физических теорий; пространственно-временных закономерностях; динамических и статистических законах природы; элементарных частицах и фундаментальных взаимодействиях; строении и эволюции Вселенной.

Основные задачи дисциплины:

- овладение умениями проводить наблюдения, планировать и выполнять эксперименты, обрабатывать результаты экспериментов, применять теоретические знания при решении задач;
- развитие творческих способностей в процессе решения физических задач, выполнении экспериментальных заданий, подготовки рефератов, докладов;
- воспитание убежденности о необходимости разумного использования достижений науки и технологий для дальнейшего развития общества; отношения к физике как элементу общечеловеческой культуры;
- применение знаний по физике для объяснения явлений природы, принципов работы технических устройств, самостоятельного приобретения знаний, использования современных информационных технологий для поиска, переработки и представления информации по физике;
- использования приобретенных знаний и умений для решения задач, возникающих в профессиональной деятельности.

В результате изучения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции (в соответствии с образовательным стандартом):

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
Способен изучать, анализировать, использовать биологические объекты и процессы, основываясь на законах и закономерностях математических,	ИД-1 ОПК-1. Понимает сущность физических, химических, биохимических, биотехнологических, микробиологических, теплофизических процессов, происходящих при производстве биотехнологической продукции для	Демонстрирует высокий уровень знаний в области фундаментальных законов природы и основных физических математических законов при решении поставленных научно

физических, химических и биологических наук и их взаимосвязях (ОПК-1)	пищевой промышленности	исследовательских задач в профессиональной сфере
	ИД-2 опк-1. Способен изучать, анализировать и использовать конкретные виды биологических объектов в реальных процессах и превращениях; использовать для анализа знания математических, физических, химических, биологических законов, закономерностей и их взаимосвязей	Демонстрирует навык в области решения задач, связанных с меж предметными связями в области физики и математическими методами в области профессиональной деятельности
	ИД-3 опк-1. Может изучать и анализировать основные типы биологических объектов, использовать их в отдельных процессах и превращениях; владеет методиками и методами, основанными на математических, физических, химических, биологических законах и закономерностях как для изучения самих биологических объектов, так и для процессов с их участием	Демонстрирует высокий уровень знаний в области фундаментальных законов природы и основных физических математических законов при решении поставленных научно исследовательских задач в профессиональной сфере

3 СЕМЕСТР

Лабораторная работа 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,

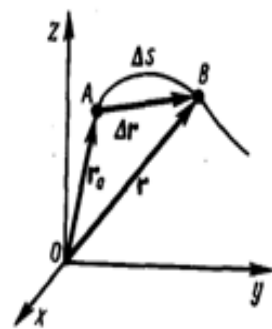


Рис. 1

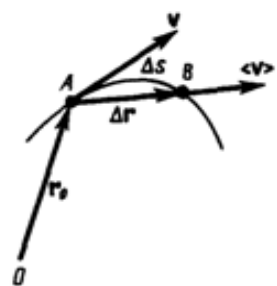


Рис. 2

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 $\vec{a}$ в момент времени t будет предел среднего ускорения:

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

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

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).

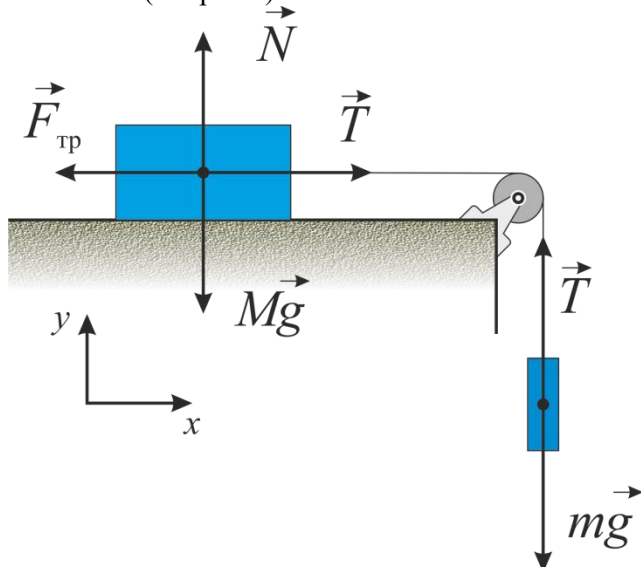


Рис. 3

на ось y имеет вид:

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

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

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:

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

$$S = \frac{at^2}{2} \quad (7)$$

где $S = x - x_0$, 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.

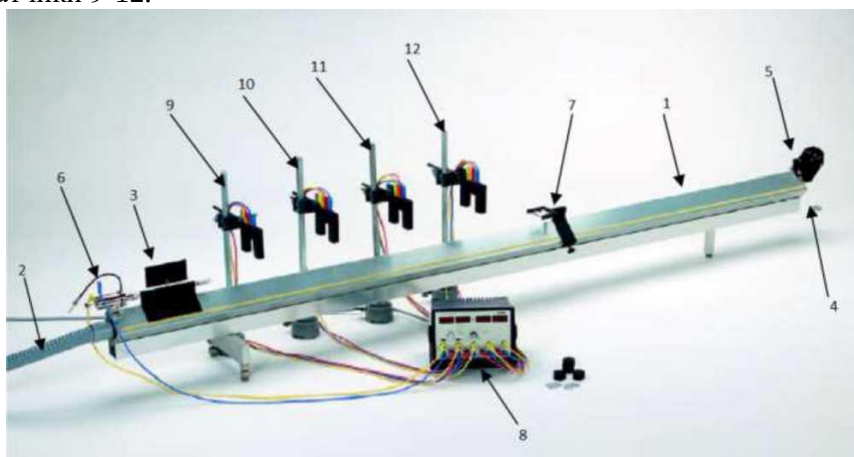


Рис.4. Экспериментальная установка для изучения равноускоренного движения

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 весы горизонтально поверхности, снять защитную крышку, включить их с помощью кнопки on/off.
2. 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 .
3. 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 $x_1, \dots, x_n$.
4. 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.
5. 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».

6. 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.
7. 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.
8. 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 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 отчета.
9. Постройте график зависимости пройденного пути от времени t .
10. Рассчитайте средние скорости на каждом отрезке по формуле $\langle v \rangle_i = \frac{s_i}{\langle t \rangle_i}$.
11. Результаты занести в таблицу отчета.
12. Для равноускоренного движения эти скорости равны соответствующим мгновенным скоростям $v(t)$ на этих участках в моменты времени

$$t = \frac{t_i}{2} \quad (9)$$
13. Построить график зависимости мгновенной скорости v от времени t . Убедиться, что это зависимость линейная.
14. 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 зависеть 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?

Лабораторная работа 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.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (1)$$

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:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t; \quad \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0t + \frac{\vec{a}t^2}{2} \quad (2)$$

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).

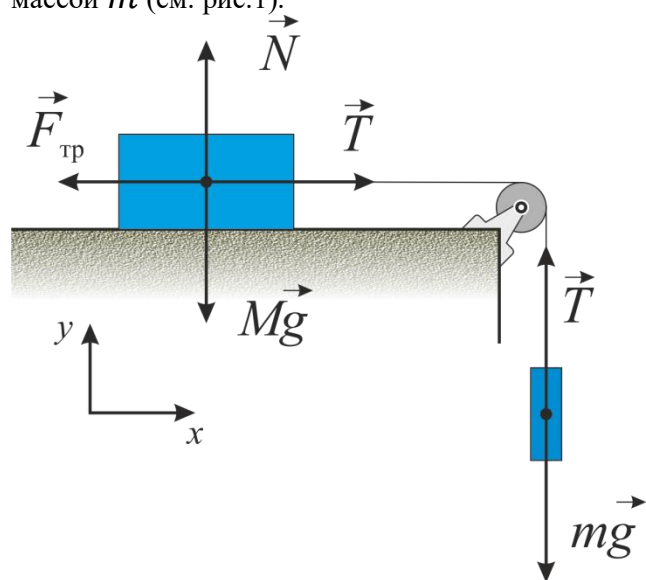


Рис. 1

на ось y имеет вид:

а для ползуна в проекции на ось x

Решая эту систему уравнений, получим

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

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

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

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

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

$$S = \frac{at^2}{2} \quad (7)$$

где $S = x - x_0$, 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.

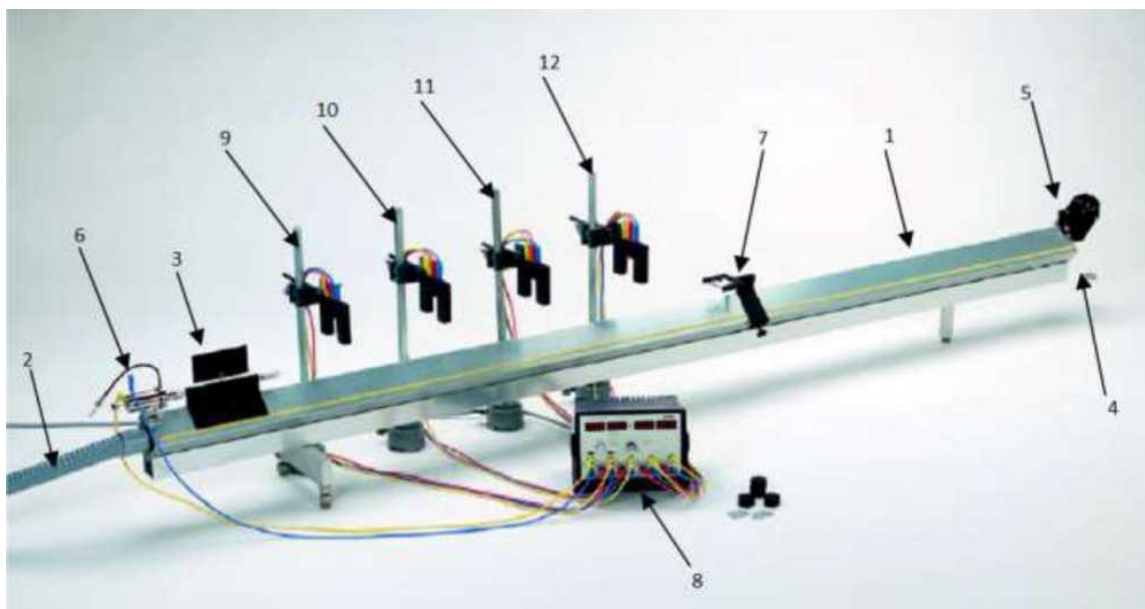


Рис.2. Экспериментальная установка для изучения равноускоренного движения

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 $M + m$.

1. Расположить весы горизонтально поверхности, снять защитную крышку, включить их с помощью кнопки on/off.
2. 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 .
3. 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 $x_1 \dots x_n$.
4. 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 ускорющаяся гиря коснется пола. Расположите переставной упор с вилкой и гнездом на треке таким образом, чтобы ползун легко ударялся о резиновую ленту перед тем, как ускорющаяся гиря коснется пола. Проведите все последующие измерения, не изменяя положения световых барьеров.
5. 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».
6. 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 достает до пола. Убедиться также в том, что световые датчики фиксируют моменты прохождения мимо них переднего края экрана.
7. Включить воздуходувку 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 или 5.
8. 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.

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

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

и определить среднее значение ускорения для каждой массы m .

- 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.

- С помощью гирь установить массу груза $m=10$ г и суммарную массу ползуна и груза $M + m = 210$ г.
- Проделать измерения времен t_1, t_2, t_3, t_4 . Результаты измерений занести в таблицу 2.
- Повторить измерения для масс $M + m$ в диапазоне от 210 г до 330 г с шагом 30 г. Результаты занести в таблицу 2.
- Определить ускорение на каждом участке пути по формуле (10), и определить среднее ускорение для каждой массы $M + m$.
- Построить график зависимости ускорения от обратной массы $\frac{1}{M+m}$. Убедиться, что зависимость является линейной (см.(5)).
- По наклону прямой графика зависимости a от $\frac{1}{M+m}$ 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.

- Какая система отсчета называется инерциальной? неинерциальной?
- Сформулируйте первый закон Ньютона.
- Что собой представляют свойства симметрии пространства и времени?
- Что называется силой? массой? Как они вводятся в физику?
- Сформулируйте второй закон Ньютона.
- Сформулируйте третий закон Ньютона.
- Как ставится основная задача динамики материальной точки?
- Опишите экспериментальную установку и методику проведения эксперимента.
- При каком условии силы натяжения нити по разные стороны блока можно считать одинаковыми?
- При каком условии можно пренебречь моментом инерции блока машины, не допуская большой ошибки в расчете ускорения тел системы?

Лабораторная работа 3

ИЗУЧЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ 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 $\vec{R} = \vec{T} + m\vec{g} = 0$. Для возбуждения колебаний маятник выводят из положения равновесия (рис.1). Теперь $\vec{R} \neq 0$ 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:

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

где $\vec{M}$ – результирующий вращающий момент, $\vec{\varepsilon}$ – угловое ускорение, $I = ml^2$ – момент инерции шарика относительно оси OO' , 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

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

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' . Примем за положительное направление оси направление вектора $\vec{\varphi}$. Тогда

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

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

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

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

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

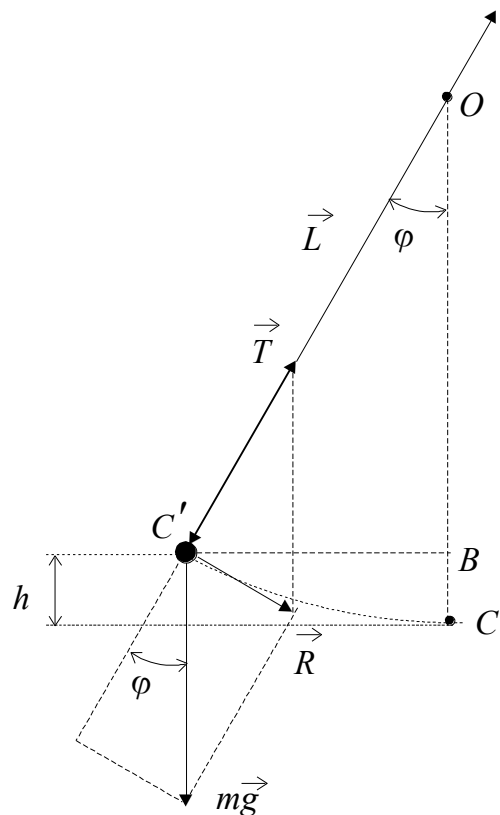


Рис. 1. Математический маятник

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

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

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

где $\omega_0^2 = \frac{g}{l}$.

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

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

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

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

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

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?

Лабораторная работа 4 ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: изучение основных закономерностей колебательного движения физического маятника.

Идея эксперимента

В эксперименте исследуется физический маятник, представляющий собой прямой стержень, колеблющийся вокруг осей, расположенных на разном расстоянии от центра тяжести стержня.

Теория

Колебания являются одним из наиболее распространенных видов движения. При достаточно малых отклонениях от положения равновесия колебания бывают обычно гармоническими.

Физическим маятником называется твердое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания вокруг неподвижной горизонтальной оси O , не проходящей через центр масс C тела (рис. 1).

Если маятник выведен из положения равновесия на некоторый угол φ , то составляющая $\vec{F}_n$ силы тяжести $m\vec{g}$ уравнивается силой реакции оси O , а составляющая $\vec{F}_\tau$ стремится вернуть маятник в положение равновесия. Все силы приложены к центру масс тела. При этом

$$F_\tau = -mg \cdot \sin \varphi \quad (1)$$

Знак минус означает, что угловое смещение φ и возвращающая сила $\vec{F}_\tau$ имеют противоположные направления. При достаточно малых углах отклонения маятника из положения равновесия $\sin \varphi \approx \varphi$, поэтому $F_\tau \approx -mg\varphi$. Поскольку маятник в процессе колебаний совершает вращательное движение относительно оси O , то оно может быть описано основным законом динамики вращательного движения

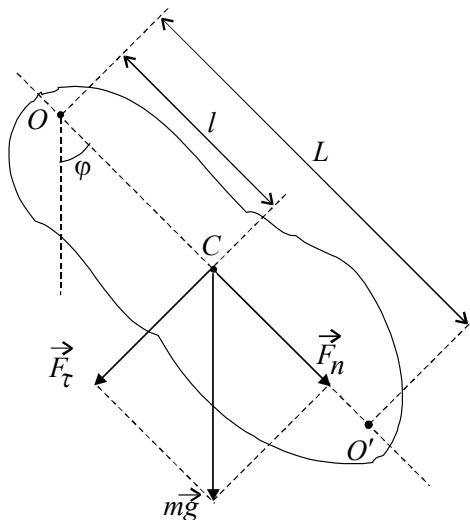


Рис. 1. Физический маятник

$$M = J\varepsilon, \quad (2)$$

где M – момент силы F_τ относительно оси O , J – момент инерции маятника относительно оси O , $\varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ – угловое ускорение маятника.

Момент силы в данном случае равен

$$M = F_\tau \cdot l = -mg\varphi \cdot l, \quad (3)$$

где l – расстояние между точкой подвеса и центром масс маятника.

С учетом (2) уравнение (1) можно записать в виде

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} + mgl\varphi = 0 \quad (4)$$

или

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega_0^2\varphi = 0, \quad (5)$$

где $\omega_0^2 = mgl/J$

Решением дифференциального уравнения (5) является функция

$$\varphi = \varphi_0 \cos(\omega_0 t + \alpha), \quad (6)$$

позволяющая определить положение маятника в любой момент времени t . Из выражения (6) следует, что при малых колебаниях физический маятник совершает гармонические колебания (колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по законам синуса или косинуса) с амплитудой колебаний φ_0 , циклической частотой $\omega_0 = \sqrt{mgl/J}$, начальной фазой α и периодом

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl}} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}, \quad (7)$$

где $L = J/(mg)$ – приведенная длина физического маятника, т.е. длина такого математического маятника, период

которого совпадает с периодом физического маятника.
 Формула (7) позволяет определить момент инерции твердого тела относительно любой оси, если измерен период колебаний этого тела относительно этой оси.
 Если физический маятник имеет правильную геометрическую форму и его масса равномерно распределена по всему объему, в формулу (7) можно подставить соответствующее выражение для момента инерции (Приложение 1). Например, для физического маятника, имеющего вид однородного стержня, колеблющегося вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной стержню, формула (7) приобретает вид:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l^2 + d^2 / 12}{l \cdot g}}, \tag{8}$$

где d – длина стержня, l – расстояние от оси качаний до центра тяжести стержня.

Экспериментальная установка

Применяемый в данной работе физический маятник состоит из однородного металлического стержня и опорной призмы, которая может перемещаться вдоль стержня. Можно также использовать стержень с отверстиями, с помощью которых маятник одевается на горизонтальную ось. Период колебаний маятника измеряется с помощью секундомера.

Проведение эксперимента

Изучение зависимости периода колебаний физического маятника от расстояния между осью качаний и центром тяжести маятника.

Измерения

Измеряют периоды колебаний T физического маятника при различных расстояниях l между центром тяжести и осью качаний. Шаг изменения расстояния l выбирают с таким расчетом, чтобы получить 8-10 экспериментальных точек. Число колебаний в каждом опыте 15-20. Угол отклонения маятника от положения равновесия около 4° . Полученные данные заносят в таблицу 1 отчета.

Обработка результатов

1. Строят график зависимости $T^2l = f(l^2)$.
2. Если экспериментальные точки ложатся на прямую с небольшим разбросом, то можно сделать вывод о правильности формулы периода колебаний физического маятника.
3. Используя соотношения $\frac{4\pi^2}{g} = k$ и $\frac{4\pi^2}{g} \cdot \frac{d^2}{12} = b$, где k – тангенс угла наклона прямой к оси l^2 , b – отрезок, отсекаемый прямой по оси T^2l , вычисляют ускорение свободного падения g и длину стержня d .
4. Сравнивают полученное значение g с табличным значением, а величину d с длиной стержня. Делают вывод о точности проделанных измерений.

Приложение 1

Тело	Положение оси вращения	Момент инерции
Полый тонкостенный цилиндр радиусом R	Ось симметрии	mR^2
Сплошной цилиндр или диск радиусом R	Ось симметрии	$\frac{1}{2}mR^2$
Прямой тонкий стержень длиной l	Ось перпендикулярна стержню и проходит через его середину	$\frac{1}{12}ml^2$
Прямой тонкий стержень длиной l	Ось перпендикулярна стержню и проходит через его конец	$\frac{1}{3}ml^2$
Шар радиусом R	Ось проходит через центр шара	$\frac{2}{5}mR^2$

Контрольные вопросы.

1. Какое движение механической системы называется колебательным? Что называется периодом и частотой колебаний?
2. Какая система называется физическим маятником?

3. Какие колебания называются гармоническими? Что такое амплитуда и фаза колебаний.
4. От чего зависит период колебаний физического маятника?

Лабораторная работа 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ОБОРОТНОГО МАЯТНИКА

Цель работы – изучение метода оборотного маятника для определения ускорения свободного падения.

Приборы и оборудование: оборотный маятник, секундомер.

Идея эксперимента

Применение оборотного маятника основано на свойстве сопряженности центра качания и точки подвеса. Это свойство заключается в том, что во всяком физическом маятнике можно найти такие две точки, что при последовательном подвешивании маятника за ту или другую из них период колебаний его остается одним и тем же. Расстояние между этими точками определяет собой приведенную длину данного маятника.

Теоретическая часть

Если амплитуда физического маятника мала, то период его колебаний определяется формулой

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl_1}}, \quad (1)$$

где J – момент инерции физического маятника относительно оси качания, l_1 – расстояние между осью качания и центром тяжести маятника, m – масса маятника.

По теореме Гюйгенса – Штейнера

$$J = J_0 + ml_1^2, \quad (2)$$

где J_0 – момент инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести и параллельной оси качаний, а величины J , m и l_1 те же, что и в формуле (4.1).

Если последовательно подвешивать маятник в двух точках, то периоды его колебаний определяются уравнениями

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{J_0 + ml_1^2}{mgl_1}}, \quad T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{J_0 + ml_2^2}{mgl_2}} \quad (3)$$

Отсюда имеем

$$T_1^2 gl_1 - T_2^2 gl_2 = 4\pi^2 (l_1^2 - l_2^2) \quad (4)$$

Для величины ускорения свободного падения из последней формулы после преобразований получаем уравнение, данное Бесселем:

$$g = \frac{8\pi^2 l}{T_1^2 + T_2^2} \frac{1}{1 + \frac{(T_1^2 - T_2^2)l}{(T_1^2 + T_2^2)(l_1 - l_2)}}, \quad (5)$$

где $l = l_1 + l_2$ – приведенная длина маятника.

Если периоды равны между собой ($T_1 = T_2 = T$), уравнение принимает вид

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2} \quad (6)$$

Добиться полного равенства периодов нелегко. Формула Бесселя позволяет достаточно просто и с наименьшей степенью точности определить величину ускорения при приближенном равенстве периодов колебаний.

Пусть T_1 и T_2 близки друг к другу, а величины a_1 и a_2 сильно отличаются одна от другой. В этом случае, как видно из формулы (5), нет необходимости определять величины a_1 и a_2 с большой степенью точности (не точнее чем 1 мм).

Экспериментальная установка

Оборотные маятники имеют различную форму. Они обычно состоят из металлического стержня, по которому могут передвигаться и закрепляться тяжелые и легкие *чечевицы* (грузы) A_1 и A_2 и опорные призмы Π_1 и Π_2 (рис. 1).

Порядок выполнения работы

1. Перед началом работы законспектируйте краткую теорию.
2. Внимательно изучите лабораторную установку. Сделайте схематический рисунок ее с указанием основных элементов.

Проведение эксперимента и обработка результатов

1. Готовят оборотный маятник к измерениям. Зафиксировать чечевицы на металлическом стержне несимметрично, так чтобы одна находилась вблизи конца стержня, а другая вблизи его середины. Опорные призмы закрепить по обеим сторонам центра масс маятника, так чтобы они были обращены друг к другу вершинами. Одну из них поместить вблизи свободного конца стержня, а вторую на середине расстояния между чечевицами. Проверить, насколько прочно зафиксированы опорные призмы. Закрепить маятник на вкладыше верхнего кронштейна на призме, находящейся вблизи стержня. Подвижную чечевицу A_2 последовательно перемещают с шагом 0,5-1 см от конца маятника к призме Π_2 . В отчете выполняют чертеж маятника с указанием всех размеров, определяющих геометрию маятника.

2. Маятник приводят в колебание на опорной призме Π_1 и определяют период колебаний T_1 . Измерение периода проводят, беря не менее 10 колебаний. Угловая амплитуда колебаний не должна превышать 4° .

3. Меняют ось колебаний, подвешивая маятник на другой призме. Проводят измерения периода T_2 .

4. Перемещают чечевицу A_2 . Снова измеряют периоды колебаний на призмах Π_1 и Π_2 и т. д. Данные измерений заносят в таблицу 1 отчета.

5. По полученным данным строят графики зависимостей $T_1 = f_1(d)$ и $T_2 = f_2(d)$, где d – расстояние от призмы Π_2 до подвижной чечевицы. Точка пересечения кривых определяет такое положение чечевицы A_2 , при котором значения периодов наиболее близки.

6. Для найденного положения чечевицы A_2 определяют периоды колебаний T_1 и T_2 (в прямом и перевернутом положении маятника) с наибольшей тщательностью. Определяют время 15 – 20 колебаний маятника не менее трех раз, откуда вычисляют средние значения периодов колебаний. Данные измерений заносят в таблицу 2 отчета.

7. Для определения положения центра тяжести маятника его тщательно уравнивают на трехгранной подставке. Измерение расстояний l_1 и l_2 производят масштабной линейкой с точностью до миллиметра.

8. По полученным данным с помощью формулы Бесселя (6) определяют величину ускорения свободного падения.

9. В выводе сравнивают измеренное и табличное значения ускорения свободного падения.

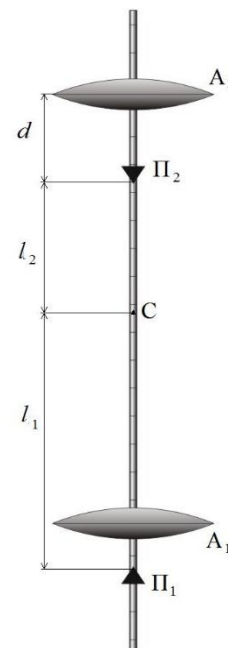


Рис. 1. Оборотный маятник

Контрольные вопросы

1. Дайте определения физического, математического, пружинного маятников.
2. К какому типу маятников относится оборотный, в чем состоит его особенность.
3. Сформулируйте теорему Гюйгенса-Штейнера.
4. Получите формулу Бесселя для расчета ускорения свободного падения.
5. Почему для расчета ускорения свободного падения нельзя воспользоваться формулой (1)?
6. Почему при выполнении работы угловая амплитуда колебаний не должна превышать 4° ?

Лабораторная работа 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ (C_P/C_V) ВОЗДУХА МЕТОДОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ (КЛЕМАНА–ДЕЗОРМА).

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:

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

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.

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

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:

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

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

Между удельной и молярной теплоёмкостями существует простая связь:

$$C = Mc, \quad (2)$$

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:

$$C_V = \Delta Q_M = \Delta U_M, \quad (5)$$

где C_V – молярная теплоемкость при постоянном объеме, ΔU_M – изменение внутренней энергии идеального газа при его нагревании на $\Delta T = 1 \text{ K}$. Т.к. $\Delta U_M = \frac{i}{2}R\Delta T = \frac{i}{2}R$, то

$$C_V = \frac{i}{2}R, \quad (6)$$

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

Теплоёмкость газа, нагреваемого при постоянном объёме, часто называют *изохорной теплоёмкостью*.

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 $p_M \Delta V$ против внешних сил. Тогда, согласно (4), получаем:

$$C_p = \Delta U_M + p_M \Delta V,$$

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

$$C_p = C_V + p_M \Delta V \quad (7)$$

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:

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

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:

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

Теплоёмкость 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*:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i} > 1. \quad (10)$$

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*:

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

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

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

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.

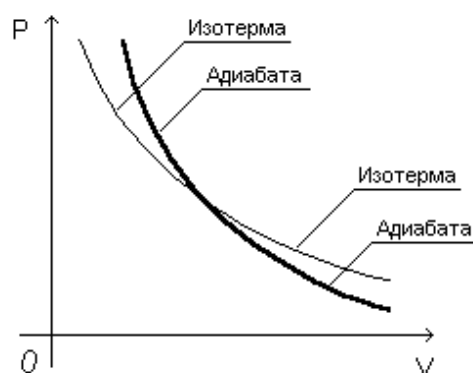


Рис. 1.

Экспериментальная установка

Лабораторная работа выполняется на базе лабораторного комплекса ЛКТ-5 (рисунок 2). Основной элемент 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»



Рис. 2.

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 «КЗ», 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_0 , 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 «КЗ» и позволяют газу, находящемуся в баллоне под повышенным давлением, как можно быстрее расшириться до давления, равного атмосферному, после чего клапан «КЗ» 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 T_2 оказывается несколько ниже комнатной температуры T_0 ($T_2 < T_0$), объем воздуха массой m_0 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_0 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:

$$\frac{p_0^{\gamma-1}}{T_0^\gamma} = \frac{p_2^{\gamma-1}}{T_2^\gamma}. \quad (12)$$

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

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

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

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

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. Закрыть штуцер ШЗ заглушкой.
2. Закрыть 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 открыть кран 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 Δp_1 .
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)?

Лабораторная работа 7

Изучение распределения Максвелла

Запустите программу. Выберите «Термодинамика и молекулярная физика», «Распределение Максвелла». Нажмите кнопку с изображением страницы во внутреннем окне. Прочитайте теорию и составьте 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

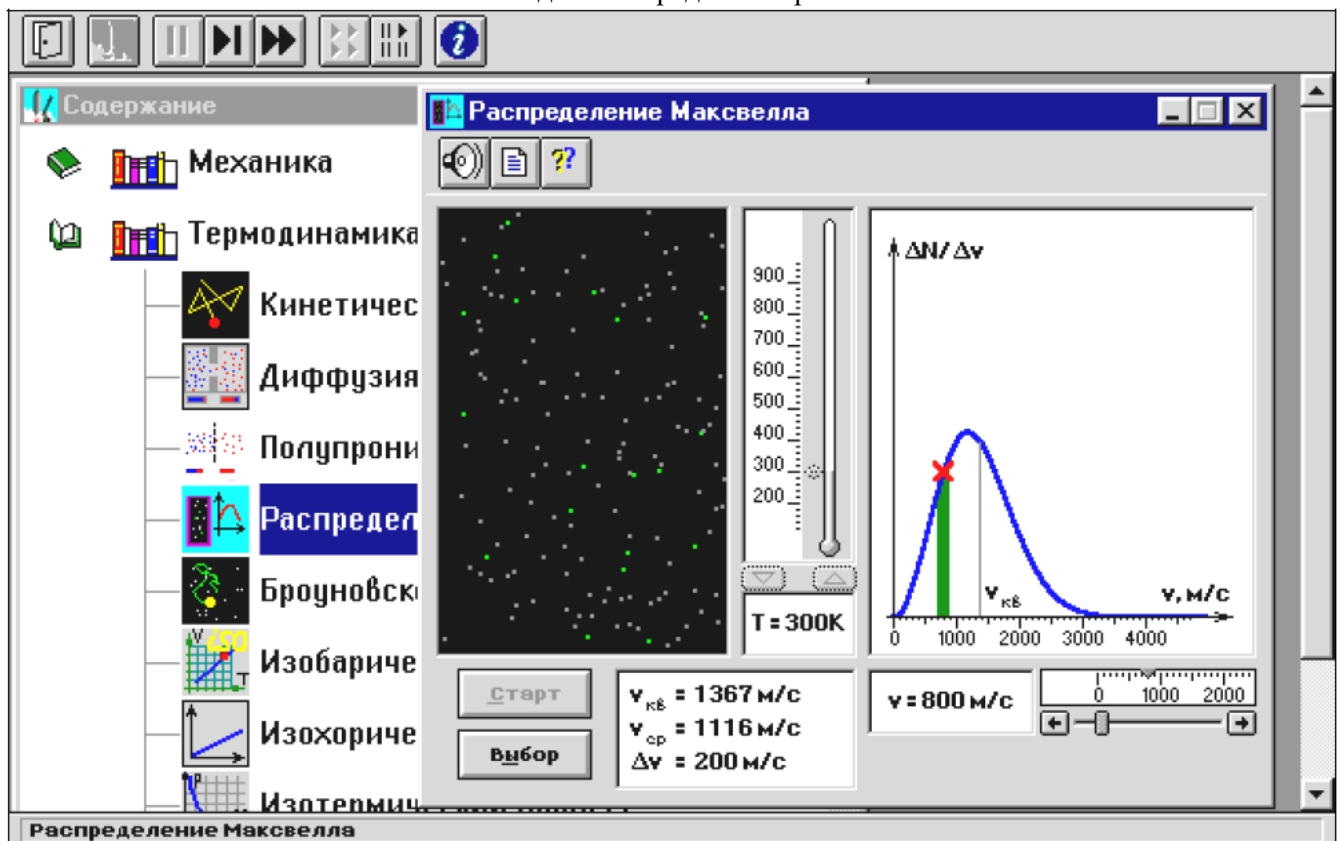
Вероятностью P_i получения некоторого результата измерения называется предел отношения количества измерений, давших этот результат, (N_i) к полному числу измерений N , когда $N \rightarrow \infty$.

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:

$$F(v) = \phi(v_x) \cdot \phi(v_y) \cdot \phi(v_z) \cdot 4\pi v^2 = f(v) \cdot 4\pi v^2,$$

где $\phi(v_x)$, $\phi(v_y)$ и $\phi(v_z)$ – функции распределения для соответствующих **проекций** скоростей молекул, а $f(v)$ – их произведение.

Методика и порядок измерений



Внимательно рассмотрите рисунок, составьте 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 «» вверху) и получать как бы «мгновенные фотографии», на которых выделяются более ярким свечением частицы (точки), скорости которых лежат в заданном диапазоне Δv вблизи заданной скорости (т.е.

имеющие скорости от до $+\Delta$). Для продолжения наблюдения движения частиц надо нажать кнопку «↔». Запишите в тетрадь значение Δ , указанное на экране.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

Измерения

1. Нажмите кнопки «↔», «СТАРТ» и «ВЫБОР» и установите температуру T_1 , указанную в табл. 1 для вашей бригады. Запишите для нее значение наиболее вероятной скорости.
2. Установите скорость выделенной группы молекул вблизи минимального заданного в форме 1 значения.
3. Нажмите клавишу «|» и подсчитайте на «мгновенной фотографии» количество молекул ΔN , скорости которых лежат в заданном диапазоне Δv вблизи за-данной скорости молекул (они более яркие). Результат запишите в таблицу по форме 1. v
4. Нажмите кнопку «↔» и через 10–20 секунд получите еще одну мгновенную фотографию (нажав кнопку «|»). Подсчитайте количество частиц с заданной скоростью. Результат запишите в таблицу по форме 1.
5. Повторите еще 3 раза измерения для данной скорости и результаты за-пишите в таблицу по форме 1.
6. Измените скорость до значения, указанного в форме 1, и выполните по 5 измерений (как в п.4) для каждой скорости.
7. Установите (как в п.1) вторую температуру T_2 из табл.1. Запишите для нее значение наиболее вероятной скорости.
8. Повторите измерения (по п. 2,3,4,5), записывая результат в форму 1.

Результаты измерений при $T = \text{ ______ К}$

Форма 1

v [км/с]=	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
ΔN_1							
ΔN_2							
ΔN_3							
ΔN_4							
ΔN_5							
$\Delta N_{\text{ср}}$							

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 для 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 наиболее вероятной 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 наиболее вероятной 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 наиболее вероятная скорости молекул идеального газа.

Лабораторная работа 8

ИЗУЧЕНИЕ ЦИКЛА КАРНО ИДЕАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ МАШИНЫ

Запустите программу «Термодинамика и молекулярная физика», «Цикл Карно». Нажмите кнопку с изображением страницы во внутреннем окне. Прочитайте теорию и запишите краткие сведения в свой конспект лабораторной работы. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

Цель работы

- Знакомство с компьютерной моделью, иллюстрирующей цикл Карно для идеального газа.
- Экспериментальное определение работы, совершенной газом за цикл.
- Экспериментальная проверка теоремы Карно.

Краткая теория

Циклом Карно называется круговой процесс, состоящий из двух изотермических процессов и двух адиабатических процессов (см. окно теории).

Рабочим телом называется термодинамическая система, совершающая процесс и предназначенная для преобразования одной формы передачи энергии – теплоты или работы – в другую. Например, в тепловом двигателе рабочее тело совершает работу за счет части тепла, получаемого от нагревателя.

Нагревателем (теплоотдатчиком) называется устройство, сообщаемое рассматриваемой термодинамической системе энергию в форме тепла.

Холодильником (теплоприемником) называется система (окружающая среда или специальные устройства для охлаждения и конденсации отработанного па-ра), поглощающая часть тепла рабочего тела.

Прямой цикл называется круговой процесс, в котором рабочее тело совершает положительную работу: $A > 0$.

На графике p - V прямой цикл изображается в виде замкнутой кривой, проходимой рабочим телом в виде замкнутой кривой, причем при расширении давление (и температура) должны быть больше, чем при сжатии. $\int p dV$

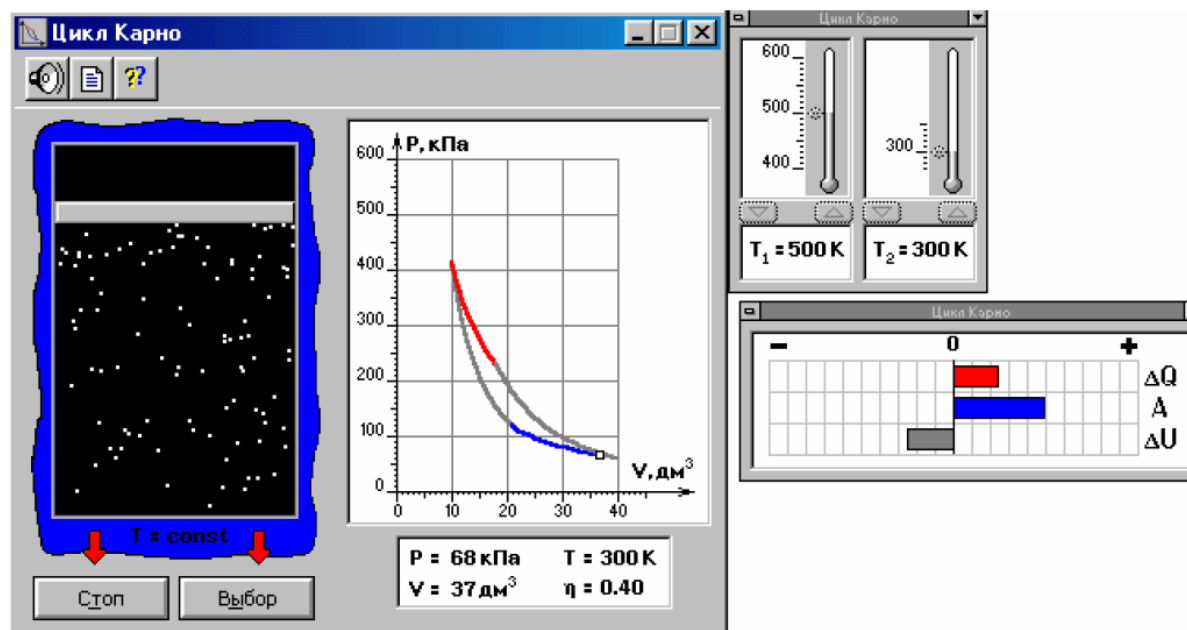
Работа любого теплового двигателя состоит из повторяющихся циклов, каждый из которых включает в себя получение рабочим телом энергии от нагревателя, расширение рабочего тела и совершение им работы, передачу части энергии холодильнику и возвращение рабочего тела в исходное состояние. Работа, совершаемая рабочим телом за один полный цикл, складывается из работы, совершенной им при расширении, и работы, совершенной им при сжатии: $A = A_{\text{расш}} + A_{\text{сж}}$. Учитывая, что при сжатии газ совершает отрицательную работу,

последнее равенство можно переписать в виде

$$A = A_{\text{расш}} - |A_{\text{сж}}|.$$

При наличии холодильника газ перед сжатием или во время сжатия охлаждается, и потому процесс совершения им работы при сжатии протекает при меньшем давлении, чем при расширении. Поэтому $|A_{\text{сж}}| < A_{\text{расш}}$, и, следовательно, $A > 0$.

Эксперимент



Вопросы и задания для самоконтроля

1. Какие устройства называют тепловыми двигателями?
2. Из каких основных элементов состоит тепловой двигатель?
3. Зачем в тепловом двигателе нужен холодильник?
4. Что является холодильником в двигателе внутреннего сгорания?
5. Чем отличаются обратимые и необратимые процессы? Почему все реальные процессы необратимы?
6. Дайте понятие энтропии (определение, размерность и математические выражения изменения энтропии для различных изопроцессов идеальных газов).

Лабораторная работа 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ТЕЛ.

Цель работы: экспериментальное изучение фазового перехода первого рода.

Оборудование: лабораторный комплекс ЛКТ-8, модуль 01 ПЕЧЬ-ТЕРМОСТАТ, кабель СШ7 –СШ7 (500 мм), тигель алюминиевый (объем 48 мл, масса 60 г), сплав Розе, глицерин, секундомер.

Теория

Твёрдые тела принято делить на кристаллические и аморфные. **Кристаллами** называются твердые тела, формирующиеся в виде многогранников. Отличительным признаком кристаллических тел является их **анизотропность**, т.е. различие физических свойств в разных направлениях внутри него. Это означает, что кристаллические тела в разных направлениях могут обладать различными акустическими свойствами, различным коэффициентом преломления света, разной величиной коэффициента теплового расширения и т.д.

Другими, не менее важным и интересным, свойством кристаллов является их способность **самоограничиваться**, т.е. принимать многогранную форму в результате свободного роста в подходящей для этого среде. Это означает, что выточенный, например, из каменной соли шарик, будучи помещенным в расплав или раствор такой же соли, со временем покроется гранями. Шарик же вырезанный из воска и помещенный в соответствующую среду, так и останется шариком (воск – не кристаллическое вещество).

Кристаллы условно делят на **монокристаллы** и **поликристаллы**. **Монокристаллами** называются одиночные кристаллы с очень хорошо просматривающейся кристаллической структурой. Такие кристаллы встречаются довольно редко и только в природе. К их числу следует относить, прежде всего, кристаллы кварца (горного хрусталя SiO_2) и каменной соли. Те же кристаллы встречаются, которые состоят из большого числа маленьких кристалликов или, как говорят, обладают поликристаллической структурой, называются **поликристаллами**. К их числу относится большинство окружающих нас тел и, прежде всего, металлы.

Как анизотропность, так и способность кристаллов к самоогранке объясняются почти совершенной симметрией их строения. Рентгеновский анализ строения кристаллов убеждает в том, что только кристаллы обладают столь совершенным порядком в расположении составляющих их частиц (атомов, молекул или ионов). Все частицы кристаллической решетки находятся в непрерывном колебательном движении вблизи некоторых положений равновесия, расположенных в вершинах правильных геометрических фигур (куба, тетраэдра, гексаэдра и т.д.). Такие места положений равновесия колеблющихся частиц называют **узлами** кристаллической решетки. Пространственное расположение частиц, образующих правильные геометрические формы, называется **элементарной ячейкой** кристалла. Весь кусок кристаллического тела состоит из великого множества элементарных ячеек, непрерывно переходящих одна в другую и образующих таким образом **кристаллическую решетку**. По форме, размерам и величине углов наклона элементарных ячеек, кристаллы делят на семь сингоний:

1. правильная или кубическая система $a = b = c; \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
2. гексагональная система $a = b \neq c; \alpha = \beta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ$
3. тетрагональная система $a = b \neq c; \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
4. тригональная система $a = b = c; \alpha = \beta = \gamma < 120^\circ \neq 90^\circ$
5. ромбическая система $a \neq b \neq c; \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
6. моноклиновая система $a \neq b \neq c; \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$
7. триклинная система $a \neq b \neq c; \alpha \neq \beta \neq \gamma$

В таблице 1 показаны 7 сингоний и 4 типа решеток (элементарных ячеек Браве).

Сингония Тип решётки	Три- клинная	Куби- ческая	Тетраго- нальная	Ромби- ческая	Триго- нальная (ромбоэд- рическая)	Гексаго- нальная	Моно- клинная
Примитивный							
Базоцентри- рованный							
Объёмноцен- трированный							
Гранецентри- рованный							

Рис. 1. Элементарные ячейки Браве

По роду частиц, образующих кристаллическую решетку различают следующие четыре типа решеток:

- Атомные решетки, образованные нейтральными атомами. Такая связь носит название *гомеополярной* (например, алмаз).
- Молекулярные решетки, образованные нейтральными молекулами (H_2O , CO_2).
- Ионные решетки, образованные ионами разного знака. Такая связь носит название *гетерополярной* (всевозможные соли). Так, например, кристаллическая решетка поваренной соли ($NaCl$) образована положительными ионами Na^+ и отрицательными ионами Cl^- . Их электростатическое притяжение и обеспечивает довольно большую прочность кристалла.
- Металлические решетки, образованные положительными ионами металла, в пространстве между которыми хаотично и беспорядочно «летают» свободные электроны проводимости. Силы электростатического отталкивания, действующие между одноименными ионами в узлах решетки, не могут привести к разрушению кристалла благодаря действию сил электростатического притяжения свободных электронов, которые, в свою очередь, не могут покинуть кристалл благодаря силам электростатического притяжения со стороны положительных ионов, расположенных в узлах кристаллической решетки. По причине особого характера сил, удерживающих металлические решетки в стационарном состоянии, такие решетки принято выделять в особую группу.

Энергия кристаллической решетки.

Колеблющиеся в узлах кристаллической решетки атомы обладают, естественно, определенной энергией, складывающейся из энергии движения и потенциальной энергии E_p взаимодействия друг с другом:

$$E_p = -\frac{C'}{R^{k_1}} + \frac{C''}{R^{k_2}},$$

где отрицательный член $-\frac{C'}{R^{k_1}}$ этого равенства соответствует силам притяжения, а положительный $\frac{C''}{R^{k_2}}$ — силам отталкивания.

Графически зависимость этих величин от расстояния между центрами масс частиц представлена рис.2а. Рассмотрим поведение двух частиц одной элементарной ячейки.

Расстояние R_0 на рис. 2а соответствует расстоянию между двумя смежными узлами кристаллической решетки. Тепловое движение приводит к периодическому отклонению каждой частицы от этого положения равновесия, в котором воздействие на данную частицу со стороны всех остальных частиц решетки скомпенсировано. При расстояниях между центрами масс частиц $R < R_0$ начинают проявляться силы отталкивания, возвращающие обе частицы на расстояние R_0 друг от друга, предотвращая, таким образом, проникновение одной частицы во внутрь другой. В случае же удаления частиц друг от друга ($R > R_0$) проявляются силы притяжения между данной частицей и ее «соседкой», так же стремящиеся вернуть частицы на расстояние R_0 друг от друга и не позволяющие частицам «разлететься» на слишком большое расстояние, что неминуемо привело бы к разрушению кристаллической решетки.

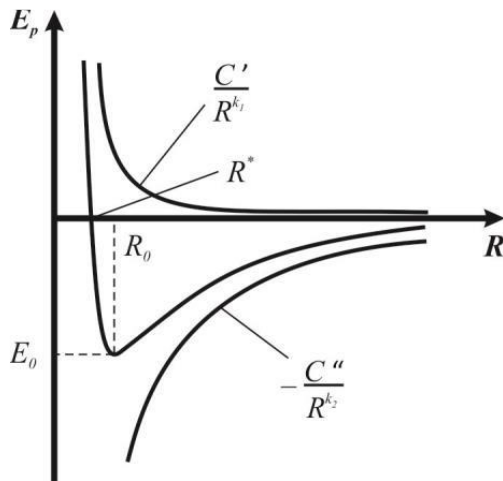


Рис. 2 а

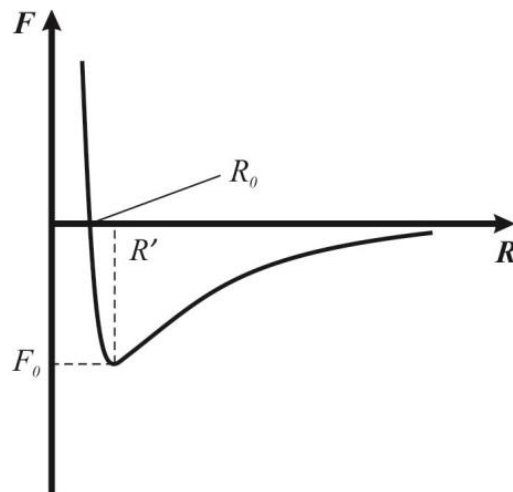


Рис. 2 б

Как следует из хода результирующей кривой, силы отталкивания между частицами кристалла проявляют себя только на малых расстояниях между частицами и по мере их сближения возрастают гораздо быстрее, чем возрастают силы притяжения при удалении частиц друг от друга. Это возможно только если показатели степени в выше приведенном уравнении удовлетворяют условию $k_2 > k_1$ (так для гетерополярных решеток $k_1 = 1$ и $k_2 = 9$).

На рис. 10.26 показан график зависимости результирующей силы взаимодействия частиц, очень похожий на график только что рассмотренной зависимости (т.к. $F = -dE/dR$). Сопоставляя эти кривые, можно заметить, что расстоянию $R = R_0$ соответствуют минимум потенциальной энергии и равенство нулю равнодействующей силы взаимодействия частиц. Это – положение равновесия ($F = 0$), к которому стремится любая система и в котором потенциальная энергия системы минимальна.

Плавление и кристаллизация.

Плавлением кристаллического тела называется процесс превращения его из твердого состояния в жидкое. **Кристаллизацией** называется процесс, обратный процессу плавления.

Расплавить кусок кристаллического тела можно, постепенно нагревая его. График этого процесса, изображенный на рис.3, имеет три участка. На участке ab температуре кристаллического тела плавно

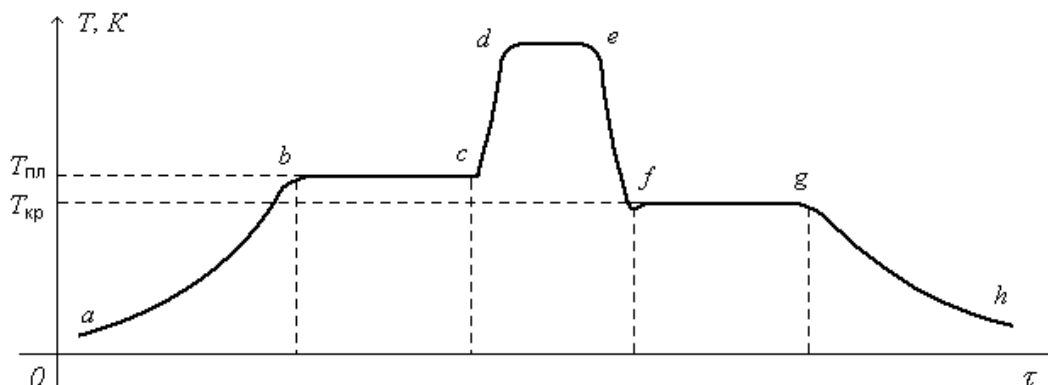


Рис. 3. Кривые плавкости кристаллического тела.

возрастает, что соответствует обычному нагреву твердого тела. По достижении определенной температуры $T_{пл}$, называемой **температурой плавления**, рост температуры прекращается (изотермический участок bc) до тех пор, пока все вещество не превратится в жидкость. Вещество в этом состоянии нельзя назвать ни жидкостью, ни твердым телом: в сосуде находятся одновременно обе фазы – твердая и жидкая. Этот участок кривой соответствует процессу плавления. Рост температуры возобновится (участок cd) сразу после того, как будет расплавлен последний кристаллик вещества. Этот участок кривой соответствует обычному нагреву жидкости.

Как объяснить наблюдаемый факт? Почему на участке bc , несмотря на непрерывающийся приток тепла извне, температура системы остается постоянной? Дело в том, что частицы кристаллической решетки обладают только энергией колебательного движения, в то время как частицы жидкости обладают еще и энергией поступательного движения. Иными словами, частицы жидкости обладают большей энергией, чем частицы кристаллической решетки. Следовательно, для того, чтобы полностью расплавить кусок кристаллического тела, необходимо его частицам сообщить некоторое количество энергии Q_1 , равное энергии поступательного движения частиц жидкости. Сделать это можно, нагревая это кристаллическое тело. Поэтому в период плавления частицы еще не расплавленного кристалла преобразуют получаемую ими извне тепловую энергию в **энергию поступательного движения**. В результате чего температура всей системы остается постоянной. После же того, как все вещество будет расплавлено, поступающее в систему тепло будет затрачиваться на увеличение кинетической энергии частиц расплавленного вещества, т.е. на увеличение скорости их поступательного движения – температура вновь начнет возрастать (участок cd).

Кривая кристаллизации так же имеет изотермический участок fg , соответствующий процессу кристаллизации. Для того, чтобы жидкость перевести в кристаллическое состояние, необходимо, чтобы её частицы потеряли определенную долю своей энергии, равную энергии их поступательного движения, «оставив при себе» только энергию колебательного движения. Именно эта доля, равная энергии поступательного движения частиц жидкости, и выделяется в виде теплоты в период кристаллизации, компенсируя отток тепла из системы и поддерживая температуру всей системы постоянной. После полной кристаллизации вещества дальнейший отток из системы тепла приведет к дальнейшему понижению температуры уже кристаллического тела. Проявляется это в уменьшении амплитуды колебательного движения частиц в узлах кристаллической решетки.

Ядра кристаллизации, образование переохлажденной и перегретой жидкостей.

Теоретически температуры плавления и кристаллизации жидкостей должны совпадать по своей величине. Однако, так происходит далеко не всегда. Обычно температура кристаллизации несколько (а иногда и значительно) ниже температуры плавления. Объясняется это следующим образом. Процесс кристаллизации жидкости всегда начинается на некоторых неоднородностях в объеме жидкости, которые называются **центрами** или **ядрами кристаллизации**. Ядрами кристаллизации могут служить различные неоднородные включения (обычно пыль). При наличии большого числа таких ядер (загрязненное вещество) процесс кристаллизации протекает очень легко и температура кристаллизации действительно совпадает с температурой плавления. В совершенно чистом веществе, свободном от инородных включений, ядрами кристаллизации начинают служить молекулы уплотнения, представляющие собой случайные увеличения концентрации молекул жидкости (плотности жидкости) по всему объему жидкости. Однако, такие случайные (флуктуационные) образования неспособны существовать слишком долго. При температуре жидкости выше или равной температуре плавления, эти молекулярные уплотнения настолько быстро распадаются, что кристаллические зародыши не успевают появиться на них и кристаллизация не происходит. Это обстоятельство в значительной мере затрудняет процесс кристаллизации жидкости, но не блокирует его вовсе. При дальнейшем понижении температуры жидкости время жизни молекулярных уплотнений возрастает и становится вполне достаточным для образования на них мельчайших кристалликов вещества, дальнейший рост которых приводит к полной кристаллизации всей жидкости. Происходит это при температуре, ниже температуры плавления. Такие жидкости называют **переохлажденными**. Значительно ускорить процесс кристаллизации можно некоторым встряхиванием сосуда с переохлажденной жидкостью (при этом возрастает число молекулярных уплотнений) или введением в жидкость кристаллика такого же вещества. Таким образом температура кристаллизации одного и того же вещества не является величиной постоянной и зависит от степени загрязненности исследуемого вещества.

Возможен и несколько иной механизм переохлаждения жидкостей. В том случае, если температуру понижать очень быстро, то ее частицы не будут успевать терять необходимую долю своей энергии, приходящейся на их поступательное движение, и следовательно, не смогут образовать кристаллической решетки. Тем не менее, дальнейшее и быстрое понижение температуры приводит к увеличению вязкости такой жидкости, что затрудняет поступательное движение ее частиц. Вещество затвердевает, не образуя при этом

кристаллической решетки. Такие вещества называют так же **переохлажденными жидкостями** или **стеклообразными** веществами. Очень часто их относят к разряду аморфных тел, несмотря на то, что механизм образования последних, вообще говоря, несколько отличен от механизма образования стеклообразных веществ. Практика причисления последних к аморфным телам объясняется тем, что переохлажденная жидкость достаточно долгое время после ее образования проявляет свойства аморфных тел, но процесс образования кристаллов в ней, в отличие от поистине аморфных тел, все-таки происходит (хотя и очень медленно) и с течением времени стеклообразное тело все же превращается в кристаллическое.

Возможен и вариант образования перегретой жидкости. Механизм такого процесса аналогичен механизму образования стеклообразных веществ.

АМОРФНЫЕ ТЕЛА.

К аморфным телам относятся тела, которые при затвердевании не образуют кристаллической решетки. Основным свойством аморфных тел является их изотропность, т. е. постоянство физических свойств во всех направлениях внутри тела. Аморфные тела, даже в твердом состоянии, обладают текучестью, хотя и очень незначительной. Это позволяет рассматривать их как нечто среднее между кристаллическими телами и жидкостями повышенной вязкости.

Кривые плавления и отвердевания аморфных тел, показанные на рисунке 4, лишены изотермических участков. Вместо них имеются лишь точки перегиба, соответствующие состоянию размягчения аморфного тела. Для аморфных тел невозможно указать значение температуры, при которой в сосуде одновременно будут присутствовать обе фазы - твердая и жидкая. Температура, соответствующая точке перегиба, называется **температурой размягчения**.

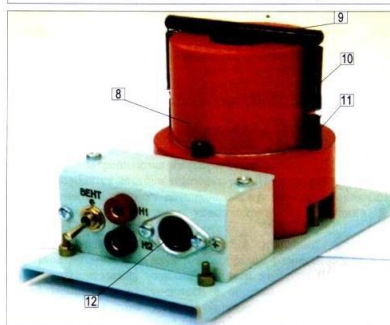
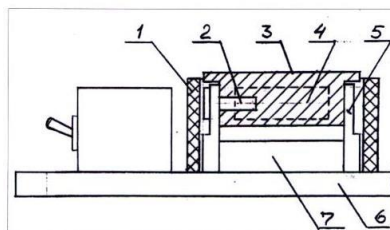
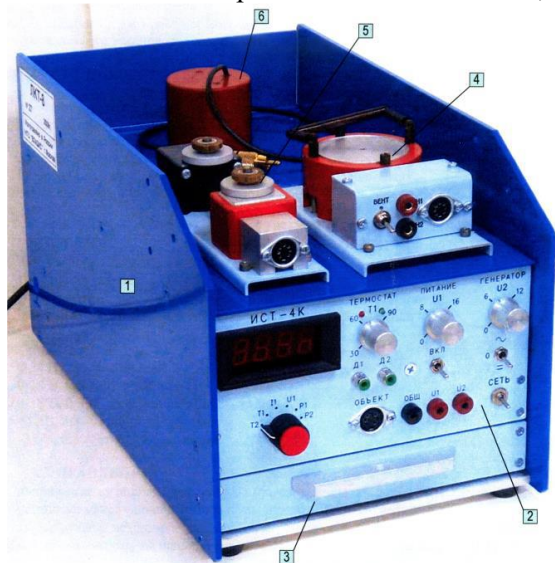


Рис. 4. Кривые плавкости аморфного тела.

Экспериментальная установка

Лабораторная работа выполняется на базе лабораторного комплекса ЛКТ-8 (рис. 5). Все элементы комплекса размещены в двух этажах каркаса 1. Нижний этаж – служебный. В нем размещена измерительная система ИСТ-4К (поз.2) и приборный блок (поз.3). Верхний этаж – рабочая зона. В нем размещены функциональные модули.

На правой боковине каркаса установлена клемма заземления. В работе используется Модуль 01 ПЕЧЬ-ТЕРМОСТАТ (рис.6), состоящий из плиты 3, установленной на основании прибора 6 на ножках 5, и окруженной теплоизолирующим кожухом 1. В плиту встроены два тепловыделяющих элемента (ТВЭЛ) 4 и датчик температуры 2. Плита может охлаждаться вентилятором 7. Сопротивление ТВЭЛ печи равно 10 Ом, максимальное напряжение питания – 20 В, максимальная мощность – 40 Вт.



Исследуемый (нагреваемый) объект устанавливается на плите и прижимается к ней стержнем 9 с помощью двух пружин 10. Пружины прицеплены к двум штырям 11 и при необходимости могут быть сняты. На объект надевается теплоизолирующий кожух (поз.8). Через разъем 12 модуль подключается к разъему ОБЪЕКТ ИСТ-4. Тумблер «ВЕНТ» включает вентилятор. Гнезда «Н1» и «Н2» включены параллельно нагревателю и используются для измерения напряжения на нагревателе при необходимости точного определения выделяемой в нагревателе мощности (вольтметр измерительной системы ИСТ-4 не учитывает падение напряжения на проводах кабеля, что приводит к небольшой погрешности в определении мощности).

В лабораторной работе определяется температура кристаллизации сплава Розе (50% Bi, 28% Pb и 22% Sn по массе).

Измерения и обработка результатов

Задание. Определение температуры кристаллизации тел.

1. По ртутному термометру определить температуру окружающей среды и записать в таблицу 1 отчета T_c .
2. Определить массу исследуемого образца путем взвешивания на лабораторных весах тигля с образцом и пустого тигля и записать в таблицу 1 отчета.
3. Установить тигель на плите термостата, зафиксировав его на печи с помощью огнеупорного кожуха и пружинного фиксатора. Для теплового контакта нанесите предварительно на плиту 2-3 капли глицерина.
4. Соединить кабелем контакт «ТЕРМОСТАТ» с контактом печи-термостата (семиштырьковый кабель СШ7 – СШ7).
5. Установить регулятор напряжения ТВЭЛ печи («НАГРЕВ») на 20 В. Мощность нагрева печи при этом будет 40 Вт.
6. Произвести нагрев с постоянной мощностью до 120°C (регулятор «Т1» должен быть установлен на максимальную температуру).
7. После того, как температура полностью расплавленного образца превысит 120°C , выключите печь.
8. Через каждые 10 с заносить в таблицу 2 отчета значения температуры.
9. Получив около 100 значений, заполнить таблицу 2 окончательно.
10. Построить график зависимости ($T = f(\tau)$)
11. По графику определить температуру кристаллизации вещества T_k .

Контрольные вопросы.

1. Понятие анизотропии.
2. Кристаллические и аморфные тела.
3. Динамика процессов плавления и кристаллизации.
4. Нагрев аморфных тел.
5. Процесс переохлаждения и возникновения ядер кристаллизации.
6. Каковы причины различия температур плавления и кристаллизации?

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКА

Методические указания по подготовке к практическим занятиям

Направление подготовки 19.03.01 Биотехнология
Профиль: «Промышленная биотехнология»

**Ставрополь
2026**

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность учебной дисциплины «Физика» обусловлена необходимостью формирования у будущих специалистов общепрофессиональных компетенций, практических умений на которых базируется профессиональная деятельность в физике. В современных условиях важнейшим элементом подготовки бакалавров в области физики является формирование у них самостоятельности и культуры научного мышления, способности вести научную и профессиональную деятельность, навыков постановки целей, задач при решении проблемных ситуаций.

Целью практических занятий является формирование профессиональных компетенций бакалавра по направлению "15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, связанных с освоением необходимого математического и физического аппарата, с помощью которого разрабатываются и исследуются теоретические и экспериментальные модели наноматериалов

Основные задачи дисциплины:

- приобретение знаний о методах научного познания природы; о современной физической картине мира; свойствах вещества и поля; об основах фундаментальных физических теорий; пространственно-временных закономерностях; динамических и статистических законах природы; элементарных частицах и фундаментальных взаимодействиях; строении и эволюции вселенной;
- овладение умениями проводить наблюдения, планировать и выполнять эксперименты, обрабатывать результаты экспериментов, применять теоретические знания при решении задач;
- воспитание убежденности о необходимости разумного использования достижений науки и технологий для дальнейшего развития общества; отношения к физике как элементу общечеловеческой культуры;
- применение знаний по физике для объяснения явлений природы, принципов работы технических устройств, самостоятельного приобретения знаний, использования современных информационных технологий для поиска, переработки и представления информации по физике;

В результате изучения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции (в соответствии с образовательным стандартом):

ИД-1_{ОПК-5} Понимает основные закономерности протекания процессов обработки деталей машин, причин возникновения погрешностей обработки

ИД-1_{ОПК-8} Анализирует методы решения проблем, связанных с машиностроительными производствами

Практическая работа 1 МЕХАНИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Цель

Рассмотреть кинематику поступательного движения материальной точки. Рассмотреть динамику поступательного и вращательного движения материальной точки и твердого тела. Дать определение понятию «работа». Рассмотреть работу постоянной и переменной силы. Дать определение понятию «мощность». Рассмотреть связь работы и мощности.

Типовые задания для выполнения практических

Пример. Кинематическое уравнение движения материальной точки по прямой (ось x) имеет вид $x = A + Bt + Ct^3$, где $A = 4$ м, $B = 2$ м/с, $C = -0,5$ м/с². Для момента времени $t_1 = 2$ с определить:

- 1) координату x_1 точки
- 2) мгновенную скорость v_1 ,
- 3) мгновенное ускорение a_1 .

Решение: 1. Координату точки, для которой известно кинематическое уравнение движения, найдем, подставив в уравнение движения вместо t заданное значение времени t_1 :

$$x = A + Bt + Ct^3$$

Подставим в это выражение значения A , B , C , t_1 и произведем вычисления:

$$x_1 = 4 \text{ м}$$

2. Мгновенную скорость в произвольный момент времени найдем, продифференцировав координату x по времени: $v = \frac{dx}{dt} = B + 3Ct^2$

Тогда в заданный момент времени t_1 мгновенная скорость

$$v_1 = B + 3Ct_1^2$$

Подставим сюда значения B , C , t_1 и произведем вычисления:

$$v_1 = -4 \text{ м/с}$$

Знак минус указывает на то, что в момент времени $t_1 = 2$ с точка движется в отрицательном направлении координатной оси.

3. Мгновенное ускорение в произвольный момент времени найдем, взяв вторую производную от координаты x по времени: $a = \frac{d^2x}{dt^2} = 6Ct$

Мгновенное ускорение в заданный момент времени t_1 равно $a_1 = 6Ct_1$. Подставим значения C , t_1 и произведем вычисления:

$$a_1 = -6\text{м/с}^2$$

Знак минус указывает на то, что направление вектора ускорения совпадает отрицательным направлением координатной оси, причем в условиях данной задачи это имеет место для любого момента времени.

Задача 1. Две прямые дороги пересекаются под углом $\alpha = 60^\circ$. От перекрестка по ним удаляются машины: одна со скоростью $v_1 = 60$ км/ч, другая со скоростью $v_2 = 80$ км/ч. Определить скорости v' и v'' , с которыми одна машина удаляется от другой. Перекресток машины прошли одновременно.

Задача 2. Материальная точка движется по плоскости согласно уравнению $\vec{r}(t) = \vec{i}At^3 + \vec{j}Bt^2$. Написать зависимости: 1) $\vec{\vartheta}(t)$; 2) $\vec{a}(t)$

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что называют радиус–вектором?
2. Дайте определение мгновенной скорости
3. Что называют нормальным ускорением? Как его определить
4. Запишите кинематическое уравнение равномерного вращения
5. Как связаны линейная и угловая скорости
6. Что называют ортой?
7. Дайте определение ускорения
8. Запишите кинематическое уравнение равнопеременного движения вдоль оси x
9. Дайте определение мгновенной угловой скорости
10. Как вычислить путь пройденный точкой по дуге окружности радиусом R
11. Дайте определение средней скорости
12. Как найти ускорение при криволинейном движении?
13. Как найти скорость точки при равнопеременном движении?
14. Запишите кинематическое уравнение равнопеременного движения?
15. Как связаны линейная и угловая скорости?
16. Дайте определение средней путевой скорости
17. Что называют тангенсальным ускорением? Как его определить
18. Запишите кинематическое уравнение равномерного вращения
19. Дайте определение средней угловой скорости

20. Запишите кинематическое уравнение равнопеременного движения

Задача 1. Тело прошло первую половину пути за время $t_1=2$ с, вторую – за время $t_2 = 8$ с. Определить среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ тела, если длина пути $S = 20$ м.

Задача 2. За время $t = 6$ с точка прошла путь, равный половине длины окружности радиусом $R = 0,8$ м. Определить среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ за это время и модуль вектора средней скорости $|\langle v \rangle|$

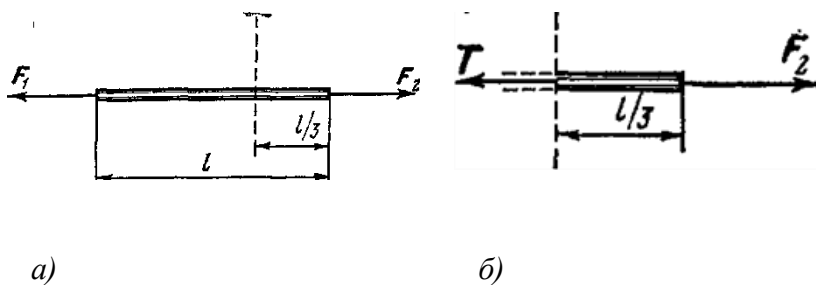
Практическая работа 2 ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

Цель

Дать определение понятию «импульс тела». Сформулировать закон сохранения импульса. Дать определение понятию «момент импульса». Дать определение понятиям «кинетическая энергия», «потенциальная энергия» и «полная механическая энергия». Сформулировать законы сохранения энергии. Сформулировать закон сохранения момента импульса тела. Рассмотреть вопросы о симметрии в природе.

Типовые задания для выполнения практических

Пример. К концам однородного стержня приложены две противоположно направленные силы: $F_1 = 40$ Н и $F_2 = 100$ Н. Определить силу натяжения T стержня в поперечном сечении, которое делит стержень на две части в отношении 1:2.



Решение. Если бы силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ были направлены между собой, то сила натяжения в любом сечении стержня была бы одинаковой и равной

силам, приложенным к концам стержня. Стержень в этом случае находился бы в покое. Но так как сумма сил, действующих на стержень, отлична от нуля, то стержень будет двигаться с ускорением, величина и направление которого определяются по второму закону Ньютона: $\vec{a} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2}{m}$, где m – масса стержня. Так как обе силы действуют вдоль прямой, то геометрическую сумму можно заменить алгебраической:

$$a = \frac{F_1 + F_2}{m} \quad (1)$$

При ускоренном движении стержня силы натяжения в разных сечениях различны. Для определения этих сил применим следующий прием: разделим стержень на две части в интересующем нас сечении и отбросим одну из них, например, левую. Действие левой части на правую заменим силой натяжения T (рис б). В результате действия разности сил $F_2 - T$ оставшаяся правая часть стержня массой m_1 должна двигаться с ускорением $a = \frac{F_2 - T}{m_1}$ равным по величине и направлению прежнему ускорению, выражаемому формулой

(1). Так как стержень однородный, то $m_1 = \frac{m}{3}$ и, следовательно,

$$a = \frac{F_2 - T}{\frac{m}{3}} \quad (2)$$

Приравнивая правые части равенства (1) и (2) и выражая из полученного равенства силу натяжения T , находим: $T = F_2 - \frac{F_2 - F_1}{3}$

Подставив значения F_1 и F_2 , получим

$$T = 80 \text{ Н.}$$

Задача 1. Лодка с двумя пассажирами равномерно плывёт по озеру со скоростью $v_1 = 2 \text{ м/с}$. Один человек прыгнул с кормы лодки так, что его скорость относительно воды оказалась равной нулю. Затем аналогичный прыжок совершил 2-ой человек (и его скорость относительно воды оказалась равной 0). С какой скоростью v_2 стала двигаться лодка, если её масса в 2 раза больше массы каждого пассажира.

Задача 2. Ракета, масса которой без заряда $M = 600 \text{ г}$, при сгорании $m = 80 \text{ г}$ пороха взлетает на высоту $h = 180 \text{ м}$. Определите скорость выхода из ракеты пороховых газов. Считать, что порох сгорает на старте мгновенно

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Импульс силы – это Формула и в чем измеряется
2. Что называют абсолютно упругим ударом?
3. Запишите закон сохранения импульса замкнутой системы при абсолютно неупругом ударе
4. Мощность – это Формула и в чем измеряется
5. Потенциальная энергия – это....
6. Как определить импульс системы тел?
7. Что называют абсолютно неупругим ударом?
8. Какое движение называют реактивным?

9. Запишите закон сохранения механической энергии
10. Сформулируйте второй закон Ньютона
11. Направление каких векторов совпадает с направлением силы и ускорения?
12. Запишите закон сохранения импульса замкнутой системы при абсолютно упругом ударе
13. Механическая работа – это... Формула и в чем измеряется
14. Кинетическая энергия – это... Формула и в чем измеряется

Задача 1. Конькобежец массой $M=50$ кг бросает горизонтально шайбу массой $m=200$ г со скоростью $v=20$ м/с. На какое расстояние откатится конькобежец после броска шайбы? Коэффициент трения коньков о лёд $k=0,02$.

Задача 2. Верёвка длиной $L=4$ м и массой $m=0,5$ кг свешивается вертикально с края крыши. Какую работу необходимо совершить, чтобы поднять верёвку на крышу?

Практическая работа 3 ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Цель

Рассмотреть экспериментальное обоснование молекулярно-кинетической теории вещества. Сформулировать законы поведения разреженных газов. Дать определение понятиям «теплота» и «работа». Дать определение понятию «теплоемкость»

Типовые задания для выполнения практических

Пример. Найти молярную массу M смеси кислорода массой $m_1 = 25$ г и азота массой $m_2 = 75$ г.

Решение:. Молярная масса смеси $M_{\text{см}}$ есть отношение массы смеси $m_{\text{см}}$ к количеству вещества смеси $\nu_{\text{см}}$, т. е.:

$$M_{\text{см}} = \frac{m_{\text{см}}}{\nu_{\text{см}}} \quad (1)$$

Масса смеси равна сумме масс компонентов смеси $m_{\text{см}} = m_1 + m_2$ Количество вещества смеси равно сумме количеств вещества компонентов.

Подставив в формулу (1) выражения $m_{\text{см}}$ и $\nu_{\text{см}}$, получим

$$M_{\text{см}} = \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}} \quad (2)$$

Найдем молярные массы M_1 кислорода и M_2 , азота:

$M_1 = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, $M_2 = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Подставим значения величин во (2) и произведем вычисления: $M_{\text{см}} = 28,9 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

Задача 1. В сосуде вместимостью $V = 20$ л находится газ количеством вещества $\nu = 1,5$ кмоль. Определить концентрацию n молекул в сосуде.

Задача 2. Идеальный газ находится при нормальных условиях в закрытом сосуде. Определить концентрацию n молекул газа.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что называют концентрацией частиц?
2. Как определить концентрацию частиц в заданном объеме?
3. Запишите основное уравнение кинетической теории газов. Дайте пояснение.
4. Как определить среднюю кинетическую энергию молекулы? Дайте пояснение.
5. Как определить полную энергию молекулы? Дайте пояснение.
6. Как определить энергию поступательного движения молекулы? Дайте пояснение.
7. Как определить энергию вращательного движения молекулы? Дайте пояснение.
8. Как связаны давление и концентрация молекул? Дайте пояснение.
9. Запишите среднюю квадратичную скорость. Дайте пояснение.
10. Запишите среднюю арифметическую скорость. Дайте пояснение.
11. Запишите наиболее вероятную скорость. Дайте пояснение.

Задача 1. В двух одинаковых по вместимости сосудах находятся разные газы: в первом – водород, во втором – кислород. Найти отношение n_2/n_1 концентраций газов, если массы газов одинаковы.

Задача 2. Определить среднюю кинетическую энергию поступательного движения и среднее значение полной кинетической энергии молекулы водяного пара при температуре $T = 600$ К. Найти также кинетическую энергию W поступательного движения всех молекул пара, содержащего количество вещества $\nu = 1$ кмоль.

Практическая работа 4 ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ

Цель

Рассмотреть модель идеального газа. Изучить уравнение состояния идеального газа. Сформулировать закон Больцмана. Изучить закон распределение Максвелла. Дать определение понятию «степени свободы». Рассмотреть «классический закон распределения энергии по степеням свободы». Дать определение понятию «теплоемкость». Рассмотреть особенности теплопередачи в газах.

Типовые задания для выполнения практических

Пример. В баллоне объемом $V = 10$ л находится гелий под давлением $p_1 = 1$ МПа при температуре $T_1 = 300$ К. После того как из баллона был израсходован гелий массой $m = 10$ г, температура в баллоне понизилась до $T_2 = 290$ К. Определить давление p_2 гелия, оставшегося в баллоне.

Решение: Для решения задачи воспользуемся уравнением Клапейрона – Менделеева, применив его дважды к начальному и конечному состояниям газа. Для начального состояния уравнение имеет вид:

$$p_1 V = \frac{m_1}{M} RT_1 \quad (1)$$

а для конечного состояния:

$$p_2 V = \frac{m_2}{M} RT_2, \quad (2)$$

где m_1 и m_2 – массы гелия в начальном и конечном состояниях.

Выразим массы m_1 и m_2 гелия из уравнений (1) и (2):

$$m_1 = \frac{Mp_1V}{RT_1} \quad (3)$$

$$m_2 = \frac{Mp_2V}{RT_2} \quad (4)$$

Вычитая из (3) равенство (4), получим: $m = m_1 - m_2 = \frac{Mp_1V}{RT_1} - \frac{Mp_2V}{RT_2}$

Отсюда найдем искомое давление:

$$p_2 = \frac{RT_2}{MV} \left(\frac{Mp_1V}{RT_1} \right) = \frac{T_2}{T_1} p_1 - \frac{m}{M} \frac{RT_2}{V} \quad (5)$$

Проверим, дает ли правая часть формулы (5) единицу давления. Для этого выразим все величины, входящие в нее, в соответствующих единицах. Единица, в которой выражается первое слагаемое, не вызывает сомнений, так как отношение $\frac{T_2}{T_1}$ – величина безразмерная.

Убедившись в том, что правая часть полученной расчетной формулы дает единицу искомой величины – давления, можем подставить в (5) значения всех величин и произвести вычисления.

В формуле (5) все величины, кроме молярной массы M гелия, известны. Найдем ее. Для гелия как одноатомного газа относительная молекулярная масса равна его относительной атомной массе A_r .

Из таблицы Д. И. Менделеева найдем $A_r = 4$. Следовательно, молярная масса гелия $M = A_r \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} = 4 \cdot \frac{10^{-3} \text{кг}}{\text{моль}}$. Подставив значения величин в (5), получим:

$$p_2 = 364 \text{ кПа}$$

Задача 1. В цилиндр длиной $l=1,6$ м, заполненный воздухом при нормальном атмосферном давлении p_0 , начали медленно вдвигать поршень площадью $S = 200 \text{ см}^2$. Определить силу F , которая будет действовать на поршень, если его остановить на расстоянии $l_1 = 10$ см от дна цилиндра.

Задача 2. Колба вместимостью $V = 300 \text{ см}^3$, закрытая пробкой с краном, содержит разреженный воздух. Для измерения давления в колбе горлышко колбы погрузили в воду на незначительную глубину и открыли кран, в результате чего в колбу вошла вода массой $m = 292$ г. Определить первоначальное давление p в колбе, если атмосферное давление $p_0 = 100 \text{ кПа}$.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Запишите уравнение состояния идеальных газов. Дайте пояснение.
2. Дайте определение понятию «изопроцесс».
3. Какие изопроцессы вам известны? Перечислите
4. Запишите уравнение изотермического процесса. Дайте пояснение
5. Запишите уравнение изохорного процесса. Дайте пояснение
6. Запишите уравнение изобарического процесса. Дайте пояснение
7. Запишите уравнение изотермического процесса. Дайте пояснение
8. Является адиабатический процесс изопроцессом. Дайте пояснение.
9. Запишите уравнение адиабатического процесса. Дайте пояснение.
10. Дайте определение понятию «энтропия».
11. Дайте определение понятию «энтальпия»
12. Дайте определение понятию «парциальное давление»?
13. Запишите закон Дальтона. Дайте пояснение.

Задача 1. Полый шар вместимостью $V = 10 \text{ см}^3$ заполненный воздухом при температуре $T_1 = 573 \text{ К}$, соединили трубкой с чашкой, заполненной ртутью. Определить массу m ртути,

вошедшей в шар при остывании воздуха в нем до температуры $T_2 = 293$ К. Изменением вместимости шара пренебречь.

Задача 2. Температуре $T_1 = 273$ К. На сколько изменится подъемная сила шара при повышении температуры до $T_2 = 293$ К? Считать вместимость V оболочки неизменной и внешнее давление нормальным. В нижней части оболочки имеется отверстие, через которое водород может выходить в окружающее пространство.

Практическая работа 5 ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА

Цель

Рассмотреть столкновение молекул друг с другом. Дать определение понятию сечение рассеяния. Изучить характеристики соударений. Дать определение понятию «диффузия». Дать определение понятию «теплопроводность». Дать определение понятию «вязкое

Типовые задания для выполнения практических

Пример. Два тонкостенных коаксиальных цилиндра длиной $l = 10$ см могут свободно вращаться вокруг их общей оси z . Радиус R большого цилиндра равен 5 см. Между цилиндрами имеется зазор размером $d = 2$ мм. Оба цилиндра находятся в воздухе при нормальных условиях. Внутренний цилиндр приводят во вращение с постоянной частотой $n_1 = 20$ с⁻¹. Внешний цилиндр заторможен. Определить, через какой промежуток времени с момента освобождения внешнего цилиндра он приобретет частоту вращения $n_2 = 1$ с⁻¹. При расчетах изменением относительной скорости цилиндров пренебречь. Масса m внешнего цилиндра равна 100 г.

Решение: При вращении внутреннего цилиндра слой воздуха увлекается им и начинает участвовать во вращательном движении. Вблизи поверхности этого цилиндра слой воздуха приобретает со временем практически такую же линейную скорость, как и скорость точек на поверхности цилиндра, т. е. $v = 2\pi n_1(R - d)$. Так как $d \ll R$, то приближенно можно считать

$$v \approx 2\pi n_1 R$$

(1)

Вследствие внутреннего трения момент импульса передается соседним слоям газа и в конечном счете внешнему цилиндру. За интервал времени Δt внешний цилиндр

Приобретает момент импульса $L = pR$, где p – импульс, полученный за Δt внешним цилиндром. Отсюда

$$p = L/R \quad (2)$$

С другой стороны:

$$p = \eta \frac{dp}{dz} S \Delta t \quad (3)$$

где η – динамическая вязкость; $\frac{dp}{dz}$ – градиент скорости; S – площадь поверхности цилиндра ($S = 2\pi Rl$).

Приравняв правые части выражений (2) и (3) и выразив из полученного равенства искомый интервал Δt , получим: $\Delta t = \frac{L}{\eta R \frac{dp}{dz} S}$.

Найдем входящие в эту формулу величины L , $\frac{dp}{dz}$ и S . Момент импульса $L = J\omega_2$, где J – момент инерции цилиндра ($J = mR^2$); m – его масса; ω_2 – угловая скорость внешнего цилиндра ($\omega_2 = 2\pi n_2$). С учетом этого запишем

$$L = mR^2 \cdot 2\pi n_2 = 2\pi m n_2 R^2$$

Градиент скорости $\frac{dp}{dz} = \frac{p}{z} = \frac{p}{d} \frac{d\vartheta}{dz} = \frac{\vartheta}{z} = \frac{\vartheta}{d}$. Площадь цилиндра равна $S = 2\pi Rl$.

Подставив в (4) выражения L , $\frac{dp}{dz}$ и S , получим:

$$\Delta t = \frac{m d n_2}{\eta p l} \quad (4)$$

Заменив здесь ϑ по (1), найдем

$$\Delta t = \frac{m d n_2}{2\pi \eta R l n_1} \quad (5)$$

Динамическая вязкость воздуха $\eta = 17,2 \text{ мкПа} \cdot \text{с} = 1,72 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$ (см. табл. 14).

Подставив в (5) значения входящих в нее величин и произведя вычисления, получим:

$$\Delta t = 18,5 \text{ с}$$

Задача 1. Определить зависимость динамической вязкости η от температуры T при следующих процессах: 1) изобарном; 2) изохорном. Изобразить эти зависимости на графиках.

Задача 2. Определить зависимость динамической вязкости η от давления p при следующих процессах: 1) изотермическом; 2) изохорном. Изобразить эти зависимости на графиках.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Запишите барометрическую формулу

2. Как определить коэффициент теплопроводности?
3. Сформулируйте закон Фика. Дайте пояснения
4. Что называют теплопроводностью?
5. Как определить импульс, переносимый молекулами из одного слоя газа в другой
6. Как определить коэффициент диффузии?
7. Сформулируйте закон Ньютона. Дайте пояснения
8. Что называют вязкостью?
9. Как определить среднее число соударений молекулы в единицу времени
10. Как определить динамическую вязкость газа?
11. Сформулируйте закон Фурье. Дайте пояснения
12. Что называют диффузией?

Задача 1. Два горизонтальных диска радиусами $R=20$ см расположены друг над другом так, что оси их совпадают. Расстояние d между плоскостями дисков равно $0,5$ см. Верхний диск неподвижен, нижний вращается относительно геометрической оси с частотой $n=10\text{с}^{-1}$. Найти вращающий момент M , действующий на верхний диск. Динамическая вязкость η воздуха, в котором находятся диски, равна $17,2$ мкПа·с.

Задача 2. Определить зависимость динамической вязкости η от давления p при следующих процессах: 1) изотермическом; 2) изохорном. Изобразить эти зависимости на графиках.

Практическая работа 6 **ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ**

Цель

Дать определение понятию «внутренняя энергия». Изучить первое начало термодинамики. Рассмотреть применение первого начала термодинамики к изопроцессам. Рассмотреть микро- и макросостояния термодинамической системы. Дать определение понятию «термодинамическая вероятность» макроскопического состояния. Дать определение понятию «энтропия». Рассмотреть формула Больцмана. Изучить второе начало термодинамики и его статистический смысл. Изучить третье начало термодинамики.

Типовые задания для выполнения практических

Пример. Вычислить удельные теплоемкости неона и водорода при постоянных объеме (c_v) и давлении (c_p), принимая эти газы за идеальные.

Решение. Удельные теплоемкости идеальных газов выражаются формулами

$$c_v = \frac{i}{2} \frac{R}{M} \quad (1)$$

$$c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{M} \quad (2)$$

Для неона (одноатомный газ) $i_1 = 3$, $M_1 = 20 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Подставив в формулы (1) и (2) значения i_1 , M_1 и R и произведя вычисления, найдем:

$$c_{v1} = 624 \text{ Дж/(кг·К)}; c_{p1} = 1,04 \text{ кДж/(кг·К)}.$$

Для водорода (двухатомный газ) $i_2 = 5$, $M_2 = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Вычисление по формулам (1) и (2) дает следующие значения удельных теплоемкостей водорода:

$$c_{v2} = 10,4 \text{ кДж/(кг·К)}; c_{p2} = 14,6 \text{ кДж/(кг·К)}.$$

Задача 1. В баллоне находятся аргон и азот. Определить удельную теплоемкость c_v смеси этих газов, если массовые доли аргона (ω_1) и азота (ω_2) одинаковы и равны $\omega=0,5$.

Задача 2. Водород занимает объем $V_1 = 10^3$ при давлении $p_1 = 100$ кПа. Газ нагрели при постоянном объеме до давления $p_2 = 300$ кПа. Определить: 1) изменение ΔU внутренней энергии газа; 2) количество теплоты Q , сообщенное газу.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Запишите первое начало термодинамики при изотермическом процессе. Дайте пояснения
2. Как связаны молярная и удельная теплоемкости?
3. Как определить работу, направленную на изменение объема? Дайте пояснения.
4. Запишите первое начало термодинамики при адиабатном процессе. Дайте пояснения.
5. Запишите формулу Больцмана. Дать определение понятию
6. Дайте определение понятию «молярная теплоемкость»?
7. Запишите уравнение Майера. В чем заключается его физический смысл. Дайте пояснение.
8. Как определить работу газа при изотермическом процессе?
9. Запишите первое начало термодинамики при изобарном процессе. Дайте пояснения
10. Как определить молярные теплоемкости при постоянном объеме и постоянном давлении?

11. Как определить внутреннюю энергию газа?
12. Запишите первое начало термодинамики. Дайте пояснение.
13. Как определить удельные теплоемкости при постоянном объеме и постоянном давлении?
14. Как определить работу газа при изобарном процессе?
15. Запишите уравнение Пуассона. Дайте пояснения.
16. Как определить термический КПД? Дайте пояснения

Задача 1. Разность удельных теплоемкостей c_v и c_p , некоторого двухатомного газа равна 260 Дж/(кг·К). Найти молярную массу M газа - его удельные теплоемкости c_v и c_p

Задача 2. При изохорном нагревании кислорода объемом $V = 50$ л давление газа изменилось на $\Delta p = 0,5$ МПа. Найти количество теплоты Q , сообщенное газу.

Практическая работа 7 ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Цель

Дать определение понятию «электрический заряд». Сформулировать закон сохранения заряда. Сформулировать закон Кулона. Дать определение понятию «напряженность электрического поля». Сформулировать принцип суперпозиции. Дать определение понятию «электрический диполь». Рассмотреть поле диполя. Рассмотреть работу сил электростатического поля. Дать определение понятию «потенциал» и «разность потенциалов». Дать определение понятию «эквипотенциальные поверхности». Рассмотреть проводники и диэлектрики. Рассмотреть полярные и неполярные молекулы в электрическом поле. Дать определение понятию «поляризация диэлектриков». Рассмотреть пьезоэлектрический эффект. Рассмотреть сегнетоэлектрики и их свойства. Дать определение понятию «электрострикция». Рассмотреть проводники в электрическом поле. Дать определение понятию «емкость проводников». Изучить устройство конденсаторы. Рассмотреть типы соединений конденсаторов. Дать определение понятию «энергия электрического поля».

Типовые задания для выполнения практических

Пример. Положительные заряды $Q_1 = 3 \text{ мкКл}$ и $Q_2 = 20 \text{ нКл}$ находятся в вакууме на расстоянии $r_1 = 1,5 \text{ м}$ друг от друга. Определить работу A , которую надо совершить, чтобы сблизить заряды до расстояния $r_2 = 1 \text{ м}$.

Решение: Положим, что первый заряд Q_1 остается неподвижным, а второй Q_2 под действием внешних сил перемещается в поле, созданном зарядом Q_1 , приближаясь к нему с расстояния $r_1 = 1,5 \text{ м}$ до $r_2 = 1 \text{ м}$.

Работа A' внешней силы по перемещению заряда Q из одной точки поля с потенциалом φ_1 в другую, потенциал которой φ_2 , равна по модулю и противоположна по знаку работе A сил поля по перемещению заряда между теми же точками:

$$A' = -A.$$

Работа A сил поля по перемещению заряда $A = Q(\varphi_1 - \varphi_2)$. Тогда работа A' внешних сил может быть записана в виде

$$A' = -Q(\varphi_1 - \varphi_2) = Q(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (1)$$

Потенциалы точек начала и конца пути выразятся формулами

$$\varphi_1 = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1}; \varphi_2 = \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2}$$

Подставляя выражения φ_1 и φ_2 в формулу (1) и учитывая, что для данного случая переносимый заряд $Q = Q_2$, получим:

$$A' = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2)$$

Если учесть, что $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$, то после подстановки значений величин в формулу (2) и вычисления найдем

$$A' = 180 \text{ мкДж.}$$

Задача 1. Плоский воздушный конденсатор емкостью $C = 1,11 \text{ нФ}$ заряжен до разности потенциалов $U = 300 \text{ В}$. После отключения от источника тока расстояние между пластинами конденсатора было увеличено в пять раз. Определить: 1) разность потенциалов U на обкладках конденсатора после их раздвижения; 2) работу A' внешних сил по раздвижению пластин.

Задача 2. Перпендикулярно плечу диполя с электрическим моментом $p = 12 \text{ пКл} \cdot \text{м}$ возбуждено однородное электрическое поле напряженностью $E = 300 \text{ кВ/м}$. Под действием сил поля диполь начинает поворачиваться относительно оси, проходящей через его центр. Найти угловую скорость ω диполя в момент прохождения им положения равновесия. Момент инерции J диполя относительно оси, перпендикулярной плечу и проходящей через его центр, равен $2 \cdot 10^{-11} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Опыт Милликена. Элементарный электрический заряд.
2. Сформулируйте закон Кулона. Запишите формулу. Дайте пояснения.
3. Запишите закон сохранения заряда. Дайте пояснения.
4. Дайте определение понятию «Напряженность электрического поля». Дайте пояснение.
5. Как определить силу, действующую на точечный заряд Q , помещенный в электрическое поле. Запишите формулу. Дайте пояснение.
6. Дайте определение понятию «поток вектора напряженности E электрического поля». Запишите формулу. Дайте пояснение.

7. Сформулируйте теорему Остроградского – Гаусса. Запишите формулу. Дайте пояснение.
8. Сформулируйте принцип суперпозиции электрических полей.
9. Как определить напряженность поля, создаваемого бесконечно длинной равномерно заряженной нитью? Запишите формулу. Дайте пояснение.
10. Как определить напряженность электрического поля, создаваемого металлической сферой? Запишите формулу. Дайте пояснение.
11. Как определить напряженность электрического поля, создаваемого точечным зарядом? Запишите формулу. Дайте пояснение.
12. Дайте определение понятию «электрическое смещение»
13. Сформулируйте теорему о циркуляции вектора напряженности электрического поля. Запишите формулу. Дайте пояснение.
14. Дайте определение понятию «потенциал электрического поля»
15. Как определить энергию W взаимодействия системы точечных зарядов?
16. Запишите связь потенциала с напряженностью электрического поля.
17. Как определить работу, совершаемую электрическим полем при перемещении точечного заряда?
18. Дайте определение понятию «диполь». Запишите формулу. Дайте пояснение.
19. Дайте определение понятию «электрический момент диполя». Запишите формулу. Дайте пояснение.
20. Запишите уравнение Клаузиуса – Мосотти. Дайте пояснение.
21. Запишите формулу Лоренц-Лорентца. Дайте пояснение.
22. Запишите формулу Дебая – Ланжевена. Дайте пояснение.
23. Дайте определение понятию «Электрическая емкость».
24. Как определить электрическую емкость конденсатора? Запишите формулу. Дайте пояснение.
25. Как определить электрическую емкость конденсаторов, подключённых последовательно? Запишите формулу. Дайте пояснение.
26. Как определить электрическую емкость конденсаторов, подключённых параллельно? Запишите формулу. Дайте пояснение.
27. Как определить энергию заряженного проводника? Запишите формулу. Дайте пояснение.
28. Как определить энергию заряженного конденсатора? Запишите формулу. Дайте пояснение.

29. Как определить объемную плотность энергии? Запишите формулу. Дайте пояснение.

Задача 1. Два шарика массой $m = 0,1$ г каждый подвешены в одной точке на нитях длиной $L = 20$ см каждая. Получив одинаковый заряд, шарики разошлись так, что нити образовали между собой угол $\alpha = 60^\circ$. Найти заряд каждого шарика.

Задача 2. Прямой металлический стержень диаметром $d = 5$ см и длиной $l = 4$ м несет равномерно распределенный по его поверхности заряд $Q = 500$ нКл. Определить напряженность E поля в точке, находящейся против середины стержня на расстоянии $a = 1$ см от его поверхности.

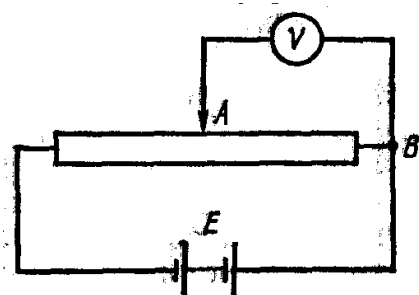
Практическая работа 8 ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Цель

Дать определение понятию «электрический ток». Сформулировать закон Ома для участка цепи. Сформулировать закон Ома в дифференциальной форме. Рассмотреть сопротивление системы проводников при параллельном и последовательном соединениях. Дать определение понятию «сторонние силы». Сформулировать закон Ома для полной цепи. Сформулировать закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах. Дать определение понятиям «работа электрического тока» и «мощность электрического тока».

Типовые задания для выполнения практических

Пример. Потенциометр с сопротивлением $R = 100$ Ом подключен к источнику тока, ЭДС ε которого равна 150 В и внутреннее сопротивление $r = 50$ Ом. Определить показание вольтметра с сопротивлением $R_v = 500$ Ом, соединенного проводником с одной из клемм потенциометра и подвижным контактом с серединой обмотки потенциометра. Какова разность



потенциалов между теми же точками потенциометра при отключенном вольтметре?

Решение: Показание U_1 вольтметра, подключенного к точкам A и B , определяется по формуле

$$U_1 = I_1 R_1 \quad (1)$$

где I_1 – сила тока в неразветвленной, части цепи; R_1 – сопротивление параллельно соединенных вольтметра и половины потенциометра.

Силу тока I_1 найдем по закону Ома для всей цепи:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R+r} \quad (2)$$

где R – сопротивление внешней цепи.

Внешнее сопротивление R есть сумма двух сопротивлений:

$$R = R/2 + R_1. \quad (3)$$

Сопротивление R_1 параллельного соединения может быть найдено по формуле $\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R/2}$ откуда

$$R_1 = \frac{RR_B}{R + 2R_B}$$

Подставив в эту формулу числовые значения величин и произведя вычисления, найдем

$$R_1 = 45,5 \text{ Ом.}$$

Подставив в выражение (2) правую часть равенства (3), определим силу тока:

$$I = \frac{\varepsilon}{\frac{R}{2} + R_1 + r} = 1,03 \text{ А}$$

Если подставить значения I_1 и R_1 в формулу (1), то найдем показание вольтметра: $U_1 = 46,9 \text{ В.}$

Разность потенциалов между точками A и B при отключенном вольтметре равна произведению силы тока I_2 на половину сопротивления потенциометра, т. е. $U_2 = \frac{I_2}{R_2}$ или

$$U_2 = \frac{\varepsilon}{R+r} \frac{R}{2}$$

Подставив сюда значения величин ε , r и R получим

$$U_2 = 50 \text{ В.}$$

Задача 1. Две группы из трех последовательно соединенных элементов соединены параллельно. ЭДС ε каждого элемента равна 1,2 В, внутреннее сопротивление $r = 0,2$ Ом. Полученная батарея замкнута на внешнее сопротивление $R = 1,5$ Ом. Найти силу тока I во внешней цепи.

Задача 2. Имеется N одинаковых гальванических элементов с ЭДС ε и внутренним сопротивлением r_1 каждый. Из этих элементов требуется собрать батарею, состоящую из нескольких параллельно соединенных групп, содержащих по n последовательно соединенных элементов. При каком значении n сила тока I во внешней цепи, имеющей сопротивление R , будет максимальной? Чему будет равно внутреннее сопротивление R_1 батареи при этом значении n ?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Как определить силу постоянного тока?
2. Как определить сопротивление однородного проводника?
3. Как определить сопротивление соединения проводников при последовательном и параллельном подключении?
4. Запишите закон Ома для неоднородного участка цепи. Дайте пояснение
5. Первое правило Кирхгофа
6. Как определить мощность тока?
7. Сформулируйте закон Джоуля-Ленца
8. Закон Ома в дифференциальной форме
9. Что называют плотностью электрического тока. Дайте пояснение
10. Что называют проводимостью? Удельной проводимостью? Дайте пояснение
- 11.
12. Запишите закон Ома для однородного участка цепи. Дайте пояснение
13. Второе правило Кирхгофа
14. Как вычислить работу электростатического поля по перемещению заряда. Дайте пояснение.
15. Сформулируйте закон Джоуля-Ленца
16. Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме

Задача 1. ЭДС ε батареи равна 20 В. Сопротивление R внешней цепи равно 2 Ом, сила тока $I=4$ А. Найти КПД батареи. При каком значении внешнего сопротивления R КПД будет равен 99%?

Задача 2. К зажимам батареи аккумуляторов присоединен нагреватель. ЭДС ε батареи равна 24 В. Внутреннее сопротивление $r=1$ Ом. Нагреватель, включенный в цепь, потребляет мощность $P=80$ Вт. Вычислить силу тока I в цепи и КПД η нагревателя.

Практическая работа 9 .ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

Цель

Рассмотреть классическую теорию электропроводности металлов. Рассмотреть особенности электропроводности жидкостей. Рассмотреть особенности электропроводности газов и плазмы. Рассмотреть ток в вакууме. Рассмотреть особенности электропроводимости полупроводников.

Типовые задания для выполнения практических

Пример. В цепь источника постоянного тока с ЭДС $\varepsilon = 6$ В включен резистор сопротивлением $R = 80$ Ом. Определить: 1) плотность тока в соединительных проводах площадью поперечного сечения $S = 2$ мм²; 2) число N электронов, проходящих через сечение проводов за время $t = 1$ с. Сопротивлением источника тока и соединительных проводов пренебречь.

Решение: 1. Плотность тока по определению есть отношение силы тока I к площади поперечного сечения провода:

$$j = I/S. \quad (1)$$

Силу тока в этой формуле выразим по закону Ома:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+R_1+r_1} \quad (2)$$

где R – сопротивление резистора; R_1 – сопротивление соединительных проводов; r_1 – внутреннее сопротивление источника тока.

Пренебрегая сопротивлениями R_1 и r из (2), получим

$$I = \varepsilon/R.$$

Подставив это выражение силы тока в (1), найдем

$$j = \varepsilon/(RS).$$

Произведя вычисления по этой формуле, получим $j = 3.75 \cdot 10^4$ А/м

2. Число электронов, проходящих за время t через поперечное сечение, найдем, разделив заряд Q , протекающий за это время через сечение, на элементарный заряд:

$$N = Q/e,$$

или с учетом того, что $Q = It$ и $I = \varepsilon/R$,

$$N = \frac{\varepsilon t}{Re}$$

Подставим сюда числовые значения величин и вычислим (элементарный заряд возьмем из табл. 24: $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл):

$$N = 4,69 \cdot 10^{17} \text{ электронов.}$$

Задача 1. Определить среднюю скорость $\langle v \rangle$ упорядоченного движения электронов в медном проводнике при силе тока 10 А и сечении S проводника, равном 1 мм². Принять, что на каждый атом меди приходится два электрона проводимости.

Задача 2. Плотность тока j в алюминиевом проводе равна 1 А/мм². Найти среднюю скорость $\langle v \rangle$ упорядоченного движения электронов предполагая, что число свободных электронов в 1 см³ алюминия равно числу атомов.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Дайте определение понятию «плотность тока». Запишите формулу. Дайте пояснения.
2. Сформулируйте закон Ома. Запишите закон Ома в дифференциальной форме. Дайте пояснения.
3. Сформулируйте закон Джоуля–Ленца. Запишите закон Джоуля–Ленца в дифференциальной форме. Дайте пояснения.
4. Дайте определение понятию «удельная электрическая проводимость». Запишите формулу и дайте пояснение.
5. Сформулируйте закон Видемана-Франца. Запишите формулу и дайте пояснения.
6. Дайте определение понятию «термо-ЭДС». Как его определить? В каких приборах применяется эффект возникновения термо-ЭДС?
7. Сформулируйте первый закон электролиза Фарадея. Запишите формулу и дайте пояснения.
8. Сформулируйте второй Закон Электролиза Фарадея. Запишите формулу и дайте пояснения.
9. Сформулируйте объединенный закон электролиза Фарадея. Запишите формулу и дайте пояснения.
10. Запишите закон Ома в дифференциальной форме для электролитов. Дайте пояснения.
11. Дайте определение понятию «подвижность ионов». Запишите формулу и дайте пояснения.
12. Дайте определение понятию «ток насыщения» и «плотность тока насыщения». Запишите формулу и дайте пояснения.

Задача 1. Электролитическая ванна с раствором медного купороса присоединена к батарее аккумуляторов с ЭДС $E = 4$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,1$ Ом. Определить массу m меди, выделившейся при электролизе за время $t = 10$ мин, если ЭДС поляризации $E_n = 1,5$ В и сопротивление R раствора равно $0,5$ Ом. Медь двухвалентна.

Задача 2. Определить количество вещества ν и число атомов N двухвалентного металла, отложившегося на катоде электролитической ванны, если через раствор в течение времени $t = 5$ мин шел ток силой $I = 2$ А.

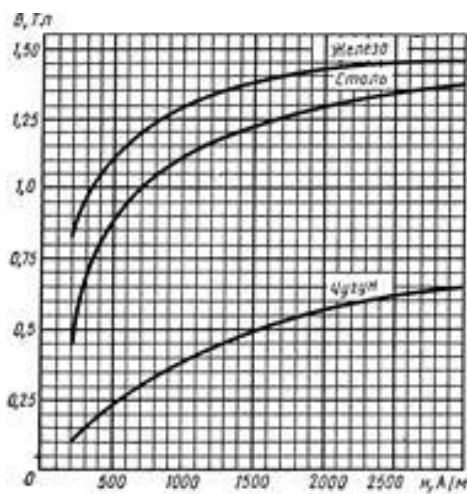
Практическая работа 10 ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Цель

Сформулировать закон Ампера. Дать определение понятию «индукция магнитного поля». Рассмотреть контур с током в магнитном поле. Дать определение понятию «магнитный поток». Сформулировать закон Био-Савара-Лапласа. Дать определение понятию «напряженность магнитного поля». Сформулировать закон полного тока. Дать определение понятию «сила Лоренца». Рассмотреть устройство и принцип работы масс-спектрометров. Рассмотреть устройство и принцип работы ускорителей заряженных частиц. Рассмотреть особенности движения заряженных частиц в магнитном поле. Дать определение понятию «магнитогидродинамический эффект» и «эффект Холла».

Типовые задания для выполнения практических

Пример. Чугунное кольцо имеет воздушный зазор длиной $l_0 = 5$ мм. Длина l средней



линии кольца равна 1 м. Сколько витков N содержит обмотка на кольце, если при силе тока $I = 4$ А индукция B магнитного поля в воздушном зазоре равна $0,5$ Тл? Рассеянием магнитного потока в воздушном зазоре можно пренебречь. Явление гистерезиса не учитывать.

Решение: Пренебрегая рассеянием магнитного потока, мы можем принять, что индукция поля в воздушном зазоре равна индукции поля в чугуне. На основании закона полного тока запишем

$$IN = Hl + H_0 l_0.$$

По графику находим, что при $B = 0,5$ Тл напряженность H магнитного поля в чугуна равна $1,2$ кА/м. Так как для воздуха $\mu = 1$, то напряженность поля в воздушном зазоре

$$H_0 = B\mu_0 = 0,4 \text{ МА/м.}$$

Искомое число витков:

$$N = \frac{l + H_0 l_0}{I} = 800.$$

Задача 1. Определить силу Лоренца F , действующую на электрон, влетевший со скоростью $v = 4$ мм/с в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 30^\circ$ к линиям индукции. Магнитная индукция B поля равна $0,2$ Тл.

Задача 2. По кольцу радиусом R течет ток. На оси кольца на расстоянии $d = 1$ м от его плоскости магнитная индукция $B = 10$ нТл. Определить магнитный момент p_m кольца с током. Считать R много меньшим d .

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Сформулируйте закон Ампера. Запишите формулу. Дайте пояснение.
2. Дайте определение понятию «индукция магнитного поля».
3. Как определить магнитный поток? Запишите формулу. Дайте определение
4. Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа. Запишите формулу. Дайте пояснение.
5. Как определить напряженность магнитного поля? Запишите формулу. Дайте пояснение.
6. .Сформулировать закон полного тока. Запишите формулу. Дайте пояснение.
7. Как определить магнитный момент контура с током? Запишите формулу. Дайте пояснение.
8. Как определить сила Лоренца? Запишите формулу. Дайте пояснение.
9. Сформулировать теорему о циркуляции вектора магнитной индукции. Запишите формулу. Дайте пояснение.
10. Как определить магнитный поток через плоский контур? Запишите формулу. Дайте пояснение.
11. Дайте определение понятию «потокосцепление». Запишите формулу. Дайте пояснение.
12. Магнитная проницаемость – это... Запишите формулу. Дайте пояснение.
13. Магнитное сопротивление – это... Запишите формулу. Дайте пояснение.
14. Опишите устройство и принцип работы масс-спектрометров.
15. Опишите устройство и принцип работы ускорителей заряженных частиц.
16. В чем заключаются особенности движения заряженных частиц в магнитном поле.

17. Магнитогидродинамический эффект – это... Запишите формулу. Дайте пояснение.

18. Эффект Холла – это Запишите формулу. Дайте пояснение.

Задача 1. Электрон в невозбужденном атоме водорода движется вокруг ядра по окружности радиусом $r = 53$ пм. Вычислить силу эквивалентного кругового тока I и напряженность H поля в центре окружности.

Задача 2. На расстоянии $r = 10$ нм от траектории прямолинейно движущегося электрона максимальное значение магнитной индукции $B_{max} = 160$ мкТл. Определить скорость v электрона.

Практическая работа 11 .ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

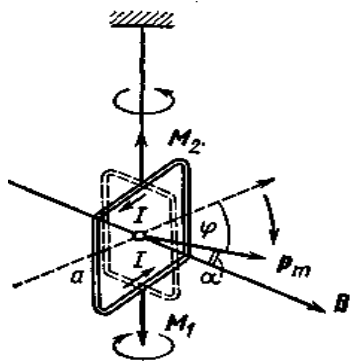
Цель

Дать определение понятию «плотность энергии магнитного поля». Дать определение понятию «индуктивность». Рассмотреть явление взаимной индукции. Дать определение понятию «магнитная энергия» контура с током. Рассмотреть явление ЭДС индукции и индукционный ток. Рассмотреть возможности применения закона Фарадея. Дать определение понятию «работа силы Ампера».

Типовые задания для выполнения практических

Пример. Квадратная рамка со стороной длиной $a = 2$ см, содержащая $N = 100$ витков тонкого провода, подвешена на упругой нити, постоянная кручения C которой равна 10 мкН·м/град. Плоскость рамки совпадает с направлением линии индукции внешнего магнитного поля. Определить индукцию внешнего магнитного поля, если при пропускании по рамке тока $I = 1$ А она повернулась на угол $\alpha = 60^\circ$.

Решение: Индукция B внешнего поля может быть найдена из условия равновесия рамки в поле. Рамка будет находиться в равновесии, если сумма механических моментов, действующих на нее, будет равна нулю:



$$\sum M = 0$$

В данном случае на рамку действуют два момента: M_1 – момент сил, с которым внешнее магнитное поле действует на

рамку с током, и M_2 – момент упругих сил, возникающих при закручивании нити, на которой рамка подвешена. Следовательно, формула (1) может быть переписана в виде

$$M_1 + M_2 = 0 \quad (1)$$

Выразив M_1 и M_2 в этом равенстве через величины, от которых зависят моменты сил, получим:

$$p_m B \sin \alpha - C \varphi = 0 \quad (2)$$

Знак минус перед моментом M_2 ставится потому, что этот момент противоположен по направлению моменту M_1

Если учесть, что $p_m = ISN = Ia^2N$, где I – сила тока в рамке; $S = a^2$ – площадь рамки; N – число ее витков, равенство (2) перепишем в виде:

$$NIa^2B \sin \alpha - C \varphi = 0$$

откуда:

$$B = \frac{C \varphi}{NIa^2 \sin \alpha} \quad (3)$$

Из очевидно, что $\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi$, значит, $\sin \alpha = \cos \varphi$. С учетом этого равенство (3) примет вид

$$B = \frac{C \varphi}{NIa^2 \cos \varphi} \quad (4)$$

Значение постоянной кручения C , рассчитанной на градус (а не радиан, как это следовало бы выразить в СИ), запишем в виде

$$C = 10 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м/град}, \quad C = 10 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м/град}$$

так как значение угла φ также дано в градусах.

Подставим данные в формулу (4) и произведем вычисления:

$$B = 0,03 \text{ Тл} = 30 \text{ мТл}$$

Задача 1. Длинный прямой соленоид из проволоки диаметром $d = 0,5$ мм намотан так,

что витки плотно прилегают друг к другу. Какова напряженность H магнитного поля внутри соленоида при силе тока $I = 4 \text{ А}$? Толщиной изоляции пренебречь.

Задача 2. Прямой провод длиной $l=10$ см, по которому течет ток $I=20$ А, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,01$ Тл. Найти угол α между направлениями вектора $\vec{B}$ и тока, если на провод действует сила $F=10$ мН.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Плотность энергии магнитного поля – это... Запишите формулу. Дайте пояснения.
2. Индуктивность – это... Запишите формулу. Дайте пояснения.
3. Взаимная индукция – это.....Запишите формулу. Дайте пояснения.
4. Магнитная энергия контура с током – это... Запишите формулу. Дайте пояснения.
5. ЭДС индукции – это... Запишите формулу. Дайте пояснения.
6. Индукционный ток – это... Запишите формулу. Дайте пояснения.
7. Сформулируйте закона Фарадея. Запишите формулу. Дайте пояснения.
8. Сила Ампера – это... Запишите формулу. Дайте пояснения.
9. Работа силы Ампера – это... Запишите формулу. Дайте пояснения

Задача 1. Электрон в атоме водорода движется вокруг ядра по круговой орбите некоторого радиуса. Найти отношение магнитного момента p_m эквивалентного кругового тока к моменту импульса L орбитального движения электрона. Заряд электрона и его массу считать известными. Указать направления векторов $\vec{p}_m$ и $\vec{L}$.

Задача 2. Магнитное поле создано бесконечно длинным проводником с током $I=100$ А. На расстоянии $a=10$ см от проводника находите точечный диполь, вектор магнитного момента (p_m мА·м²) которого лежит в одной плоскости с проводником и перпендикулярен ему. Определить силу F , действующую на магнитный диполь.

Практическая работа 12 .ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

Цель

Рассмотреть магнитное поле в веществе. Дать определение понятию «магнитная проницаемость». Рассмотреть элементарная теорию диамагнетизма. Рассмотреть элементарную теорию парамагнетизма. Рассмотреть природу ферромагнетизма.

Типовые задания для выполнения практических

Пример. Молекула NO имеет магнитный момент $M_l = 1,8 \mu_B$. Определить удельную парамагнитную восприимчивость $\chi_{уд}$ газообразного оксида азота при нормальных условиях.

Решение. По теории Ланжевена, магнитная восприимчивость парамагнитного вещества определяется выражением

$$\chi = \mu_0 \frac{n M_l^2}{3kT} \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м); n – концентрация молекул (число молекул в единице объема); M_l – магнитный момент атома; k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура.

Удельная магнитная восприимчивость $\chi_{уд}$ связана с магнитной восприимчивостью χ соотношением

$$\chi_{уд} = \frac{\chi}{\rho}$$

Заменив в этом выражении χ согласно (1), получим

$$\chi_{уд} = \mu_0 \frac{M_l^2 n}{3kT \rho}.$$

Заметим, что концентрацию молекул и плотность газа можно выразить следующим образом:

$$n = N_A/V_m \text{ и } \rho = M/V_m$$

где N_A – постоянная Авогадро; M – молярная масса; V_m – молярный объем.

$$\text{Тогда } n/\rho = N_A/M \text{ и } \chi_{уд} = \mu_0 \frac{M_l^2 N_A}{3kTM}.$$

Произведем вычисления (учтем, что $1 \mu_B = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ и $M = 30 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$)

Задача 1. Магнитная восприимчивость χ алюминия равна $2,1 \cdot 10^{-5}$. Определить его удельную магнитную $\chi_{уд}$ и молярную χ_m восприимчивости.

Задача 2. Определить наибольшее значение величины a , при котором погрешность, вызванная заменой точного выражения функции Ланжевена приближенным $L(a) \approx a/3$, не превышает 1 %.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Сколько типов магнетиков существует? Перечислите и дайте пояснения каждому из них
2. Намагниченность – это... Запишите формулу. Дайте пояснение
3. Магнитная восприимчивость – это... Запишите формулу. Дайте пояснение
4. Магнетон Бора – это.... Дайте пояснение
5. Запишите связь магнитной индукции, напряженности магнитного поля и намагниченности.
6. Функция Ланжевена – это... Запишите формулу. Дайте пояснение
7. Как определить магнитную восприимчивость парамагнетиков? Запишите формулу. Дайте пояснение

Задача 1. Вычислить среднее число $\langle n \rangle$ магнетонов Бора, приходящихся на один атом железа, если при насыщении намагниченность железа равна 1,84 МА/м.

Задача 2. На один атом железа в незаполненной 3 d -оболочке приходится четыре неспаренных электрона. Определить теоретическое значение намагниченности $J_{нас}$ железа при насыщении.

Практическая работа 13 .ТЕОРИЯ МАКСВЕЛЛА И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Цель

Дать определение понятию «ток смещения». Рассмотреть уравнения Максвелла и границы их применимости. Рассмотреть волновое уравнение электромагнитной волны. Изучить принцип работы «дипольных излучателей». Рассмотреть излучение волн движущимися зарядами. Рассмотреть скорость распространения электромагнитных волн в средах. Дать определение понятию «вектор Пойнтинга».

Типовые задания для выполнения практических

Пример. При переходе электромагнитной волны из немагнитной среды с диэлектрической проницаемостью в вакуум длина волны увеличилась на $\Delta\lambda = 48,8$ м. Определить частоты колебаний.

Решение: При переходе электромагнитной волны из одной среды в другую частота колебаний не изменяется. Приращение длины волны

$$\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda.$$

Где $\lambda_0 = \frac{c}{\nu}$ – длина волны в вакууме, а $\lambda = \frac{c}{v}$ – длина волны в среде

Скорость распространения электромагнитных волн в среде:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

Т.к. среда немагнитная: $\mu = 1$

Из выше написанного следует, что:

$$\nu = \frac{c}{\Delta\lambda} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\epsilon}}\right) = 2 \text{ МГц}$$

Задача 1. Определить среднюю энергию, переносимую электромагнитной волной через поверхность, площадь которой $S = 1,5 \text{ см}^2$ за время $t = 5\text{с}$, если поверхностная плотность потока излучения (интенсивность излучения) I в вакууме, если средняя объемная плотность энергии электромагнитной волны равна $3 \cdot 10^{-10} \text{ Дж/м}^3$

Задача 2. В Вакууме вдоль оси x распространяется плоская электромагнитная волна. Определить амплитуду E_m напряженности электрического поля электромагнитной волны, если амплитуда B_m индукции магнитного поля равна 40 нТл

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Ток смещения – это...
2. . Запишите уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме. Дайте пояснения.
3. Запишите материальное уравнения. Дайте пояснение.
4. Запишите волновое уравнение электромагнитной волны.
5. В чем заключается принцип работы «дипольных излучателей».
6. Вектор Пойнтинга – это... Дайте пояснение

Задача 1. Амплитуда напряженности E_m электрического поля электромагнитной волны в вакууме равна 10 В/м . Определить поверхностную плотность I потока излучения

Задача 2. Определить скорость распространения электромагнитных волн в немагнитной среде с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,2$

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

ФИЗИКА

**Методические указания для обучающихся по организации и проведению
самостоятельной работы**

Направление подготовки 19.03.01 Биотехнология
Профиль: «Промышленная биотехнология»

**Ставрополь
2026**

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО
МАТЕРИАЛА, ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

ВВЕДЕНИЕ

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 студента).

Самостоятельная работа студента является важным видом учебной и научной деятельности студента. Федеральным государственным образовательным стандартом предусматривается значительный объем времени из общей трудоемкости дисциплины на самостоятельную работу. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому самостоятельная работа должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи профессионального образования – подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности.

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы студентов над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста студентов, воспитание творческой активности и инициативы.

Самостоятельная работа студента предполагает, прежде всего, его научно-исследовательскую и практическую деятельность, поскольку именно эти виды учебной работы в первую очередь готовят к самостоятельному выполнению профессиональных задач. Конечной целью самостоятельной работы является организация самостоятельной познавательной деятельности, формирование умения самостоятельно анализировать информацию, выделять главное и второстепенное.

Основными формами самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физика» являются:

- подготовка к практическому занятию
- самостоятельное изучение литературы;
- подготовка к экзамену.

Практические занятия проводятся с целью закрепления усвоенной информации, приобретения навыков ее применения при решении практических задач в соответствующей предметной области.. В результате изучения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции (в соответствии с образовательным стандартом):

ИД-1_{ОПК-1} Понимает фундаментальные законы природы и основные физические математические законы

ИД-2_{ОПК-1} Применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

ИД-3_{ОПК-1} Использует знания физики и математики при решении практических задач

ИД-1_{ОПК-2} Находит и критически анализирует информацию, необходимую для решения поставленной задачи.

ИД-2_{ОПК-2} Рассматривает возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки

ИД-3_{ОПК-2} Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение.

ИД-4_{ОПК-2} Определяет ожидаемые результаты решения выделенных задач.

ИД-5_{ОПК-2} Демонстрирует знание методов и средств проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации

ИД-6_{ОПК-2} Выбирает способы и средства измерений

ИД-7_{ОПК-2} Применяет способы обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений.

ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Время сдачи
2 семестр			
Подготовка к теме: Кинематика и динамика материальной точки	Собеседование Решение типовых задач	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий	Практическое занятие № 1
Подготовка к теме: Законы сохранения	Собеседование Решение типовых задач	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий	Практическое занятие № 2
Подготовка к теме: Неинерциальные системы отсчета.	Собеседование	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Механика твердого тела	Собеседование Подготовленный отчет для лабораторной работе	Вопросы для собеседования Список лабораторных работ	Практическое занятие № 18 Лабораторное занятие №1
Подготовка к теме: Релятивистская механика	Собеседование	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Гравитация	Собеседование	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Колебательное движение	Собеседование Решение типовых задач	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий	Практическое занятие № 18 Практическое занятие № 3
Подготовка к теме: Гидродинамика	Подготовленный отчет для лабораторной работе	Список лабораторных работ	Лабораторное занятие № 2
Подготовка к теме: Предварительные сведения	Собеседование Решение типовых задач	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий	Практическое занятие № 4 Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Статистическая физика	Собеседование	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Термодинамика	Собеседование Решение типовых задач	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий	Практическое занятие № 5 Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Кристаллическое состояние	Собеседование Подготовленный отчет для лабораторной	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18 Лабораторное занятие №3

Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Время сдачи
2 семестр			
	работе	Список лабораторных работ	
Подготовка к теме: Жидкое состояние	Собеседование	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Фазовые равновесия и превращения	Собеседование	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Физическая кинетика	Собеседование	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Электрическое поле в вакууме	Собеседование Решение типовых задач Подготовленный отчет для лабораторной работе	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий Список лабораторных работ	Практическое занятие № 18 Практическое занятие № 6 Лабораторное занятие № 4
Подготовка к теме: Электрическое поле в диэлектриках	Собеседование Решение типовых задач	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий	Практическое занятие № 18 Практическое занятие № 6
Подготовка к теме: Проводники в электрическом поле	Собеседование	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Энергия электрического поля	Собеседование	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Постоянный электрический ток	Собеседование Решение типовых задач	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий	Практическое занятие № 7 Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Магнитное поле в вакууме	Собеседование Решение типовых задач	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий	Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Магнитное поле в веществе	Собеседование Подготовленный отчет для лабораторной работе	Вопросы для собеседования Список лабораторных работ	Практическое занятие № 18 Лабораторное занятие №5
Подготовка к теме: Электромагнитная индукция	Собеседование Решение типовых задач	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий	Практическое занятие № 8 Практическое занятие № 18

Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Время сдачи
2 семестр			
Подготовка к теме: Уравнения Максвелла	Собеседование	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях	Собеседование Подготовленный отчет для лабораторной работе	Вопросы для собеседования Список лабораторных работ	Практическое занятие № 18 Лабораторное занятие № 6
Подготовка к теме: Классическая теория электропроводности металлов	Собеседование Подготовленный отчет для лабораторной работе	Вопросы для собеседования Список лабораторных работ	Практическое занятие № 18 Лабораторное занятие № 7
Подготовка к теме: Электрический ток в газах	Собеседование	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Электрические колебания	Подготовленный отчет для лабораторной работе	Список лабораторных работ	Практическое занятие № 18 Лабораторное занятие № 8
3 семестр			
Подготовка к теме: Геометрическая оптика	Собеседование Решение типовых задач Подготовленный отчет для лабораторной работе	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий Список лабораторных работ	Практическое занятие № 18 Практическое занятие № 1 Лабораторная работа № 1
Подготовка к теме: Фотометрия	Собеседование Решение типовых задач	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий	Практическое занятие № 18 Практическое занятие № 2
Подготовка к теме: Интерференция света	Собеседование Решение типовых задач Подготовленный отчет для лабораторной работе	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий Список лабораторных работ	Практическое занятие № 18 Практическое занятие № 3 Лабораторная работа № 2
Подготовка к теме: Дифракция света	Собеседование Решение типовых задач Подготовленный отчет для лабораторной работе	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий Список лабораторных работ	Практическое занятие № 18 Практическое занятие № 4 Лабораторная работа № 3

Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Время сдачи
2 семестр			
Подготовка к теме: Поляризация света	Собеседование Подготовленный отчет для лабораторной работе	Вопросы для собеседования Список лабораторных работ	Практическое занятие № 18 Лабораторная работа № 4
Подготовка к теме: Оптика движущихся сред	Собеседование Решение типовых задач	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий	Практическое занятие № 18 Практическое занятие № 4
Подготовка к теме: Взаимодействие электромагнитных волн с веществом	Собеседование	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Тепловое излучение	Собеседование Решение типовых задач Подготовленный отчет для лабораторной работе	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий Список лабораторных работ	Практическое занятие № 18 Практическое занятие № 6 Лабораторная работа № 5
Подготовка к теме: Боровская теория атома	Собеседование Решение типовых задач	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий	
Подготовка к теме: Квантовомеханическая теория водородоподобного атома	Собеседование Решение типовых задач Подготовленный отчет для лабораторной работе	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий Список лабораторных работ	Практическое занятие № 18 Практическое занятие № 7 Лабораторная работа № 6
Подготовка к теме: Многоэлектронные атомы	Собеседование Подготовленный отчет для лабораторной работе	Вопросы для собеседования Список лабораторных работ	Практическое занятие № 18 Лабораторная работа № 7
Подготовка к теме: Молекулы и кристаллы	Собеседование	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18
Подготовка к теме: Атомное ядро	Собеседование Решение типовых задач Подготовленный отчет для лабораторной работе	Вопросы для собеседования Примеры типовых заданий Список лабораторных работ	Практическое занятие № 18 Практическое занятие № 8 Лабораторная работа № 8
Подготовка к теме: Элементарные частицы	Собеседование Решение типовых	Вопросы для собеседования	Практическое занятие № 18

Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Время сдачи
2 семестр			
	задач Подготовленный отчет для лабораторной работе	Примеры типовых заданий Список лабораторных работ	Практическое занятие № 9 Лабораторная работа № 9
Подготовка к экзамену	Собеседование	Вопросы для подготовки к экзамену	

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА, ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ И ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

При подготовке к практическим занятиям необходимо:

- повторить материал соответствующих лекций;
- внимательно изучить описание практического занятия, изложенное в практикуме;
- ответить на вопросы по содержанию практического или лабораторного занятия, задаваемые преподавателем на предварительном опросе перед выполнением заданий.

В результате выполнения заданий достигаются следующие результаты обучения:

- развитие мышления и творческих способностей студента,
- приобретение и закрепление навыков самостоятельной работы,
- приобретение и закрепление навыков оформления и составления письменных заданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Перечень основной литературы:

1. Савельев И.В. Курс общей физики: [учеб. пособие]: в 3-х томах. /И.В. Савельев; под общ. ред. И.В. Савельева, Том 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. М.: Лань 2022. – 472с. ISBN 978-5-8114-9890-1
2. Савельев И.В. Курс общей физики: [учеб. пособие]: в 3-х томах. /И.В. Савельев; под общ. ред. И.В. Савельева, Том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. М.: Лань 2022. – 500с. ISBN 978-5-8114-8926-8
3. Савельев И.В. Курс общей физики: [учеб. пособие]: в 3-х томах. /И.В. Савельев; под общ. ред. И.В. Савельева, Том 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц Санкт-Петербург.: Лань СПб 2019. – 450с. ISBN 978-5-8114-4598-1

1.2. Перечень дополнительной литературы:

1. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности: Учеб. Для студентов вузов/ А.Н. Матвеев. – 3-ие изд.- М.: ООО «Издательский дом «Оникс 21 век»: ООО Издательство «Мир и Образование», 2003. – 432с.: ISBN

5-329-00742-9 (ООО «Издательский дом «Оникс 21 век»); ISBN 5-94666-074-8
ООО Издательство «Мир и Образование»

2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учеб. Для студентов вузов/ А.Н. Матвеев.,- М.: Высшая школа, 1981.-400 с.,

3. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм: Учеб. Для студентов вузов/ А.Н. Матвеев.,- М.: Высшая школа, 1983.-463 с.,

4. Матвеев А.Н. Оптика: Учеб. Для студентов вузов/ А.Н. Матвеев.,- М.: Высшая школа, 1985.-351 с.,

5. Матвеев А.Н. Атомная физика: Учеб. Для студентов вузов/ А.Н. Матвеев.,- М.: Высшая школа, 1989.-439 с., ISBN 5-06-000056-7

6. Калашников С.Г. Электричество: Учебн. Пособие. – 6-е изд. Стереот. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 624 с. – ISBN 5-9221-0312-1

2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации к лабораторным занятиям по дисциплине "Физика"

2. Методические рекомендации к самостоятельной работе по дисциплине "Физика".

3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1 <http://demo.home.nov.ru> – Мир физики: физический эксперимент;

2 <http://experiment.edu.ru> – естественнонаучные эксперименты - Физика: Коллекция Российского общеобразовательного портала;

3 <http://fizkaf.narod.ru> – кафедра и лаборатория физики Московского института открытого образования;

4 <http://genphys.phys.msu.ru> – сайт кафедры общей физики физфака МГУ.

5 <http://www.edu.delfa.net> – кабинет физики Санкт-Петербургской академии постдипломного педагогического образования;

6 <http://www.phys.spb.ru> – сайт физического факультета СПбГУ;

7 <http://genphys.phys.msu.ru/rus/edu/mech.php>

8 <https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-01-classical-mechanics-fall-2016/>