



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Физика»

**А. И. Кравченко, П. Д. Петрашенко, П. А. Хило**

## **ФИЗИКА**

### **ПРАКТИКУМ**

**по одноименному курсу для студентов  
всех специальностей дневной формы обучения  
В трех частях**

#### **Часть 1**

**Механика и молекулярная физика**

Гомель 2010

УДК 531+539.19(075.8)  
ББК 22.2+22.36я73  
К78

*Рекомендовано научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 9 от 01.06.2010 г.)*

Рецензент: канд. физ.-мат. наук, доц. каф. «Высшая математика» ГГТУ им. П. О. Сухого  
*В. И. Лашкевич*

**Кравченко, А. И.**

К78

Физика : практикум по одноим. курсу для студентов всех специальностей днев. формы обучения : в 3 ч. Ч. 1. Механика и молекулярная физика / А. И. Кравченко, П. Д. Петрашенко, П. А. Хило. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 40 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит контрольные вопросы и задачи по темам лабораторных работ по разделу «Механика и молекулярная физика», приложение и список литературы.

Для студентов всех специальностей дневной формы обучения.

**УДК 531+539.19(075.8)  
ББК 22.2+22.36я73**

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2010

## Предисловие

Предлагаемый практикум составлен в соответствии с программой курса общей физики для технических университетов, согласно рабочей программы ГГТУ им. П.О. Сухого.

Сборник рассчитан на повышение активизации студентов и их самостоятельную работу при подготовке к лабораторным работам.

Самостоятельная работа студентов при подготовке к лабораторным занятиям может быть разделена на четыре этапа.

- теоретическая подготовка;
- знакомство с конструкцией установки и определение ее погрешности;
- составление плана работы и подготовка таблиц для записи результатов наблюдений;
- составление отчёта о выполнении лабораторной работы.

На первом этапе студенты изучают по рекомендуемой литературе сущность тех явлений, которые будут исследоваться экспериментально, а также теоретические обоснования методов измерений и исследований.

Для закрепления теоретического материала предлагается решить самостоятельно задачи к каждой лабораторной работе.

Решение задач обсуждаются с преподавателем во время консультации или в начале занятия.

На втором этапе в лаборатории изучается конструкция предложенной установки, ее характеристики по прилагаемой технической документации, выявляются факторы, влияющие на точность измерений, приближенно определяется относительная погрешность установки и на этой основе выбирается целесообразная точность измерений отдельных физических величин.

Завершением подготовки является составление плана эксперимента. План представляет собой по существу анализ поставленной экспериментальной задачи, т.е. расчленение ее на ряд отдельных этапов. При составлении плана выясняется, какие величины измеряются прямо и какие - косвенно, вычерчиваются таблицы для записи результатов наблюдений, а также результатов и их погрешностей.

На занятиях весь этот материал предьявляется преподавателю, который путем собеседования выявляет степень подготовленности студента к выполнению работы и решает вопрос о допуске к ней.

Получив допуск, студент проводит эксперимент, выполняет необходимые вычисления, строит графики, анализирует их, делает необходимые выводы и предъявляет результаты преподавателю.

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать:

1. название и цель работы;
2. перечень приборов и принадлежностей с указанием их технических характеристик;
3. необходимые расчетные формулы для искомых величин и погрешностей с пояснением обозначений;
4. план эксперимента и предварительная оценка погрешности измерений;
5. ход выполнения работы с расчленением на отдельные упражнения, где приводятся таблицы с результатами наблюдений и вычислений, графики, а также необходимые расчеты;
6. окончательные результаты измерений и выводы;
7. замечания по работе установки и предложения по ее совершенствованию, если они возникли в процессе выполнения работы.

## **Лабораторная работа №1-1**

### **Определение плотности тел правильной геометрической формы.**

#### **Контрольные вопросы.**

1. Предмет механики. Классическая механика. Границы применимости классической механики.
2. Классификация сил в механике, силы упругости, силы трения, силы тяжести и вес, гравитационные силы.
3. На какие виды делятся погрешности измерений?
4. В чем основные различия между прямыми и косвенными измерениями?
5. От чего зависит значение коэффициента Стьюдента?
6. Что такое систематическая погрешность?
7. Что определяет доверительный интервал?
8. Как рассчитываются погрешности прямых измерений?
9. Можно ли уменьшить погрешности прямых измерений?
10. Изложите схему обработки косвенных измерений.
11. Как обрабатываются косвенные измерения, если прямые измерения каждый раз проводились не в точности в тех же самых условиях, что и в предыдущий раз?

#### **Задачи для самостоятельного решения**

1. Даны результаты измерений:  $(832,1 \pm 0,5)$  мм;  $(0,21 \pm 0,01)$  мм;  $(1024,04 \pm 0,31)$  мм. Укажите соответствующие им доверительные интервалы. Сравните эти измерения по точности.
2. Случайными или систематическими являются погрешности, возникающие в следующих случаях: а) при расчете скорости движения тела по наклонной плоскости вследствие пренебрежения трением; б) при смещении шкалы манометра из-за потери одного из крепежных винтов; и) при измерении толщины бруска в разных местах; г) при измерении объема мензуркой из-за использования горячей воды; д) при определении массы дробинки путем взвешивания  $n$  отдельных дробинок?
3. Показания электроизмерительного прибора снимаются с учетом влияния магнитного поля Земли в одном положении шкалы и в другом - с поворотом ее на  $180^\circ$  в рабочей плоскости. Чему будет равно значение измеряемой величины? Классифицируйте погрешность, обусловленную влиянием магнитного поля Земли, и укажите метод исключения погрешности.

4. Для устранения погрешности, обусловленной разноплечностью двух чашечных весов, вначале взвешивают груз, помещая его на одну чашечку весов, а гири на другую. Потом груз и гири меняют местами и вновь добиваются равновесия добавлением (убавлением) гирь. Чему будет равно значение измеряемой массы? Укажите метод исключения погрешности.

5. Как определить, какая погрешность больше: линейки или объекта принятой модели при измерении объема тела, принятого по форме за прямоугольный параллелепипед. Классифицируйте эти погрешности.

6. При измерении времени 10 колебаний маятника получены результаты: 23,8; 23,6; 23,2; 23,6; 32,4; 28,5; 32,4 с. Имеются ли в этой серии измерений промахи?

7. Студент, проверяя формулу для периода колебаний пружинного маятника, должен убедиться в справедливости соотношения  $(t_1 / t_2)^2 = (m_1 / m_2)$ , где  $t_1$  и  $t_2$  - время  $n$  полных колебаний маятника с массами  $m_1$  и  $m_2$  соответственно. Выполнив измерения, он получил  $t_1 = (6,3 \pm 0,3)$  с,  $t_2 = (8,3 \pm 0,4)$  с,  $m_1 = (40 \pm 2) \cdot 10^{-2}$  кг,  $m_2 = (80 \pm 4) \cdot 10^{-2}$  кг. Выясните, используя эти результаты, справедливо ли приведенное соотношение.

8. Определите верные, неверные и сомнительные цифры в следующих результатах: а) период колебания маятника  $T = (0,821 \pm 0,011)$  с; б) фокусное расстояние линзы  $F = (0,41 \pm 0,2)$  см; в) удельная теплоемкость воды  $c = (4,190 \pm 0,001) \cdot 10^{-3}$  Дж/(кг · К); г) при стрельбе в мишень стрелок набрал 35 очка из 100 возможных.

9. Укажите среди приведенных ниже чисел точные и приближенные: а) футбольный матч закончился со счетом 1:3; б) показания на индикаторе микрокалькулятора 138,50; в)  $\pi = 3,14$ ; г) напряжение в городской электросети  $U = 220$  В.

10. Выполните действия, считая все числа приближенными:

$$\text{а) } b = \frac{(1,38^3 - 0,1531) \cdot 0,856}{3,144 \cdot 1,121}$$

$$\text{б) } c = \frac{\sqrt[3]{(0,64^{-1} \cdot 5,04^{-2} + 3,54^3)} \cdot 3,2 \cdot 100}{1,31 - 0,013565}$$

## Лабораторная работа №1-2

### Изучение законов равнопеременного движения.

#### Контрольные вопросы.

1. Кинематическое описание движения: радиус-вектор, скорость, вычисление пути проходимого частицей по функции скорости.
2. Ускорение, нормальное и тангенциальное ускорение. Полное ускорение.
3. Кинематические уравнения поступательного движения
4. Вектор угла поворота.
5. Угловая скорость и угловое ускорение.
6. Связь между величинами, характеризующими поступательное и вращательное движение.
7. Кинематические уравнения вращательного движения.

#### Задачи для самостоятельного решения.

1. Падающее тело в некоторой точке имело скорость 19,6 м/с, а в другой точке - 39,2 м/с. Определить расстояние между этими точками и время прохождения его телом.
2. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 98 м/с. На какой высоте кинетическая энергия будет равна потенциальной?
3. Мяч подбрасывают вертикально вверх и ловят через 2 с. Какова начальная скорость мяча? На какую высоту взлетает мяч?
4. С какой начальной скоростью надо бросить мяч с высоты  $h$ , чтобы он подпрыгнул на высоту 2 м? Потерями механической энергии при ударе и сопротивлением воздуха пренебречь.
5. Твердое тело вращается с угловой скоростью  $\vec{\omega} = At\vec{i} + Bt^2\vec{j}$ , где  $A = 0,5 \text{ с}^{-3}$ ,  $B = 0,06 \text{ с}^{-3}$ . Найти для момента времени  $t = 10 \text{ с}$  модули угловой скорости и углового ускорения; угол между этими векторами.
6. Материальная точка движется по окружности радиусом  $R = 2,2 \text{ м}$  согласно уравнению  $x = 8t - 0,2t^3$ . Найти модуль скорости, тангенциальное, нормальное и полное ускорение в момент времени  $t = 3,2 \text{ с}$ .
7. Точка движется по кривой с постоянным тангенциальным ускорением  $a_\tau = 0,7 \text{ м/с}^2$ . Определить полное ускорение  $a$  точки на участке кривой с радиусом кривизны  $R = 5 \text{ м}$ , если точка движется на этом участке со скоростью 3 м/с.

8. На цилиндр, который может вращаться около горизонтальной оси, намотана нить. К концу нити привязали грузик и предоставили ему возможность опускаться. Двигаясь равноускоренно, грузик за время  $t = 3$  с опустился на  $H = 2$  м. Определить угловое ускорение цилиндра, если его радиус  $R = 5$  см.

9. Колесо автомашины вращается равноускоренно. Сделав  $N = 60$  полных оборотов, оно изменило частоту вращения от  $\nu_1 = 5$  с<sup>-1</sup> до  $\nu_2 = 7$  с<sup>-1</sup>. Определить угловое ускорение  $\varepsilon$  колеса.

10. Уравнение вращения диска радиуса  $R = 0,2$  м имеет вид  $\varphi = 3 - t + 0,1t^3$ . Определить тангенциальное, нормальное и полное ускорения точек на окружности диска для момента времени  $t = 2$  с.



**Лабораторная работа №1-3**  
**Изучение законов сохранения энергии и импульса на примере скорости полёта пули.**

**Контрольные вопросы.**

1. Законы Ньютона.
2. Импульс. Импульс силы.
3. Закон сохранения импульса для системы материальных точек и его связь с однородностью пространства. Закон движения центра масс.
4. Реактивное движение. Уравнение Мещерского и Циолковского.
5. Неупругий удар, абсолютно неупругий.

**Задачи для самостоятельного решения.**

1. Тело скользит вниз по наклонной плоскости, угол наклона которой  $30^\circ$ . В точке  $B$  скорость тела  $0,14$  м/с, а в точке  $C$ , которая находится ниже точки  $B$ , скорость тела  $2,57$  м/с. Коэффициент трения тела о плоскость  $0,1$ . Найти промежуток времени движения тела из точки  $B$  в точку  $C$ .
2. Грузик, привязанный к нити длиной  $1$  м, описывает окружность в горизонтальной плоскости. Определить период обращения, если нить отклонена на угол  $60^\circ$  от вертикали.
3. Автомобиль массой  $3$  т движется со скоростью  $v = 8$  м/с по выпуклому мосту. Определить силу  $\vec{F}$  давления автомобиля на мост в его верхней части, если радиус  $R$  кривизны моста равен  $5$  м.
4. На столе стоит тележка массой  $m_1 = 4$  кг. К тележке привязан один конец шнура, перекинутого через блок. С каким ускорением  $\vec{a}$  будет двигаться тележка, если к другому концу шнура привязать гирию массой  $m_2 = 2$  кг?
5. К краю стола прикреплен блок. Через блок перекинута невесомая и нерастяжимая нить, к концам которой прикреплены грузы. Один груз движется по поверхности стола, а другой - вдоль вертикали вниз. Определить коэффициент трения  $\mu$  между поверхностями груза и стола, если массы каждого груза одинаковы и грузы движутся с ускорением  $|\vec{a}| = 5,6$  м/с<sup>2</sup>. Проскальзыванием нити по блоку, массой блока и силой трения, действующей на блок, пренебречь.

6. При горизонтальном полете со скоростью  $|\vec{v}| = 250 \text{ м/с}$  снаряд массой  $m = 8 \text{ кг}$  разорвался на две части. Большая часть массой  $m_1 = 6 \text{ кг}$  получила скорость  $|\vec{v}_1| = 400 \text{ м/с}$  под углом  $60^\circ$  к горизонту в направлении полета снаряда. Определить модуль и направление скорости  $\vec{v}_2$  меньшей части снаряда.
7. Снаряд, летевший со скоростью  $|\vec{v}| = 500 \text{ м/с}$ , в верхней точке траектории разорвался на два осколка. Меньший осколок, масса которого составляет 30% от массы снаряда, полетел под углом  $30^\circ$  к горизонту в противоположном направлении со скоростью  $|\vec{v}_1| = 200 \text{ м/с}$ . Определить скорость большего осколка.
8. С тележки, свободно движущейся по горизонтальному пути со скоростью  $|\vec{v}| = 3 \text{ м/с}$ , в сторону, противоположную движению тележки, прыгает человек, после чего скорость тележки стала равной  $|\vec{v}_1| = 4 \text{ м/с}$ . Определить горизонтальную составляющую скорости  $v_{2x}$  человека при прыжке относительно тележки. Масса тележки  $m = 210 \text{ кг}$ , масса человека  $m_1 = 70 \text{ кг}$ .
9. Шар массой  $m = 2 \text{ кг}$  движется со скоростью  $|\vec{v}| = 3 \text{ м/с}$  и сталкивается с покоящимся шаром массой  $m_1 = 6 \text{ кг}$ . Какая работа будет совершена при деформации шаров? Удар считать абсолютно неупругим, прямым, центральным.
10. Шар массой  $m = 5 \text{ кг}$  движется со скоростью  $|\vec{v}| = 6 \text{ м/с}$  и сталкивается с шаром массой  $m_1 = 7 \text{ кг}$ , который движется ему навстречу со скоростью  $|\vec{v}_1| = 2 \text{ м/с}$ . Определить скорости  $\vec{v}$  и  $\vec{v}'$  шаров после удара. Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.

## Лабораторная работа №1-4

### Изучение законов сохранения импульса и энергии при ударе.

#### Контрольные вопросы.

1. Энергия, работа. Работа силы. Мощность.
2. Консервативные и неконсервативные силы.
3. Кинетическая энергия и работа.
4. Потенциальная энергия в поле консервативных сил, связь между силой и потенциальной энергией.
5. Закон сохранения энергии для системы частиц.
6. Упругий удар, абсолютно упругий центральный и нецентральный удар.

#### Задачи для самостоятельного решения.

1. Шарик массой 0,1 кг упал с высоты 2,5 м на горизонтальную плиту, масса которой много больше массы шарика, и отскочил от нее вверх. Считая удар абсолютно упругим, определить импульс силы, полученный плитой.
2. На покоящийся шар налетает другой шар такой же массы, скорость и величина которого равна 6 м/с. В результате упругого столкновения шар изменил направление своего движения на угол  $30^\circ$ . Найти скорости шаров после удара и угол между вектором скорости второго шара и первоначальным направлением движения первого шара.
3. Во сколько раз уменьшится скорость атома гелия после упругого и центрального столкновения с неподвижным атомом водорода, масса которого в 4 раза, меньше массы атома гелия?
4. Конькобежец, стоя на льду, бросил вперед гирию массой 5 кг и вследствие отдачи покатился назад со скоростью 1 м/с. Масса конькобежца 60 кг. Определить работу, совершенную конькобежцем при бросании гири.
5. Под действием постоянной силы  $\vec{F}$  вагонетка прошла путь  $S = 10$  м и приобрела скорость  $|\vec{v}| = 4$  м/с. Определить работу силы  $A$ , если масса  $m$  вагонетки равна 500 кг и коэффициент трения  $\mu = 0,05$ .
6. Найти работу  $A$  подъема груза по наклонной плоскости длиной  $L = 3$  м, если масса груза  $m = 70$  кг, угол наклона  $\alpha = 30^\circ$ , коэффициент трения  $\mu = 0,01$  и груз движется с ускорением  $a = 2$  м/с<sup>2</sup>.

7. Два шара массами  $m_1 = 0,20$  кг и  $m_2 = 0,80$  кг, подвешенные на двух параллельных нитях длиной 2,0 м, касаются друг друга. Меньший шар отводится на  $90^\circ$  от первоначального положения и отпускается. 1) Найти скорости шаров после столкновения, считая удар абсолютно упругим. 2) Какова скорость шаров после столкновения, если удар абсолютно неупругий? Какая часть энергии пойдет на нагревание шаров?
8. Шар массой  $m = 5$  кг движется со скоростью  $v = 6$  м/с и сталкивается с шаром массой  $m_1 = 7$  кг, который движется ему навстречу со скоростью  $v_1 = 2$  м/с. Определить скорость  $v'$  и  $v'_1$  шаров после удара. Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.
9. Наклонная плоскость, образующая угол  $\alpha = 30^\circ$  с плоскостью горизонта, имеет длину 1,5 м. Тело, двигаясь равноускоренно, соскользнуло с той плоскости за время  $t = 1$  с. Определить коэффициент трения  $\mu$  тела о плоскость.
10. Тело, падая с некоторой высоты, в момент соприкосновения с землей обладает импульсом  $|\vec{p}| = 100$  кг·м/с и кинетической энергией  $E_k = 500$  Дж. Определить с какой высоты падало тело и его массу.

## Лабораторная работа №1-5

### Изучение зависимости момента инерции точечных тел от их расстояния до оси вращения с помощью крестообразного маятника Обербека.

#### Контрольные вопросы.

1. Момент силы, плечо силы. Условие равновесия тела имеющего ось вращения.
2. Основной закон вращательного движения.
3. Момент инерции материальной точки, момент инерции тела, момент инерции полого и сплошного цилиндра, момент инерции шара.
4. Теорема Гюйгенса — Штейнера.
5. Кинетическая энергия тела совершающего поступательное и вращательное движение.
6. Момент количества движения тела. Закон сохранения момента количества движения и его связь с изотропностью пространства. Основное уравнение вращательного движения. Работа по вращению тела.

#### Задачи для самостоятельного решения.

1. На обод маховика диаметром  $D = 60$  см намотан шнур, к концу которого привязан груз массой  $m = 2$  кг. Определить момент инерции  $J$  маховика, если он, вращаясь равноускоренно под действием силы тяжести груза, за время  $t = 3$  с приобрел угловую скорость  $\omega = 9$  рад/с.
2. Нить с привязанными к ее концам грузами массами  $m_1 = 50$  г и  $m_2 = 60$  г перекинута через блок диаметром  $D = 4$  см. Определить момент инерции  $J$  блока, если под действием силы тяжести, действующей на груз, он получил угловое ускорение  $\varepsilon = 1,5$  рад/с<sup>2</sup>. Трением и проскальзыванием нити по блоку пренебречь.
3. Стержень вращается вокруг оси, проходящей через его середину, согласно уравнению  $\varphi = At + Bt^3$ , где  $A = 2$  рад/с,  $B = 0,2$  рад/с<sup>3</sup>. Определить вращающий момент  $|\vec{M}|$ , действующий на стержень через время  $t = 2$  с после начала вращения, если момент инерции стержня  $J = 0,048$  кг·м<sup>2</sup>.
4. По горизонтальной плоскости катится диск радиусом  $0,5$  м со скоростью  $v = 8$  м/с. Определить коэффициент сопротивления, если

диск, будучи предоставленным самому себе, остановился, пройдя путь  $S = 18$  м.

5. Определить момент силы  $|\vec{M}|$ , который необходимо приложить к блоку, вращающемуся с частотой  $n = 12 \text{ с}^{-1}$ , чтобы он остановился в течение времени  $\Delta t = 8$  с. Диаметр блока  $D = 30$  см. Массу блока  $m = 6$  кг считать равномерно распределенной.

6. К концам легкой и нерастяжимой нити, перекинутой через блок, подвешены грузы массами  $m_1 = 0,2$  кг и  $m_2 = 0,3$  кг. Во сколько раз отличаются силы, действующие на нить по обе стороны от блока, если масса блока  $m = 0,4$  кг, а его ось движется вертикально вверх с ускорением  $|\vec{a}| = 2 \text{ м/с}^2$ ? Силами трения и проскальзывания нити по блоку пренебречь.

7. На скамье Жуковского сидит человек и держит на вытянутых руках гири массой  $m = 5$  кг каждая. Расстояние от каждой гири до оси скамьи  $l_1 = 70$  см. Скамья вращается с частотой  $n_1 = 1 \text{ с}^{-1}$ . Как изменится частота вращения скамьи и какую работу  $A$  произведет человек, если он сведёт руки так, что расстояние от каждой гири до оси уменьшится до  $l_2 = 20$  см? Момент инерции человека и скамьи (вместе) относительно оси  $J = 2,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

8. Цилиндрический однородный вал массой  $80$  кг и радиусом  $4 \cdot 10^{-2}$  м вращается с частотой  $9$  об/с. В момент времени  $t = 0$  к поверхности вала приложили тормозную колодку с силой  $30$  Н. Коэффициент трения колодки о вал  $0,31$ . Найти время, за которое вал остановится.

9. На неподвижной скамье Жуковского стоит человек и ловит мяч массой  $0,25$  кг, летящий со скоростью  $36 \text{ м/с}$  в горизонтальном направлении на расстоянии  $0,7$  м от вертикальной оси вращения скамьи. После этого скамья стала поворачиваться с угловой скоростью  $0,9 \text{ с}^{-1}$ . Найти момент инерции человека и скамьи.

10. Диск массой  $m = 1$  кг и диаметром  $d = 0,6$  м вращается вокруг оси, проходящей через центр перпендикулярно его плоскости, делая  $\nu = 30$  об/с. Какую работу надо совершить, чтобы остановить диск?

## Лабораторная работа №1-6 Изучение процессии гироскопа.

### Контрольные вопросы.

1. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета. Силы инерции.
2. Силы инерции действующей на тело покоящееся и движущееся во вращающейся системе отсчета.
3. Сила Кориолиса.
4. Движение тела в центральном поле. Законы Кеплера.
5. Постулаты специальной теории относительности. Преобразование Лоренца.

### Задачи для самостоятельного решения.

1. Ротор некоторого агрегата снабжен дисковым тормозом. Этот тормоз состоит из двух дисков радиуса  $R = 150$  мм, один из которых закреплен на конце оси ротора, а другой, лишенный возможности вращаться, может прижиматься к первому с силой  $|\vec{F}| = 100$  Н. Тормоз включают в момент, когда ротор вращается по инерции со скоростью  $\omega = 50,0$  рад/с (трением в подшипниках можно пренебречь). Момент инерции ротора вместе с укрепленным на нем диском тормоза  $I = 0,628$  кг·м<sup>2</sup>. Коэффициент трения между поверхностями дисков не зависит от их относительной скорости и равен  $\mu = 0,250$ . Считая, что сила равномерно распределяется по поверхности дисков, определить, сколько оборотов  $N$  успеет сделать ротор до остановки.
2. Гироскоп в виде однородного диска радиуса  $R = 8,00$  см вращается вокруг своей оси с угловой скоростью  $\omega = 3,0 \cdot 10^2$  рад/с. Угловая скорость прецессии гироскопа  $\omega' = 1,0$  рад/с. Определить расстояние  $l$  от точки опоры до центра масс гироскопа. Моментом инерции оси гироскопа пренебречь.
3. Гироскоп массой  $m = 1,0$  кг, имеющий момент инерции  $J = 4,9 \cdot 10^{-3}$  кг·м<sup>2</sup>, вращается с угловой скоростью  $\omega = 100,0$  рад/с. Расстояние от точки опоры до центра масс  $l = 5,0$  см. Угол между вертикалью и осью гироскопа  $\alpha = 30^\circ$ . Найти:
  - а) модуль угловой скорости прецессии  $\omega'$ ;
  - б) модуль углового ускорения гироскопа  $\beta$ .

4. Поместив начало координат в точку опоры гироскопа и направив ось  $z$  вверх по вертикали,

а) найти угловое ускорение  $\beta$  гироскопа из предыдущей задачи; считать, что в начальный момент ось гироскопа находилась в плоскости  $x, z$ ;

б) вычислив скалярное произведение  $\vec{\omega} \cdot \vec{\beta}$  определить, как направлен вектор  $\vec{\beta}$ .

5. Гироскоп, вращающийся вокруг оси симметрии с угловой скоростью  $|\vec{\omega}| = 100,0$  рад/с, прецессирует в поле земного тяготения с угловой скоростью  $|\vec{\omega}'| = 1,0$  рад/с. Угол между вертикалью и осью гироскопа  $\alpha = 30^\circ$ . Определить угол  $\varphi$  между осью симметрии и направлением угловой скорости гироскопа  $\vec{\omega}$ . Решить задачу методом последовательных приближений, положив  $\varphi$  в нулевом приближении равным нулю.

6. Расположенный горизонтально однородный круглый цилиндр массой  $m = 10,0$  кг вращается без трения вокруг своей оси под действием груза массы  $m_1 = 1,0$  кг, прикрепленного к легкой нерастяжимой нити, намотанной на цилиндр. Найти кинетическую энергию  $T$  системы спустя  $t = 3,53$  с после начала движения.

7. Однородный цилиндр массой  $m$  и радиуса  $R$  вращается вокруг своей оси. Угловая скорость цилиндра изменяется за время  $t$  от значения  $\omega_1$  до значения  $\omega_2$ . Какую среднюю мощность  $\langle P \rangle$  развивают силы, действующие на цилиндр?

8. Диск массой  $m$  и радиуса  $R$  первоначально вращается вокруг своей оси с угловой скоростью  $\omega$ . Под действием внешних сил диск останавливается. Чему равна работа  $A$  внешних сил?

9. Расположенный горизонтально однородный цилиндр радиуса  $R$  может вращаться вокруг оси, совпадающей с его геометрической осью. Трение в оси создает не зависящий от скорости вращения момент  $|\vec{M}|$ . К цилиндру прикреплена точечная масса  $m_1$ . Цилиндр устанавливают так, чтобы масса оказалась на уровне оси, и отпускают без толчка. Определить, при каком значении  $m_1$ :

а) цилиндр придет во вращение;

б) сделав  $1/4$  оборота, цилиндр остановится.

10. Вытащенное из колодца ведро с водой уронили, и оно стало опускаться вниз, раскручивая ворот. Трение в подшипниках ворота



создает постоянный вращающий момент  $|\vec{M}|=0,7$  Н·м. Масса ведра с водой  $m = 13,2$  кг. Масса ворота  $m_1 = 43,1$  кг, радиус ворота  $R = 12,8$  см. Расстояние от края сруба до поверхности воды в колодце  $h = 7,0$  м. Определить:

- а) по какому закону изменяется угловое ускорение  $|\vec{\beta}|$  и угловая скорость  $|\vec{\omega}|$  вращения ворота;
- б) натяжение веревки  $|\vec{F}|$  во время опускания ведра;
- в) через сколько времени  $t$  ведро коснется воды в колодце.

## **Лабораторная работа №1-7**

### **Изучение гармонических колебаний.**

#### **Контрольные вопросы.**

1. Гармонические колебания. Математический, пружинный и физический маятник.
2. Свободные колебания. Дифференциальное уравнение свободных колебаний и его решение. Характеристики колебаний: скорость, ускорение, кинетическая, потенциальная и полная энергия системы, период колебаний.
3. Затухающее колебание. Дифференциальное уравнение и его решение. Характеристики колебаний: скорость, ускорение, кинетическая, потенциальная и полная энергия системы, период колебаний. Логарифмический декремент затухания.
3. Вынужденные колебания. Дифференциальное уравнение и его решение. Характеристики колебаний: амплитуда, фаза колебания, скорость, ускорение, кинетическая, потенциальная и полная энергия системы, период колебаний. Резонанс.

#### **Задачи для самостоятельного решения.**

1. Материальная точка совершает гармонические колебания так, что в начальный момент времени колебаний, если их период  $2\text{ с}$ , смещение  $-4\text{ см}$ , а скорость  $-10\text{ см/с}$ . Определить амплитуду и начальную фазу.
2. Математический маятник длиной  $0,4\text{ м}$  и физический маятник в виде тонкого прямого стержня длиной  $0,6\text{ м}$  синхронно колеблются около одной и той же горизонтальной оси. Определить расстояние центра тяжести стержня от оси колебаний.
3. Определить частоту  $\nu$  гармонических колебаний диска радиуса  $R = 30\text{ см}$  около горизонтальной оси, проходящей через середину радиуса диска перпендикулярно его плоскости.
4. Амплитуда затухающих колебаний маятника за  $5$  минут уменьшилась в  $2$  раза. За какое время, считая от начального момента, амплитуда уменьшится в восемь раз?
5. Тонкий обруч, повешенный на гвоздь, вбитый горизонтально в стену, колеблется в плоскости, параллельной стене. Радиус обруча  $0,3\text{ м}$ . Вычислить период колебания.
6. Амплитуда затухающих колебаний маятника за  $5$  минут уменьшилась в  $2$  раза. За какое время, считая от начального момента, амплитуда уменьшится в восемь раз?

7. Амплитуда колебаний маятника длиной 1 метр за время 10 минут уменьшилась в 2 раза. Определить логарифмический декремент затухания.
8. К пружине подвешен груз массой 1 кг. Зная, что пружина под влиянием силы 10 Н растягивается на 15 см, определить период вертикальных колебаний груза.
9. Тело массой  $1,2 \cdot 10^{-2}$  кг совершает затухающие колебания с частотой  $\omega = 3,14 \text{ с}^{-1}$ . При этом за время 60 секунд тело теряет 0,9 своей полной механической энергии. Найти коэффициент затухания и коэффициент сопротивления среды.
10. Математический маятник длиной 1 м подвешен в лифте. Каков будет период колебаний маятника, если лифт поднимается с ускорением  $1,8 \text{ м/с}^2$  и опускается с таким же ускорением?

## Лабораторная работа №1-8 Сложение колебаний.

### Контрольные вопросы.

1. Понятие волны. Волновой фронт, волновая поверхность, фазовая скорость, длина волны, волновое число, волновой вектор.
2. Уравнение плоской и сферической волны. Уравнение волны для поглощающей среды и в комплексной форме записи.
3. Волновое уравнение, вывод.
4. Энергия волны, плотность энергии, поток энергии, вектор Умова.

### Задачи для самостоятельного решения.

1. Определить скорость  $v$  распространения волны в упругой среде, если разность фаз  $\Delta\varphi$  колебаний двух точек среды, отстоящих друг от друга на  $\Delta x = 10$  см, равна  $\pi/3$ . Частота  $\nu$  колебаний равна 25 Гц.
2. Плоская звуковая волна возбуждается источником колебаний частоты  $\nu = 200$  Гц. Амплитуда  $A$  колебаний источника равна 4 мм:
  - а) написать уравнение колебаний источника  $\xi(0, t)$ , если в начальный момент смещение точек источника максимально;
  - б) найти смещение  $\xi(x, t)$  точек среды, находящихся на расстоянии  $x = 100$  см от источника, в момент  $t = 0,1$  с. Скорость  $v$  звуковой волны принять равной 300 м/с. Затуханием пренебречь.
3. Звуковые колебания, имеющие частоту  $\nu = 0,5$  кГц и амплитуду  $A = 0,25$  мм, распространяются в упругой среде. Длина волны  $\lambda = 70$  см. Найти:
  - а) скорость  $v$  распространения волн;
  - б) максимальную скорость  $v_{\max}$  частиц среды.
4. Плоская звуковая волна имеет период  $T = 3$  мс, амплитуду  $A = 0,2$  мм и длину волны  $\lambda = 1,2$  м. Для точек среды, удаленных от источника колебаний на расстояние  $x = 2$  м, найти:
  - а) смещение  $\xi(x, t)$  в момент  $t = 7$  мс;
  - б) скорость  $v$  и ускорение  $\xi$  для того же момента времени.Начальную фазу колебаний принять равной нулю.
5. Волна с периодом  $T = 1,2$  с и амплитудой колебаний  $A = 2$  см распространяется со скоростью  $v = 15$  м/с. Чему равно смещение  $\xi(x, t)$  точки, находящейся на расстоянии  $x = 45$  м от источника волн,

в тот момент, когда от начала колебаний источника прошло время  $t = 4\text{ с}$ ?

6. Две точки находятся на расстоянии  $x = 50\text{ см}$  друг от друга на прямой, вдоль которой распространяется волна со скоростью  $v = 50\text{ м/с}$ . Период  $T$  колебаний равен  $0,05\text{ с}$ . Найти разность фаз  $\Delta\phi$  колебаний в этих точках.

7. Определить разность фаз  $\Delta\phi$  колебаний источника волн, находящегося в упругой среде, и точки этой среды, отстоящей на  $x = 2\text{ м}$  от источника. Частота  $\nu$  колебаний равна  $5\text{ Гц}$ ; волны распространяются со скоростью  $v = 40\text{ м/с}$ .

8. Волна распространяется в упругой среде со скоростью  $v = 100\text{ м/с}$ . Наименьшее расстояние между точками среды, фазы колебаний которых противоположны, равно  $1\text{ м}$ . Определить частоту  $\nu$  колебаний.

9. От источника колебаний распространяется волна вдоль прямой линии. Амплитуда  $A$  колебаний равна  $10\text{ см}$ . Как велико смещение точки, удаленной от источника на  $x = 3\lambda/4$ , в момент, когда от начала колебаний прошло время  $t = 0,97\text{ с}$ ?

10. Наблюдатель, находящийся на расстоянии  $L = 800\text{ м}$  от источника звука, слышит звук, пришедший по воздуху, на  $\Delta t = 1,78\text{ с}$  позднее, чем звук, пришедший по воде. Найти скорость  $v$  звука в воде, если температура  $T$  воздуха  $350\text{ К}$ .

**Лабораторная работа №1-10**  
**Определение отношений  $C_p/C_v$  воздуха методом Клемана–**  
**Дезорма.**

**Контрольные вопросы.**

1. Молекулярно - кинетические представления о веществе. Понятие о функции состояния. Уравнение состояния идеального газа.
2. Изопроцессы.
3. Внутренняя энергия идеального газа. Теплоемкость тела, молярная и удельная теплоемкость, Уравнение Майера.
4. Первое начало термодинамики; интегральная и дифференциальная форма записи. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам.
5. Адиабатические процессы. Уравнение адиабаты.
6. Политропические процессы. Уравнение политропы.
7. Работа идеального газа при различных политропических процессах.

**Задачи для самостоятельного решения.**

1. До какой температуры охладится воздух, находящийся при температуре  $0^\circ\text{C}$ , если он расширяется адиабатически от объема  $V_1$  до объема  $V_2$ ?
2. 7,5 л кислорода адиабатически сжимаются до объема 1 л, причем в конце сжатия установилось давление 1,6 МПа. Под каким давлением находился газ до сжатия?
3. Газ расширяется адиабатически, и при этом объем его увеличивается вдвое, а температура (абсолютная) падает в 1,32 раза. Какое число степеней свободы имеют молекулы этого газа?
4. Двухатомный газ, находящийся при температуре  $27^\circ\text{C}$  и давлении 2 МПа, сжимается адиабатически от объема  $V_1$  до объема  $V_2 = 0,5V_1$ . Найти температуру и давление газа после сжатия.
5. В сосуде под поршнем находится гремучий газ, занимающий при нормальных условиях объем 0,1 л. При быстром сжатии газ воспламеняется. Найти температуру воспламенения гремучего газа, если известно, что работа сжатия равна 3600 Дж.

6. В сосуде под поршнем находится газ при нормальных условиях. Расстояние между дном сосуда и дном поршня 25 см. Когда на поршень положили груз массой 20 кг, поршень опустился на 13,4 см. Считая сжатие адиабатическим, найти для данного газа  $c_p / c_v$ . Площадь поперечного сечения поршня равна  $10 \text{ см}^2$ ; массой поршня пренебречь.

7. Идеальный газ (с  $\gamma = 1,40$ ), находившийся первоначально при температуре  $t_1 = 0^\circ \text{C}$ , подвергся сжатию, в результате чего объем газа уменьшается в 10 раз. Считая процесс сжатия адиабатическим, определить, до какой температуры  $t_2$  нагревался газ вследствие сжатия.

8. При адиабатическом расширении кислорода ( $\nu = 2$  моль), находящегося при нормальных условиях, его объем увеличился в  $n = 3$  раза. Определите:

а) изменение внутренней энергии газа;

б) работу расширения газа.

9. Двухатомный идеальный газ занимает объем  $V_1 = 1$  л и находится под давлением  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ . После адиабатного сжатия газ характеризуется объемом  $V_2$  и давлением  $p_2$ . В результате последующего изохорного процесса газ охлаждается до первоначальной температуры, а его давление  $p_3 = 0,2 \text{ МПа}$ .

Определите:

а) объем  $V_2$ ;

б) давление  $p_2$ .

Начертите графики этих процессов.

10. Идеальный двухатомный газ ( $\nu = 3$  моль), занимающий объем  $V_1 = 5$  л и находящийся под давлением  $p_1 = 1 \text{ МПа}$ , подвергли изохорному нагреванию до  $T_2 = 500 \text{ К}$ . После этого газ подвергли изотермическому расширению до начального давления, а затем в результате изобарного сжатия возвращен в первоначальное состояние. Определить КПД и построить график цикла.

## Лабораторная работа №1-11

### Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса.

#### Контрольные вопросы.

1. Жидкие и газообразные тела. Давление и сила давления. Закон Паскаля. Сила Архимеда.
2. Барометрическая формула, вывод формулы.
3. Трубка тока, свойства жидкости вдоль трубки тока. Массовый и объемный расход жидкости вдоль трубки тока.
4. Стационарное течение жидкости. Уравнение Бернулли и его вывод.
5. Применение уравнения Бернулли: для расчета истечения жидкости из сосуда - формула Торичелли; расходомера и скорости потока (трубка Пито).
6. Течение идеальной и вязкой жидкости. Динамическая и кинематическая вязкость.
7. Тело в потоке идеальной и вязкой жидкости. Число Рейнольдса и коэффициент лобового сопротивления. Сила Стокса. Причины лобового сопротивления.
8. Подъемная сила крыла самолета.

#### Задачи для самостоятельного решения.

1. В широкой части горизонтально расположенной трубы нефть течет со скоростью  $v_1 = 1$  м/с. Определить скорость  $v_2$  нефти в узкой части трубы, если разность  $\Delta p$  давлений в широкой и узкой частях ее равна 6,65 кПа.
2. В горизонтально расположенной трубе с площадью  $S_1$  поперечного сечения, равной  $20 \text{ см}^2$ , течет жидкость. В одном месте труба имеет сужение, в котором площадь  $S_2$  сечения равна  $12 \text{ см}^2$ . Разность  $\Delta h$  уровней в двух манометрических трубках, установленных в широкой и узкой частях трубы, равна 8 см. Определить объемный расход  $Q_v$  жидкости.
3. Горизонтальный цилиндр насоса имеет диаметр  $d_1 = 20$  см. В нем движется со скоростью  $v_1 = 1$  м/с поршень, выталкивая воду через отверстие диаметром  $d_2 = 2$  см. С какой скоростью  $v_2$  будет вытекать



вода из отверстия? Каково будет избыточное давление  $p$  воды в цилиндре?

4. К поршню спринцовки, расположенной горизонтально, приложена сила  $F = 15\text{ Н}$ . Определить скорость  $v$  истечения воды из накопника спринцовки, если площадь  $S$  поршня равна  $12\text{ см}^2$ .

5. Давление  $p$  ветра на стену равно  $200\text{ Па}$ . Определить скорость  $v$  ветра, если он дует перпендикулярно стене. Плотность  $\rho$  воздуха равна  $1,29\text{ кг/м}^3$ .

6. Струя воды диаметром  $d = 2\text{ см}$ , движущаяся со скоростью  $v = 10\text{ м/с}$ , ударяется о неподвижную плоскую поверхность, поставленную перпендикулярно струе. Найти величину силы  $|\vec{F}|$  давления струи на поверхность, считая, что после удара о поверхность скорость частиц воды равна нулю.

7. Струя воды с площадью  $S$ , поперечного сечения, равной  $4\text{ см}^2$ , вытекает в горизонтальном направлении из брандспойта, расположенного на высоте  $H = 12\text{ м}$  над поверхностью Земли, и падает на эту поверхность на расстоянии  $L = 8\text{ м}$ . Пренебрегая сопротивлением воздуха движению воды, найти избыточное давление  $p$  воды в рукаве, если площадь  $S_2$  поперечного сечения рукава равна  $50\text{ см}^2$ .

8. В трубе с внутренним диаметром  $d = 3\text{ см}$  течет вода. Определить максимальный массовый расход  $Q_{m\text{ max}}$  воды при ламинарном течении.

9. Латунный шарик диаметром  $d = 0,5\text{ мм}$  падает в глицерине. Определить:

а) скорость  $v$  установившегося движения шарика;

б) является ли при этой скорости обтекание шарика ламинарным?

10. При движении шарика радиусом  $r_1 = 2,4\text{ мм}$  в касторовом масле ламинарное обтекание наблюдается при скорости  $v_1$  шарика, не превышающей  $10\text{ см/с}$ . При какой минимальной скорости  $v_2$  шарика радиусом  $r_2 = 1\text{ мм}$  в глицерине обтекание станет турбулентным?

## Лабораторная работа №1-12

### Определение скорости звука в воздухе методом стоячих волн.

#### Контрольные вопросы.

1. Сложение волн движущихся навстречу друг другу.
2. Бегущая и стоячая волна. Нахождение узлов и пучностей в стоячих волнах. Коэффициент бегучести.
3. Звуковые волны и их основные характеристики.

#### Задачи для самостоятельного решения.

1. Два гармонических колебания, направленных по одной прямой, имеющих одинаковые амплитуды и периоды, складываются в одно колебание той же амплитуды. Найти разность фаз складываемых колебаний.
2. Две точки находятся на расстояниях 6 и 12 м от источника колебаний. Найти разность фаз колебаний этих точек, если период колебаний 0,04 с, а скорость их распространения 300 м/с.
3. На шнуре длиной 3 м, один конец которого привязан к стене, а другой колеблется с частотой 5 Гц, возбуждаются стоячие волны. При этом между источником и стеной образуется шесть узлов. Найти скорость распространения волны в шнуре.
4. На каком расстоянии от источника колебаний с периодом  $10^{-3}$  с в момент времени  $t = T/2$  смещение точки от положения равновесия равно половине амплитуды? Скорость распространения колебаний 340 м/с.
5. Определить скорость распространения волн в озере, если период качания лодки, находящейся на поверхности воды 4 с, а расстояние между ближайшими гребнями волн 6 м.
6. Определить длину железного троса, если звук от удара по трубе у одного конца, слышен у другого конца дважды с интервалом времени 1 с. Скорость звука в воздухе 340 м/с, в железе 1,5 м/с.
7. Уравнение незатухающих колебаний имеет вид  $x = 5 \sin \pi \cdot t$ . Написать уравнение волны, если скорость распространения колебаний 200 м/с, а также уравнение колебаний точки, отстоящей на расстоянии 400 м от источника колебаний.
8. Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и

описываемых уравнениями  $x = 3 \cos \omega t$ , см и  $y = 4 \cos(2\omega t + \pi)$ , см. Определите уравнение траектории точки и вычертите ее с нанесением масштаба.

9. Длина звуковой волны в воздухе 0,3 м. Определить разность фаз между точками этой волны в металле, где скорость звука  $5 \cdot 10^3$  м/с и расстояние между точками 16 м.

10. В стали расстояние между ближайшими точками звуковой волны, отличающимися по фазе на  $90^\circ$ , равно 1,54 м; скорость звуковых волн 500 м/с. Определите частоту звуковых колебаний в стали.

**Лабораторная работа №1-13**  
**Изучение статистических закономерностей на механических моделях.**

**Контрольные вопросы.**

1. Основное уравнение молекулярно — кинетической теории идеального газа.
2. Степени свободы молекулы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул. Средняя энергия молекул.
3. Распределение молекул идеального газа по скоростям и энергиям поступательного движения. Распределение Максвелла.
4. Закон Больцмана для распределения частиц в потенциальном поле.
5. Закон Максвелла- Больцмана.

**Задачи для самостоятельного решения.**

1. Колба вместимостью  $V = 5$  л содержит некоторый газ массой  $m = 0,8$  г под давлением  $p = 200$  кПа. Определить среднюю квадратичную скорость  $|\vec{v}_{\text{кв}}|$  молекул газа.
2. Чему равна энергия теплового движения  $m = 20$  г кислорода при температуре  $T = 300$  К. Какая часть этой энергии приходится на долю поступательного движения и какая часть на долю вращательного?
3. Чему равна энергия вращательного движения молекул, содержащихся в 1 кг азота при температуре 290 К?
4. Определить внутреннюю энергию  $U$  водорода, а также среднюю кинетическую энергию  $\langle E \rangle$  молекулы этого газа при температуре  $T = 400$  К, если количество вещества  $\nu$  этого газа равно 0,5 моль.
5. Определить суммарную кинетическую энергию  $E_k$  поступательного движения всех молекул газа, находящегося в сосуде вместимостью  $V = 5$  л под давлением  $p = 600$  кПа.
6. На какой высоте  $h$  над поверхностью Земли атмосферное давление вдвое меньше, чем на ее поверхности? Считать, что температура воздуха  $T = 290$  К и не изменяется с высотой.

7. При подъеме вертолета на некоторую высоту барометр, находящийся в его кабине, изменил свое показание на 11кПа. На какой высоте летит вертолет, если на взлетной площадке барометр показывал  $p = 0,1$  МПа ? Температуру воздуха считать всюду одинаковой  $T = 290$  К.
8. Определить отношение давления воздуха  $p_1$  на высоте  $h_1 = 1$  км к давлению  $p_2$  на дне скважины глубиной  $h_2 = 1$  км. Воздух у поверхности Земли находился при нормальных условиях и его температура не зависит от высоты.
9. Найти изменение высоты  $\Delta h$  соответствующее изменению давления на  $\Delta p = 100$  Па , в двух случаях :
- а) вблизи поверхности Земли, где температура  $T_1 = 290$  К, давление  $p_1 = 100$  кПа;
- б) на некоторой высоте, где температура  $T_2 = 220$  К,  $p_2 = 25$  кПа.
10. Вычислить среднюю квадратичную , среднюю арифметическую и наиболее вероятную скорости молекул водорода при температуре  $T = 20$  К, соответствующей температуре кипения водорода.

**Лабораторная работа №1-14**  
**Определение приращения энтропии при плавлении твердого тела.**

**Контрольные вопросы.**

1. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия. Расчет энтропии для изопроцессов.
2. Второе начало термодинамики.
3. Круговые процессы. Цикл Карно. КПД цикла Карно.

**Задачи для самостоятельного решения.**

1. Идеальная холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, совершает работу за один цикл 37 кДж. При этом она берет тепло у тела с температурой  $-10^{\circ}\text{C}$  и передает тепло телу с температурой  $17^{\circ}\text{C}$ . Найти:
  - а) КПД цикла;
  - б) количество теплоты, отнятое у холодного тела за один цикл;
  - в) количество теплоты, переданное горячему телу за один цикл.
2. Идеальный газ ( $\nu = 2$  моль) сначала изобарно нагрели, так что объем газа увеличился в  $n_1 = 2$  раза, а затем изохорно охладил, так что его давление уменьшилось в  $n = 2$  раза. Определите изменение энтропии газа в ходе указанных процессов.
3. При нагревании двухатомного идеального газа ( $\nu = 2$  моль) его термодинамическая температура увеличилась в  $n = 2$  раза. Определите изменение энтропии, если нагревание происходит:
  - а) изохорно;
  - б) изобарно.
4. Во сколько раз необходимо увеличить объем ( $\nu = 5$  моль) идеального газа при изотермическом расширении, если его энтропия увеличилась на  $\Delta S = 57,6$  Дж/К.
5. Найти суммарное изменение энтропии при погружении 0,1 кг нагретого до  $300^{\circ}\text{C}$  железа в воду при температуре  $15^{\circ}\text{C}$ . Температуру воды считать постоянной, теплоемкость железа  $c = 473$  Дж/кг·К.
6. Азот массой 28г адиабатно расширили в  $n = 2$  раза, а затем изобарно сжали до начального объема. Определить изменение энтропии газа в ходе указанных процессов.

7. Найти изменение энтропии  $\Delta S$  при изобарическом расширении азота массой  $m = 4$  г от объема  $V_1 = 5$  л до объема  $V_2 = 9$  л.
8. Кислород массой  $m = 2$  кг увеличил свой объем в  $n = 5$  раз один раз изотермически, другой – адиабатически. Найти изменения энтропии в каждом из указанных процессов.
9. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно. Нагретый воздух взят при начальном давлении  $708$  кПа и температуре  $127^\circ\text{C}$ . Начальный объем воздуха  $2$  л. После первого изотермического расширения воздух занял объем  $5$  л; после адиабатического расширения объем стал равен  $8$  л. Найти:
- а) координаты пересечения изотерм и адиабат;
  - б) работу на каждом участке цикла;
  - в) полную работу, совершаемую за весь цикл;
  - г) КПД цикла;
  - д) количество теплоты, взятое от нагревателя за один цикл;
  - е) количество теплоты, отданное холодильнику за один цикл.
10. Найти изменение энтропии при превращении  $10$  г льда при  $-20^\circ\text{C}$  в пар при  $200^\circ\text{C}$ .

**Лабораторная работа №1-15**  
**Определение средней длины свободного пробега и эффективного диаметра молекул воздуха.**

**Контрольные вопросы.**

1. Средняя длина свободного пробега. Эффективное сечение.
2. Распределение молекул по длинам свободного пробега.
3. Диффузия в газах.
4. Поверхностное натяжение. Смачивание и несмачивание. Краевые углы.
5. Реальный газ. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия реального газа.

**Задачи для самостоятельного решения.**

1. Найти среднюю длину свободного пробега  $\langle l \rangle$  молекул водорода при давлении  $p = 0,1$  Па и температуре  $T = 100$  К.
2. При каком давлении  $p$  средняя длина свободного пробега  $\langle l \rangle$  молекул азота равна 1 м, если температура  $T$  газа равна 300 К.
3. Баллон вместимостью  $V = 10$  л содержит водород массой  $m = 1$  г. Определить среднюю длину свободного пробега  $\langle l \rangle$  молекул.
4. Можно ли считать вакуум с давлением  $p = 100$  мкПа высоким, если он создан в колбе диаметром  $d = 20$  см, содержащей азот при температуре  $T = 280$  К?
5. Определить плотность  $\rho$  разреженного водорода, если средняя длина свободного пробега  $\langle l \rangle$  молекул равна 1 см.
6. Найти зависимость среднего числа столкновений  $\langle Z \rangle$  молекулы идеального газа в 1 с от давления  $p$  при следующих процессах:
  - а) изохорическом;
  - б) изотермическом.Изобразить эти зависимости на графиках.
7. Средняя длина свободного пробега  $\langle l \rangle$  атомов гелия при нормальных условиях равна 180 нм. Определить диффузию  $D$  гелия.



8. Диффузия  $D$  кислорода при температуре  $t = 0^\circ\text{C}$  равна  $0,19\text{ см}^2/\text{с}$ . Определить среднюю длину свободного пробега  $\langle l \rangle$  молекул кислорода.
9. Определить изменение внутренней энергии неона, содержащего количество молей  $\nu = 1$  моль, при изотермическом расширении его объема от  $V_1 = 1$  л до  $V_2 = 2$  л. Газ рассматривать как реальный.
10. Азот массой  $m = 8$  г занимает объем  $V = 20$   $\text{см}^3$  при температуре  $T = 300$  К. Определить энергию азота. Газ рассматривать, как реальный.

## Лабораторная работа № 1-16

### Определение коэффициента теплопроводности металла.

#### Контрольные вопросы.

1. Уравнение теплопроводности.
2. Стационарное распределение температуры в бесконечной и плоскопараллельной пластинке.
3. Стационарное распределение температуры между двумя концентрическими сферами.
4. Стационарное распределение температуры между двумя концентрическими бесконечными длинными цилиндрами.
5. Принцип суперпозиции температур. Температурные волны.
6. Внешняя теплопроводность.

#### Задачи для самостоятельного решения.

1. По однородному цилиндрическому проводу без изоляции течет постоянный электрический ток. Определить стационарное распределение температуры в проводе, если его поверхность поддерживается при постоянной температуре  $T_0$ .
2. Урановый шар радиуса  $R = 10$  см, помещенный в сосуд с водой, облучается равномерным потоком нейтронов. В результате реакций деления ядер урана в шаре выделяется энергия  $Q = 100$  Вт/см<sup>3</sup>. Температура воды  $T = 373$  К, теплопроводность урана  $\chi = 400$  Вт/(м·К·с). Найти стационарное распределение температуры в шаре, а также температуру в его центре.
3. Сферический кусок льда (с начальным радиусом  $R = 1$  см) погружен в большую массу воды с температурой  $10^\circ\text{C}$ . Предполагая, что теплопередача в жидкости связана только с ее теплопроводностью, определить время  $\tau$ , в течение которого лед полностью растает. Теплопроводность воды  $\chi = 6 \cdot 10^{-3}$  Вт/(см·К), удельная теплота плавления льда  $q = 330$  Дж/г.
4. Найти стационарное распределение температуры в тонком однородном стержне, концы которого поддерживаются при постоянных температурах  $T_1$  и  $T_2$ , а температура окружающей среды  $T_0$  также постоянна.
5. Две пластины — медная и железная — одинаковой толщины вплотную прилегают друг к другу. Температура наружной

поверхности медной пластинки  $100^{\circ}\text{C}$ , железной —  $0^{\circ}\text{C}$ . Найти температуру в месте соприкосновения пластин.

6. Сколько нужно сжечь каменного угля в печи, КПД которой 70%, чтобы восполнить потерю тепла за сутки через кирпичную стену площадью  $20\text{ м}^2$  и толщиной 0,20 м, если температура внутренней поверхности стены  $20^{\circ}\text{C}$ , а внешней  $10^{\circ}\text{C}$ ? Теплота сгорания угля  $30\text{ МДж/кг}$ .

7. Электрическая печь мощностью  $2,0\text{ кВт}$ , внутренняя поверхность которой площадью  $25\text{ дм}^2$ , покрыта огнеупорным материалом толщиной 10 см. Коэффициент теплопроводности огнеупорного материала  $0,80\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Какова температура наружной поверхности печи, если температура на внутренней ее поверхности  $1200^{\circ}\text{C}$ ?

8. Найти количество теплоты, теряемой за время  $\tau = 1,0\text{ с}$  с площади  $S = 1,0\text{ м}^2$  кирпичной стены толщиной  $l = 51\text{ см}$ , а также температуру внутренней и внешней поверхностей стены, если температура в помещении  $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$ , а температура наружного воздуха  $t_2 = -20^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи со стороны помещения  $\alpha_1 = 12\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ , а с наружной стороны стены  $\alpha_2 = 6,0\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ .

9. Для уменьшения тепловых потерь стеной здания, рассмотренной в предыдущей задаче, и повышения температуры внутренней поверхности стены применена изоляция слоем пробки толщиной 5,0 см в двух вариантах:

а) слой пробки покрывает стену с внутренней стороны здания;

б) слой пробки покрывает стену с наружной стороны здания.

Определить температуру кирпичной стены с внутренней стороны здания в обоих вариантах. Указать, какой из вариантов является более выгодным, и какой процент теплоты с его помощью можно сберечь.

10. Температура газов в топке парового котла  $t_1 = 800^{\circ}\text{C}$ , температура воды в котле  $t_5 = 150^{\circ}\text{C}$ . Стальные стенки котла толщиной  $l_1 = 2,5\text{ см}$  покрыты с внутренней стороны слоем накипи толщиной  $l_2 = 5,0\text{ мм}$ . Какое количество теплоты передается за  $1,0\text{ с}$  через поверхность котла площадью  $1,0\text{ м}^2$ ? Коэффициент теплоотдачи со стороны газов  $\alpha_1 = 46\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ , а со стороны воды  $\alpha_2 = 2,3\text{ кВт/(м}^2\cdot\text{К)}$ . Какой толщины слой сажи должен покрыть котел, чтобы при отсутствии накипи с внутренней стороны котла количество теплоты, передаваемой котлом, осталось без изменения?

## Приложения

### 1. Некоторые физические константы

Наименование	Обозначение	Числовое значение
Скорость света в вакууме	$c$	$2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
Гравитационная постоянная	$G$	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$
Постоянная Авогадро	$N_A$	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молекулярная газовая постоянная	$R$	$8,31 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$
Объем моля идеального газа при нормальных условиях	$V_0$	$22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$
Ускорение свободного падения	$g$	$9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$
Постоянная Больцмана	$k$	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$

2. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка		
Наименование	Обозначение	Множитель
гига	Г	$10^9$
мега	М	$10^6$
кило	к	$10^3$
гекто	г	$10^2$
милли	м	$10^{-3}$
микро	мк	$10^{-6}$
нано	н	$10^{-9}$
пико	п	$10^{-12}$

3. Плотность газов (при нормальных условиях)

Газ	Плотность кг/ м <sup>3</sup>	Газ	Плотность кг/ м <sup>3</sup>
Азот	1,25	Воздух	1,29
Аргон	1,78	Гелий	0,18
Водород	0,09	Кислород	1,43

4. Эффективный диаметр молекулы

Газ	Диаметр, $10^{-9}$ м	Газ	Диаметр, $10^{-9}$ м
Аргон	0,29	Гелий	0,19
Водород	0,23	Кислород	0,29

## 5. Поправки Ван-дер-Ваальса

Газ	$a, \text{н}\cdot\text{м}/\text{моль}^2$	$b, 10^5 \text{ м}^3/\text{моль}$
Азот	0,135	3,86
Аргон	0,134	3,22
Кислород	0,136	3,17
Неон	0,209	1,70
Углекислый газ	0,361	4,28

## 6. Некоторые характеристики Солнца, Земли и Луны

Физические параметры	Солнце	Земля	Луна
Масса, кг	$1,97 \cdot 10^{30}$	$5,96 \cdot 10^{24}$	$7,33 \cdot 10^{22}$
Радиус, м	$6,95 \cdot 10^8$	$6,37 \cdot 10^6$	$1,74 \cdot 10^6$
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	1400	5518	3350
Среднее расстояние от Земли, км	$1,496 \cdot 10^8$	--	384440

### Литература

1. Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. - Москва : Высшая школа, 1985.
2. Савельев, И. В. Курс общей физики / И. В. Савельев. Москва : Наука, 1978–1989.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики/ Д.В. Сивухин – Москва: Наука, 1979.
4. Зайдель, А.Н. Погрешности измерений физических величин / А. Н. Зайдель. Ленинград : Наука, 1985.
5. Тэйлор, Дж. Введение в теорию ошибок / Дж. Тэйлор. -- Москва. Мир, 1985.
6. Емельянов В.А. Методы обработки результатов измерений в лаборатории./ Емельянов В. А., Шолох В. Ф.—Минск 1997.
7. Соловцова, О. П. Теория погрешностей: пособие/ О.П. Соловцова – Гомель: Издательство ГГТУ им. П.О. Сухого 2007.

## Содержание

Предисловие.....	3
1.Лабораторная работа №1-1«Определение плотности тел правильной геометрической формы».....	5
2. Лабораторная работа №1-2 «Изучение законов равнопеременного движения».....	7
3. Лабораторная работа №1-3 «Изучение законов сохранения энергии и импульса на примере скорости полета пули».....	9
4. Лабораторная работа №1-4 «Изучение законов сохранения импульса и энергии при ударе».....	11
5. Лабораторная работа №1-5 «Изучение зависимости момента инерции точечных тел от их расстояния до оси вращения с помощью крестообразного маятника Обербека».....	13
6. Лабораторная работа №1-6 «Изучение прецессии гироскопа».....	15
7. Лабораторная работа №1-7 «Изучение гармонических колебаний».....	18
8. Лабораторная работа №1-8 «Сложение колебаний».....	20
9. Лабораторная работа №1-10 «Определение отношений $c_p / c_v$ воздуха методом Клемана–Дезорма».....	22
10. Лабораторная работа №1-11 «Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса».....	24
11. Лабораторная работа №1-12 «Определение скорости звука в воздухе методом стоячих волн».....	26
12. Лабораторная работа №1-13 «Изучение статистических закономерностей на механических моделях».....	28
13. Лабораторная работа №1-14 «Определение приращения энтропии при плавлении твердого тела».....	30
14. Лабораторная работа №1-15 «Определение средней длины свободного пробега и эффективного диаметра молекул воздуха».....	32
15.Лабораторная работа №1-16 «Определение коэффициента теплопроводности металла».....	34
Приложения.....	36
Литература.....	39



**Кравченко Александр Ильич  
Петрашенко Петр Дмитриевич  
Хило Петр Анатольевич**

## **ФИЗИКА**

### **Практикум**

**по одноименному курсу для студентов  
всех специальностей дневной формы обучения**

**В трех частях**

### **Часть 1**

**Механика и молекулярная физика**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 22.11.10.

Рег. № 41Е.

E-mail: [ic@gstu.by](mailto:ic@gstu.by)

<http://www.gstu.by>