



Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Физика»

## **ФИЗИКА**

### **ПРАКТИКУМ**

**по одноименному курсу  
для студентов специальностей 1-27 01 01  
«Экономика и организация  
производства (по направлениям)» и 1-40 05 01  
«Информационные системы  
и технологии (по направлениям)»  
дневной формы обучения**

Гомель 2016

УДК 53(075.8)  
ББК 22я73  
Ф48

*Рекомендовано научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 3 от 25.11.2014 г.)*

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

**Физика** : практикум по одноим. курсу для студентов специальностей 1-27 01 01 «Экономика и организация производства (по направлениям)» и 1-40 05 01 «Информационные системы и технологии (по направлениям)» днев. формы обучения / сост.: П. А. Хило, А. И. Кравченко, В. И. Дробышевский. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 35 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://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит контрольные вопросы и задачи по темам лабораторных работ по разделам «Механика и молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика. Атомная и ядерная физика», а также приложение и список литературы.

Для студентов специальностей 1-27 01 01 «Экономика и организация производства (по направлениям)» и 1-40 05 01 «Информационные системы и технологии (по направлениям)» дневной формы обучения.

УДК 53(075.8)  
ББК 22я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2016

## 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 отчета 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 №1-2

### Изучение законов равномерного 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. Кинематика вращательного движения твёрдого тела. Угловая скорость и угловое ускорение.
5. Связь между величинами, характеризующими поступательное и вращательное движение. Кинематические уравнения вращательного движения.

#### Задачи для самостоятельного решения.

1. Найти модули скорости и ускорения точки в момент времени  $t = 2$  с, если точка движется по закону  $\vec{r}(t) = (A + Bt)\vec{i} + (Ct + Dt^2)\vec{j}$ , где  $A = -9$  м,  $B = 3$  м/с,  $C = 4$  м/с,  $D = -1$  м/с<sup>2</sup>.
2. Движение материальной точки, перемещающейся по прямой, задано уравнением  $x = 4t^3 + 2t + 1$ . В интервале времени от 1 до 2 с найти величины мгновенной скорости и ускорения в начале и конце интервала, и величину средней скорости движения.
3. Радиус-вектор материальной точки, движущейся в поле тяготения Земли, описывается уравнением  $\vec{r} = v_0 t \vec{i} - \frac{gt^2}{2} \vec{j}$ , где  $v_0 = 76 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\vec{i}, \vec{j}$  – орты координатных осей  $X$  и  $Y$ . Определить момент времени  $t_1$  после начала движения, когда вектор скорости  $\vec{v}$  точки направлен под углом  $\alpha = 35^\circ$  к горизонту. Чему равна величина скорости  $v$  в этот момент времени?
4. 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.
5. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 98 м/с. На какой высоте кинетическая энергия будет равна потенциальной?

6. Тело брошено под углом  $\alpha$  к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить этот угол, если максимальная высота подъёма  $h_{\max}$  меньше дальности полёта  $S$  в  $n = 2,4$  раза.

7. С башни горизонтально брошено тело со скоростью  $v_0 = 25$  м/с. Найти скорость тела  $v$ , тангенциальное  $a_\tau$ , нормальное  $a_n$  и полное  $a$  ускорения тела в конце третьей секунды, а также радиус кривизны траектории  $R$  в точке, соответствующей этому времени. Сопротивлением воздуха пренебречь.

8. Тело брошено вверх с высоты 12 м под углом  $30^\circ$  к горизонту с начальной скоростью 12 м/с. Определить продолжительность полёта тела до точки  $A$  и до точки  $B$ , максимальную высоту, которой достигает тело, дальность полёта тела. Сопротивление воздуха не учитывать.

9. Материальная точка движется по окружности радиусом  $R = 2,2$  м согласно уравнению  $x = 8t - 0,2t^3$ . Найти модуль скорости, тангенциальное, нормальное и полное ускорение в момент времени  $t = 3,2$  с.

10. Точка вращающегося тела, двигаясь по окружности радиусом  $R = 20$  см с постоянным тангенциальным ускорением, к концу третьего оборота после начала движения приобрела линейную скорость  $v = 20$  см/с. Найти величину нормального ускорения точки за  $t = 10$  с вращения.

11. Точка движется по кривой с постоянным тангенциальным ускорением  $a_\tau = 0,7$  м/с<sup>2</sup>. Определить полное ускорение  $a$  точки на участке кривой с радиусом кривизны  $R = 5$  м, если точка движется на этом участке со скоростью 3 м/с.

12. 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.

13. 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.

14. Точка вращающегося тела, двигаясь по окружности радиусом  $R = 20$  см с постоянным тангенциальным ускорением, к концу третьего оборота после начала движения приобрела линейную скорость  $v$

= 20 см/с. Найти величину нормального ускорения точки через  $t = 10$  с от начала вращения вращения.

15. Твёрдое 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  $t = 10$  с модули угловой скорости и углового ускорения; угол между этими векторами.

16. 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. Первый закон Ньютона. Понятие инерциальной системы отсчёта. Масса, сила и импульс. Второй закон Ньютона как уравнение движения. Третий закон Ньютона. Неинерциальные системы отсчёта.

2. Импульс. Закон сохранения импульса. Центр инерции. Закон движения центра инерции.

3. Закон сохранения импульса для системы материальных точек и его связь с однородностью пространства. Закон движения центра масс.

4. Неупругий удар, абсолютно неупругий и упругий удар.

5. Реактивное движение. Уравнение движение тела с переменной массой.

6. Работа и мощность. Кинетическая энергия. Потенциальная энергия. Закон сохранения полной механической энергии.

7. Вращательный момент. Уравнение движения твёрдого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса.

8. Момент инерции твёрдого тела относительно неподвижной оси. Теорема Штейнера.

9. Кинетическая энергия вращения твёрдого тела. Работа и мощность при вращении твёрдого тела.

### 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  $|\vec{v}| = 250$  м/с снаряд массой  $m = 8$  кг разорвался на две части. Большая часть массой  $m_1 = 6$  кг получила скорость  $|\vec{v}_1| = 400$  м/с под углом  $60^\circ$  к горизонту в направлении полёта снаряда. Определить модуль и направление скорости  $\vec{v}_2$  меньшей части снаряда.

7. Снаряд, летевший со скоростью  $|\vec{v}| = 500$  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  $|\vec{v}_1| = 200$  м/с. Определить скорость большего осколка.

8. С тележки, свободно движущейся по горизонтальному пути со скоростью  $|\vec{v}| = 3$  м/с, в сторону, противоположную движению тележки, прыгает человек, после чего скорость тележки стала равной



$|\vec{v}_1| = 4$  м/с. Определить горизонтальную составляющую скорости  $v_{2x}$  человека при прыжке относительно тележки. Масса тележки  $m = 210$  кг, масса человека  $m_1 = 70$  кг.

9. Шар массой  $m = 2$  кг движется со скоростью  $|\vec{v}| = 3$  м/с и сталкивается с покоящимся шаром массой  $m_1 = 6$  кг. Какая работа будет совершена при деформации шаров? Удар считать абсолютно неупругим, прямым, центральным.

10. Шар массой  $m = 5$  кг движется со скоростью  $|\vec{v}| = 6$  м/с и сталкивается с шаром массой  $m_1 = 7$  кг, который движется ему навстречу со скоростью  $|\vec{v}_1| = 2$  м/с. Определить скорости  $\vec{v}$  и  $\vec{v}'$  шаров после удара. Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.

11. 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.

12. 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 приобрёл угловую скорость  $\omega = 9$  рад/с.

13. Нить с привязанными к её 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.

14. 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.

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

## Лабораторная работа №1-7 Изучение гармонических колебаний.

### Контрольные вопросы.

1. Модель гармонического осциллятора. Гармонические колебания. Математический, пружинный и физический маятник.
2. Свободные незатухающие колебания. Дифференциальное уравнение свободных колебаний и его решение. Параметры и характеристики гармонических колебаний: амплитуда, круговая частота, период, фаза, скорость, ускорение, кинетическая, потенциальная и полная энергия гармонических колебаний.
3. Свободные затухающие колебания. Коэффициент затухания, логарифмический декремент.
4. Вынужденные колебания. Дифференциальное уравнение и его решение. Характеристики колебаний: амплитуда, фаза колебания, скорость, ускорение, кинетическая, потенциальная и полная энергия системы, период колебаний. Резонанс.
5. Волновое движение. Плоская бегущая волна. Длина волны, волновой вектор. Волновое уравнение. Фазовая скорость и дисперсия волн. Волновой пакет. Групповая скорость. Сферические волны. Уравнение стоячей волны и его анализ.

### 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  $5\text{ минут}$  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 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?

11. Определить скорость  $v$  распространения волны в упругой среде, если разность фаз  $\Delta\varphi$  колебаний двух точек среды, отстоящих друг от друга на  $\Delta x = 10 \text{ см}$ , равна  $\pi/3$ . Частота  $\nu$  колебаний равна 25 Гц.

12. Плоская звуковая волна возбуждается источником колебаний частоты  $\nu = 200 \text{ Гц}$ . 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  $x = 100 \text{ см}$  от источника, в момент  $t = 0,1 \text{ с}$ . Скорость  $v$  звуковой волны принять равной 300 м/с. Затуханием пренебречь.

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

14. Два гармонических колебания, направленных по одной прямой, имеющих одинаковые амплитуды и периоды, складываются в

одно колебание той же амплитуды. Найти разность фаз складываемых колебаний.

15. 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 её с нанесением масштаба.

### **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. Изопроцессы.

2. Давление газа с точки зрения молекулярно-кинетической теории. Основное уравнение МКТ.

3. Внутренняя энергия идеального газа. Теплоёмкость тела, молярная и удельная теплоёмкость, 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. При изотермическом расширении газа, занимавшего объем  $V = 2 \text{ м}^3$ , давление его меняется от  $p_1 = 0,5 \text{ МПа}$  до  $p_2 = 0,4 \text{ МПа}$ . Найти работу  $A$ , совершенную при этом.

2. До какой температуры охладится воздух, находящийся при температуре  $0^\circ \text{С}$ , если он расширяется адиабатически от объема  $V_1$  до объема  $V_2$ ?

3. 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?

4. 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?

5. 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.

6. Гелий, находящийся при нормальных условиях, изотермически расширяется от объема  $V_1 = 1$  л до  $V_2 = 2$  л. Найти работу, совершенную газом при расширении, и количество теплоты, сообщенное газу.

7. Масса  $m = 6,5$  г водорода, находящегося при температуре  $t = 27^\circ\text{C}$ , расширяется вдвое при постоянном давлении за счёт притока тепла извне. Найти работу  $A$  расширения газа, приращение  $\Delta U$  внутренней энергии газа и количество теплоты  $Q$ , сообщенное газу.

8. 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.

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

10. Воздух в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания сжимается адиабатически и его давление при этом изменяется от  $p_1 = 0,1$  МПа до  $p_2 = 3,5$  МПа. Начальная температура воздуха  $40^\circ\text{C}$ . Найти температуру воздуха в конце сжатия.

11. Объём  $V_1 = 7,5$  л кислорода адиабатически сжимается до объёма  $V_2 = 1$  л, причём в конце сжатия установилось давление  $p_2 = 1,6$  МПа. Под каким давлением  $p_1$  находился газ до сжатия? Количество  $\nu = 1$  кмоль азота, находящегося при нормальных условиях, расширяется адиабатически от объёма  $V_1$  до  $V_2 = 5V_1$ . Найти изменение  $\Delta U$  внутренней энергии газа и работу  $A$ , совершенную газом при расширении.

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

- а) изменение внутренней энергии газа;
- б) работу расширения газа.

13. Двухатомный идеальный газ занимает объём  $V_1 = 1$  л и находится под давлением  $p_1 = 0,1$  МПа. После адиабатного сжатия газ характеризуется объёмом  $V_2$  и давлением  $p_2$ . В результате последующего изохорного процесса газ охлаждается до первоначальной температуры, а его давление  $p_3 = 0,2$  МПа. Определите:

- а) объём  $V_2$ ;
- б) давление  $p_2$ .

Начертите графики этих процессов.

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

15. 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 передаёт 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

## **Лабораторная работа № 2-3**

### **Изучение электростатического поля методом электролитических моделей**

#### **Контрольные вопросы**

1. Электрический заряд. Закон сохранения заряда. Электростатическое поле. Закон Кулона.
2. Напряжённость электростатического поля. Принцип суперпозиции электростатических полей. Расчёт поля равномерно заряженного стержня (нити).

3. Линии вектора напряжённости. Поток вектора напряжённости. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме. Применение теоремы Гаусса к расчёту поля равномерно заряженной плоскости.

4. Циркуляция вектора напряжённости электростатического поля.

5. Потенциал электростатического поля. Принцип суперпозиции. Связь между напряжённостью и потенциалом электростатического поля.

6. Расчет потенциала и разности потенциалов в электростатическом поле.

### Задачи для самостоятельного решения

1. Два точечных заряда  $q_1 = 4$  нКл и  $q_2 = -5$  нКл находятся друг от друга на расстоянии 60 см. Определите напряжённость поля в точке, лежащей посередине между зарядами. Чему равна напряжённость, если второй заряд положительный?

2. В вершинах квадрата со стороной 5 см находятся одинаковые положительные заряды  $q = 8$  нКл. Определите напряжённость электростатического поля: 1) в центре квадрата; 2) в середине одной из сторон квадрата.

3. В вершинах правильного шестиугольника со стороной  $a = 5$  см расположены точечные заряды  $q, 2q, 3q, 4q, 5q, 6q$  ( $q = 8$  нКл). Найти силу  $\vec{F}$ , действующую на точечный заряд  $q$ , лежащий в плоскости шестиугольника и равноудалённый от его вершин.

4. Тонкое полукольцо радиусом  $R = 10$  см несёт равномерно распределенный заряд с линейной плотностью  $\tau = 1$  нКл/м. В центре кривизны полукольца находится заряд  $q = 20$  нКл. Определить силу  $\vec{F}$  взаимодействия точечного заряда и заряженного полукольца.

5. Тонкий стержень длиной  $l = 12$  см заряжен с линейной плотностью  $\tau = 200$  нКл/м. Найти напряжённость  $\vec{E}$  электрического поля в точке, находящейся на расстоянии  $r = 5$  см от стержня против его середины.

6. Кольцо радиусом  $r = 5$  см из тонкой проволоки равномерно заряжено с линейной плотностью  $\tau = 1$  нКл/м. Определите напряжённость поля на оси, проходящей через центр кольца, в точке, удаленной на расстоянии  $a = 10$  см от центра кольца.

7. На некотором расстоянии от бесконечной равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью  $\sigma = 14 \text{ нКл/м}^2$  расположена круглая пластинка. Плоскость пластинки составляет с линиями напряженности угол  $30^\circ$ . Определите поток  $\Phi_E$  вектора напряженности через эту пластинку, если её радиус  $r$  равен 15 см.

8. Электростатическое поле создаётся двумя бесконечными параллельными плоскостями, заряженными равномерно разноимёнными зарядами с поверхностной плотностью  $\sigma_1 = 1 \text{ нКл/м}^2$  и  $\sigma_2 = 2 \text{ нКл/м}^2$ . Определите напряжённость электростатического поля: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей. Постройте график изменения напряжённости поля вдоль линии, перпендикулярной плоскостям.

9. На металлической сфере радиусом 15 см находится заряд  $q = 2 \text{ нКл}$ . Определите напряжённость  $\vec{E}$  электростатического поля: 1) на расстоянии  $r_1 = 10 \text{ см}$  от центра сферы; 2) на поверхности сферы; 3) на расстоянии  $r_1 = 20 \text{ см}$  от центра сферы. Постройте график зависимости  $E(r)$ .

10. Внутренний цилиндрический проводник длинного прямолинейного коаксиального провода радиусом  $R_1 = 1,5 \text{ мм}$  заряжен с линейной плотностью  $\sigma_1 = 0,20 \text{ нКл/м}$ . Внешний цилиндрический проводник этого провода радиусом  $R_2 = 3 \text{ мм}$  заряжен с линейной плотностью  $\sigma_2 = -0,15 \text{ нКл/м}$ . Пространство между проводниками заполнено резиной ( $\epsilon = 3$ ). Определите напряженность электростатического поля в точках, лежащих от оси провода на расстояниях: 1)  $r_1 = 1 \text{ мм}$ ; 2)  $r_2 = 2 \text{ мм}$ ; 3)  $r_3 = 5 \text{ мм}$ .

11. Тонкий стержень длиной  $l = 15 \text{ см}$  несёт равномерно распределённый заряд с линейной плотностью  $\tau = 8 \text{ нКл/м}$ . Пользуясь принципом суперпозиции, найти потенциал поля  $\varphi$  в точке, находящейся на расстоянии  $r_0$  от стержня в средней его части.

12. Тонкий стержень длиной  $l = 15 \text{ см}$  заряжен с линейной плотностью  $\tau = 100 \text{ мКл/м}$ . Пользуясь принципом суперпозиции, найти потенциал поля  $\varphi$  в точке, расположенной на перпендикуляре к стержню, проведённому через один из его концов, на расстоянии  $r = 8 \text{ см}$  от этого конца.

13. Третью тонкого кольца радиуса  $R = 15 \text{ см}$  несёт распределённый заряд  $q = 30 \text{ нКл}$ . Определить потенциал электрического поля



$\varphi$ , создаваемого распределённым зарядом в точке  $O$ , совпадающей с центром кольца.

14. По тонкому кольцу радиусом  $R = 10$  см равномерно распределён заряд с линейной плотностью  $\tau = 1$  нКл/м. Определить потенциал электрического поля  $\varphi$ , создаваемого распределённым зарядом в точке  $O$ , совпадающей с центром кольца.

15. Заряд распределён равномерно по бесконечной плоскости с поверхностной плотностью  $\sigma = -25$  нКл/м<sup>2</sup>. Определить разность потенциалов  $\Delta\varphi$  двух точек поля, одна из которых находится на плоскости, а другая удалена от плоскости на расстояние  $l = 15$  см.

### **Лабораторная работа №2-4**

#### **Изучение законов постоянного тока**

##### **Контрольные вопросы**

1. Условия существования электрического тока. Электрический ток, сила и плотность тока.
2. Закон Ома. Удельное сопротивление. Вывод закона Ома в дифференциальной форме.
3. Соединение проводников.
4. Закон Джоуля – Ленца. Вывод закона в дифференциальной форме.
5. Работа и мощность тока.
6. Вывод законов Ома и Джоуля – Ленца из классических электронных предположений.
7. Сторонние силы. Электродвижущая сила, разность потенциалов и напряжение. Источники тока. Закон Ома для неоднородного участка цепи в интегральной и дифференциальной форме.
8. Правила Кирхгофа для разветвлённых цепей.

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

1. Сила тока в проводнике равномерно нарастает от  $I_0 = 0$  до  $I = 2$  А в течение времени  $\tau = 5$  с. Определите заряд, прошедший по проводнику.
2. Сила тока  $I$  в проводнике меняется со временем  $t$  по уравнению  $I = 2 + 15t$ , где  $I$  - выражено в амперах и  $t$  - в секундах.

Какое количество электричества проходит через поперечное сечение проводника за промежуток времени от  $t_1 = 11$  с до  $t_2 = 28$  с?

3. Определить заряд  $q$ , прошедший по проводу с сопротивлением  $R = 5$  Ом, при равномерном нарастании напряжения на концах провода от  $U_0 = 3$  В до  $U = 7$  В в течение 15 с.

4. По медному проводнику сечением  $0,8$  мм<sup>2</sup> течет ток 80 мА. Найдите среднюю скорость упорядоченного движения электронов вдоль проводника, предполагая, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон. Плотность меди  $\rho = 8,9$  г/см<sup>3</sup>.

5. Реостат из железной проволоки, миллиамперметр и генератор тока включены последовательно. Сопротивление реостата при  $0^\circ\text{C}$  равно 120 Ом, сопротивление миллиамперметра 20 Ом. Миллиамперметр показывает 22 мА. Что будет показывать миллиамперметр, если реостат нагреется на  $50^\circ\text{C}$ ? Температурный коэффициент сопротивления железа  $6 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Сопротивлением генератора пренебречь.

6. Определите ток короткого замыкания источника э. д. с., если при внешнем сопротивлении  $R_1 = 50$  Ом ток в цепи  $I_1 = 0,2$  А, а при  $R_2 = 110$  Ом  $I_2 = 0,1$  А.

7. Сила тока в проводнике равномерно увеличивается от  $I_0 = 4$  А до некоторого максимального значения в течение времени  $t = 5$  с. За это время в проводнике выделилось количество теплоты  $Q = 0,6$  кДж. Определить скорость нарастания тока в проводнике, если сопротивление  $R$  его равно 3 Ом.

8. В проводнике за время  $t = 15$  с при равномерном возрастании силы тока от  $I_1 = 4$  А до  $I_2 = 12$  А выделилось количество теплоты  $Q = 8$  кДж. Найти сопротивление  $R$  проводника.

9. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону  $I = I_0 \sin \omega t$ . Определить количество теплоты, которое выделится в проводнике сопротивлением  $R = 5$  Ом за время  $t$ , равное половине периода  $T$ , если начальная сила тока  $I_0 = 5$  А, циклическая частота  $\omega = 76\pi \text{ с}^{-1}$ .

10. Определите э. д. с. и внутреннее сопротивление  $r$  источника тока, если во внешней цепи при силе тока 4 А развивается мощность 10 Вт, а при силе тока 2 А мощность 8 Вт.

11. Найти внутреннее сопротивление генератора, если известно, что мощность, выделяемая во внешней цепи, одинакова при двух

значениях внешнего сопротивления  $R_1 = 5 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 0,2 \text{ Ом}$ . Найти КПД генератора в каждом из этих случаев.

12. От генератора, э. д. с. которого равна  $110 \text{ В}$ , требуется передать энергию на расстояние  $250 \text{ м}$ . Потребляемая мощность  $1 \text{ кВт}$ . Найти минимальное сечение медных проводящих проводов, если потери мощности в сети не должны превышать  $1\%$ .

13. Имеются два одинаковых элемента с э. д. с.  $\varepsilon = 2 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r = 0,3 \text{ Ом}$ . Как надо соединить эти элементы (последовательно или параллельно), чтобы получить больший ток, если внешнее сопротивление: а)  $R = 0,2 \text{ Ом}$ ; б)  $R = 16 \text{ Ом}$ ? Найти ток  $I$  в каждом из этих случаев.

14. Два последовательно соединённых элемента с одинаковыми э. д. с.  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 2 \text{ В}$  и внутренними сопротивлениями  $r_1 = 1 \text{ Ом}$  и  $r_2 = 1,5 \text{ Ом}$  замкнуты на внешнее сопротивление  $R = 0,5 \text{ Ом}$ . Найти разность потенциалов  $U$  на зажимах каждого элемента.

15. Три батареи с э. д. с.  $\varepsilon_1 = 12 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2 = 5 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_3 = 10 \text{ В}$  и одинаковыми внутренними сопротивлениями  $r$ , равными  $1 \text{ Ом}$ , соединены между собой одноименными полюсами. Сопротивление соединительных проводов ничтожно мало. Определить силы токов  $I$ , идущих через каждую батарею.

### Лабораторная работа № 2-14

#### Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли

##### Контрольные вопросы

1. Магнитное поле и его характеристики.
2. Электромагнитное взаимодействие движущихся электрических зарядов.
3. Вектор магнитной индукции. Принцип суперпозиции.
4. Закон Био-Савара-Лапласа. Применение закона Био-Савара-Лапласа к расчету магнитных полей: поля прямолинейного конечного и бесконечного тока; поля кругового тока.
5. Закон Ампера. Применение закона Ампера к расчёту силы действующей на проводник с током в магнитном поле и силы взаимодействия двух проводников с током.

6. Циркуляция вектора магнитной индукции. Вихревой характер магнитного поля.
7. Применение теоремы о циркуляции вектора магнитной индукции к расчёту магнитных полей соленоида и тороида.
8. Теорема Гаусса для поля вектора магнитной индукции.

**Задачи для самостоятельного решения.**

1. Определите магнитную индукцию  $\vec{B}$  поля, создаваемого отрезком бесконечно длинного провода, в точке, равноудаленной от концов отрезка и находящейся на расстоянии  $R = 4$  см от его середины. Длина отрезка провода  $l = 20$  см, а сила тока в проводе  $I = 10$  А.

2. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам, находящимся на расстоянии  $R = 10$  см друг от друга в вакууме, текут токи  $I_1 = 20$  А и  $I_2 = 30$  А одинакового направления. Определите вектор магнитной индукции поля, создаваемого токами в точках, лежащих на прямой, соединяющей оба провода, если: 1) точка С лежит на расстоянии  $r_1 = 2$  см левее левого провода; 2) точка D лежит на расстоянии  $r_2 = 3$  см правее правого провода; 3) точка G лежит на расстоянии  $r_3 = 4$  см правее левого провода.

3. Определите индукцию магнитного поля в центре проводочной квадратной рамки со стороной  $a = 15$  см, если по рамке течет ток  $I = 5$  А.

4. Определите магнитную индукцию на оси тонкого проводочного кольца радиусом  $R = 5$  см, по которому течет ток  $I = 10$  А, в точке А, расположенной на расстоянии  $d = 10$  см от центра кольца

5. Круговой виток радиусом  $R = 15$  см расположен относительно бесконечно длинного провода так, что его плоскость параллельна проводу. Перпендикуляр, восставленный на провод из центра витка, является нормалью к плоскости витка. Сила тока в проводе  $I_1 = 1$  А, сила тока в витке  $I_2 = 5$  А. Расстояние от центра витка до провода  $d = 20$  см. Определите магнитную индукцию в центре витка

6. Два круговых витка радиусом 4 см каждый расположены в параллельных плоскостях на расстоянии 5 см друг от друга. По виткам текут одинаковые токи силой 6 А. Найти индукцию магнитного поля в центре одного из витков. Токи в витках текут в противоположных направлениях.

7. По прямому горизонтально расположенному проводу пропускают ток 10 А. Под ним на расстоянии 1,5 см находится парал-

лельный ему алюминиевый провод, по которому пропускают ток 1,5 А. Определить, какова должна быть площадь поперечного сечения алюминиевого провода, чтобы он удерживался незакрепленным. Плотность алюминия  $2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

8. По тонкому проволочному полукольцу радиусом  $R = 50$  см течет ток  $I = 1$  А. Перпендикулярно плоскости полукольца возбуждено однородное магнитное поле с индукцией  $B = 0,01$  Тл. Найдите силу, растягивающую полукольцо. Действие на полукольцо магнитного поля подводющих проводов и взаимодействие отдельных элементов полукольца не учитывать.

9. По трем параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии 10 см друг от друга, текут одинаковые токи силой 100 А. В двух проводах направления токов совпадают. Вычислить силу, действующую на отрезок длиной 1 м третьего провода. Оси проводников лежат в вершинах правильного треугольника.

10. В однородное магнитное поле с индукцией  $B = 0,1$  Тл помещена квадратная рамка площадью  $S = 25 \text{ см}^2$ . Нормаль к плоскости рамки составляет с направлением магнитного поля угол  $60^\circ$ . Определите вращающий момент, действующий на рамку, если по ней течет ток  $I = 1$  А.

11. Рамка из провода сопротивлением  $R = 0,04$  Ом равномерно вращается в магнитном поле с индукцией 0,6 Тл. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Площадь рамки  $200 \text{ см}^2$ . Определить заряд, который потечет по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции от 0 до  $45^\circ$ .

12. Проводник длиной  $l = 1$  м движется со скоростью  $v = 5$  м/с перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Определить магнитную индукцию, если на концах проводника возникает разность потенциалов  $U = 0,02$  В.

13. Рамка площадью  $S = 50 \text{ см}^2$ , содержащая  $N = 100$  витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле ( $B = 40$  мТл). Определить максимальную ЭДС индукции, если ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции, а рамка вращается с частотой  $n = 960$  об/мин.

14. Соленоид сечением  $S = 10 \text{ см}^2$  одержит  $N = 10^3$  витков. При силе тока  $I = 5$  А магнитная индукция поля внутри соленоида равна 0,05 Тл. Определить индуктивность соленоида.

15. По катушке индуктивностью  $L = 8$  мкГн течет ток  $I = 6$  А. Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей в контуре, если сила тока изменится практически до нуля за время  $\Delta t = 5$  мс.

### **Лабораторная работа №3-1**

**Интерференция света в тонких плёнках. Определение радиуса кривизны стеклянной поверхности с помощью колец Ньютона**

#### **Контрольные вопросы**

1. Развитие представлений о природе света. Основные законы геометрической оптики. Корпускулярно-волновой дуализм.
2. Интерференция света. Когерентность световых волн. Время и длина когерентности.
3. Методы получения когерентных волн в оптике (Зеркала Френеля. Бипризма Френеля.).
4. Оптическая разность хода. Расчёт интерференционной картины от двух когерентных источников. Условие минимума и максимума.
5. Общая интерференционная схема (опыт Юнга).
6. Интерференция света в тонких плёнках. Полосы равного наклона и равной толщины.
7. Кольца Ньютона.
8. Применение интерференции света. Интерферометры.

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

1. В опыте Юнга расстояние от щелей до экрана равно 3 м. Определить угловое расстояние между соседними светлыми полосами, если третья светлая полоса на экране отстоит от центра интерференционной картины на расстоянии 4,5 мм.
2. Определить, во сколько раз изменится ширина интерференционных полос на экране в опыте Юнга, если фиолетовый светофильтр (длина волны 0,4 мкм) заменить красным (длина волны 0,7 мкм).
3. Расстояние между двумя когерентными источниками света ( $\lambda = 0,5$  мкм) равно 0,1 мм. Расстояние между светлыми полосами на

экране в средней части интерференционной картины равно 1 см. Определить расстояние от источника до экрана.

4. На пути световой волны, идущей в воздухе, поставили стеклянную пластинку толщиной  $d = 1$  мм. Насколько изменится оптическая длина пути, если волна падает на пластинку; 1) нормально; 2) под углом  $\alpha = 30^\circ$ ?

5. На мыльную пленку (показатель преломления 1,33) падает белый свет под углом  $45^\circ$ . При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый свет? Длина волны желтого света 600 нм.

6. Пучок монохроматических  $\lambda = 0,6 \cdot 10^{-6}$  м световых волн падает под углом  $\alpha = 30^\circ$  на находящуюся в воздухе мыльную пленку с показателем преломления  $n = 1,3$ . При какой наименьшей толщине  $d$  пленки отраженные лучи будут максимально усилены интерференцией?

7. На толстую стеклянную пластинку, покрытую очень тонкой пленкой, показатель преломления  $n_2$  вещества которой равен 1,4, падает нормально параллельный пучок монохроматического света ( $\lambda = 0,6$  мкм). Отраженный свет максимально ослаблен вследствие интерференции. Определить толщину пленки.

8. На тонкую пленку в направлении нормали к её поверхности падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 500$  нм. Отраженный от нее свет максимально усилен вследствие интерференции. Определить минимальную толщину пленки, если показатель преломления материала пленки  $n = 1,4$ .

9. На тонкую глицериновую пленку толщиной  $d = 1,5$  мкм нормально к её поверхности падает белый свет. Определить длины волн лучей видимого участка спектра ( $0,4 \leq \lambda \leq 0,8$  мкм), которые будут ослаблены в результате интерференции. Поверхности стеклянного клина образуют между собой угол  $\alpha = 0,2'$ .

10. На клин нормально к его поверхности падает пучок лучей монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 0,55$  мкм. Определить ширину  $b$  интерференционной полосы.

11. Расстояние между вторым и первым кольцами Ньютона в отраженном свете 1 мм. Определить расстояние между десятым и девятым кольцами.

12. На стеклянную пластину положена выпуклой стороной плосковыпуклая линза. Сверху линза освещена монохроматическим

светом длиной волны  $\lambda = 500$  нм. Найти радиус  $R$  линзы, если радиус четвёртого, тёмного кольца Ньютона в отражённом свете  $r_4 = 2$  мм.

13. Плосковыпуклая линза выпуклой стороной лежит на стеклянной пластине. Определить толщину слоя воздуха, там, где в отраженном свете ( $\lambda = 0,60$  мкм) видно первое светлое кольцо Ньютона.

14. Между стеклянной пластинкой и лежащей на ней плосковыпуклой линзой находится жидкость. показатель преломления которой больше показателя преломления стекла ( $n_{ст}=1,5$ ) Найти показатель преломления жидкости, если радиус третьего тёмного кольца Ньютона при наблюдении в отраженном свете с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм равен  $0,75$  мм. Радиус кривизны линзы  $R = 0,5$  м.

15. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается нормально падающим монохроматическим светом ( $\lambda = 590$  нм). Радиус кривизны  $R$  линзы равен  $5$  м. Определить толщину воздушного промежутка в том месте, где в отраженном свете наблюдается третье светлое кольцо.

### **Лабораторная работа №3-4**

**Определение длины световой волны с помощью дифракционной решётки. Определение периодов двумерной структуры.**

#### **Контрольные вопросы**

1. Дифракция света.
2. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Прямолинейность распространения света.
3. Дифракция Френеля на круглом отверстии. Зонная пластинка.
4. Дифракция Френеля на диске.
5. Дифракция Фраунгофера на щели. Дифракционный спектр.
6. Дифракция Фраунгофера на дифракционной решётке. Разрешающая способность оптических приборов.
7. Пространственная решётка. Дифракция света на пространственных решетках.
8. Дифракция рентгеновских лучей. Формула Вульфа - Брэггов.



9. Понятие о голографии. Понятия предметной и опорной волн.

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

1. Определить радиус третьей зоны Френеля, если расстояние от точечного источника света до волновой поверхности и от волновой поверхности до точки наблюдения равны 1,5 м. Длина световой волны 600 нм.

2. Дифракция наблюдается на расстоянии 1 м от точечного источника монохроматического света (длина волны 500 нм). Посередине между источником света и экраном находится диафрагма с круглым отверстием. Определить радиус отверстия, при котором центр дифракционных колец на экране является наиболее светлым.

3. На диафрагму с круглым отверстием диаметром 5 мм нормально падает параллельный пучок света с длиной волны 600 нм. Определить расстояние от точки наблюдения до отверстия, если отверстие открывает три зоны Френеля.

4. На экран с круглым отверстием радиусом 1,5 мм нормально падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны 500 нм. Точка наблюдения находится на оси отверстия на расстоянии 1,5 м от него. Определить темное или светлое пятно наблюдается в центре дифракционной картины.

5. На щель шириной 2 мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны 589 нм. Найти углы, в направлении которых будут наблюдаться минимумы интенсивности света.

6. На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Угол отклонения пучка света, соответствующий второй светлой дифракционной полосе равен  $1^\circ$ . Скольким длинам волн падающего света равна ширина щели?

7. На поверхность дифракционной решетки нормально падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решетки в 4,6 раза больше длины световой волны. Найти общее число дифракционных максимумов, которые можно наблюдать в данном случае.

8. На дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок белого света. Спектры четвертого и пятого порядка частично накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре пятого порядка накладывается длина волны 780 нм спектра четвертого порядка?

9. Постоянная дифракционной решетки в четыре раза больше длины световой волны монохроматического света, нормально падающего на ее поверхность. Определить угол между двумя вторыми симметричными дифракционными максимумами.

10. Период дифракционной решетки равен 4 мкм. На решетку нормально падает свет с длиной волны 580 нм. Максимум какого наибольшего порядка дает эта решетка?

11. Какое наименьшее число  $N_{\min}$  штрихов должна содержать дифракционная решетка, чтобы в спектре второго порядка можно было видеть отдельно две желтые линии натрия с длинами волн  $\lambda_1 = 589,0$  нм и  $\lambda_2 = 589,6$  нм? Какова длина  $l$  такой решетки, если постоянная решетки  $d = 5$  мкм?

12. На поверхность дифракционной решетки нормально к ее поверхности падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решетки в  $n = 4,6$  раза больше длины световой волны. Найти общее число  $N$  дифракционных максимумов, которые теоретически можно наблюдать в данном случае.

13. На дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок белого света. Спектры третьего и четвертого порядка частично накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре четвертого порядка накладывается граница ( $\lambda = 780$  нм) спектра третьего порядка?

14. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения. Расстояние  $d$  между атомными плоскостями равно 280 пм. Под углом  $\alpha = 65^\circ$  к атомной плоскости наблюдается дифракционный максимум первого порядка. Определить длину волны  $\lambda$  рентгеновского излучения.

15. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения ( $\lambda = 140$  нм). Определить расстояние между атомными плоскостями кристалла, если дифракционный максимум второго порядка наблюдается, когда излучение падает под углом  $\alpha = 31^\circ 31'$  к поверхности кристалла.

## Лабораторная работа № 3-8 Определение постоянной Ридберга.

### Контрольные вопросы.

1. Модели атома Томсона и Резерфорда.
2. Линейчатый спектр атома водорода.
3. Постулаты Бора. Спектр атома водорода по Бору. Принцип соответствия Бора.
4. Опыты Франка и Герца.
5. Корпускулярно- волновой дуализм свойств вещества. Волны де Бройля.
6. Соотношение неопределённостей.
7. Общее уравнение Шрёдингера. Принцип причинности в квантовой механике.
8. Движение свободной частицы. Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной яме » с бесконечно высокими «стенками».
9. Уравнение Шрёдингера и его решение для основного состояния атома водорода.
10. Атом водорода в квантовой механике. Квантовые числа.
11. Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона.
12. Принцип Паули. Распределение электронов в атоме по состояниям.
13. Периодическая система элементов Менделеева.

### Задачи для самостоятельного решения.

1. Определить во сколько раз увеличится радиус орбиты электрона у атома водорода, находящегося в основном состоянии, при возбуждении его квантом с энергией  $0,122 \text{ мкэВ}$ .
2. Возбуждённый атом водорода при переходе в основное состояние испустил последовательно два кванта с длинами волн  $40510 \text{ \AA}$  и  $972,5 \text{ \AA}$ . Определить энергию первоначального состояния данного атома и соответствующее этому состоянию квантовое число.
3. Атом водорода, возбуждаемый некоторым монохроматическим источником света, испускает только три спектральные линии. Определить квантовое число энергетического уровня, на который переходят возбужденные атомы, а также длины волн испускаемых линий.

4. Возбуждённый атом водорода при переходе в состояние с меньшей энергией испустил квант с длиной волны  $6562,8 \text{ \AA}$ . Определить радиусы боровских орбит, между которыми произошел переход, и скорости движения электрона на них.

5. Атом водорода находится в возбуждённом состоянии, характеризуемом главным квантовым числом  $n = 4$ . Определить возможные спектральные линии в спектре водорода, появляющиеся при переходе атома из возбужденного состояния в основное.

6. Какие спектральные линии появятся в видимой области спектра при возбуждении атомов водорода электронами с энергией  $13,0 \text{ эВ}$ ?

7. При переходе электрона атома водорода с одной из возможных орбит на другую, более близкую к ядру, атом испустил фотон с длиной волны  $18751 \text{ \AA}$ . Определить кинетическую  $T$ , потенциальную  $\Pi$  и полную  $E$  энергию электрона в этом промежуточном возбуждённом состоянии.

8. Во сколько раз изменится период вращения электрона в атоме водорода, если при переходе из одного возбуждённого состояния в другое атом излучил фотон с длиной волны  $3970 \text{ \AA}$ .

9. Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны  $\lambda = 121,5 \text{ нм}$ . Определить радиус  $r$  орбиты, скорость  $v$  и частоту  $\nu$  обращения электрона в возбуждённом состоянии атома.

10. Электрон находится в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $l = 10^{-9} \text{ м}$  с абсолютно непроницаемыми стенками. Найти наименьшее значение энергии электрона.

11. Частица находится в бесконечно глубоком одномерном прямоугольном потенциальном ящике шириной  $l \text{ эВ}$  в возбуждённом состоянии ( $n=2$ ). Определить, в каких точках интервала  $0 < x < l$  плотность вероятности нахождения частицы имеет максимальное и минимальное значения.

12. Электрон находится в одномерном потенциальном ящике шириной  $l$ . Определить среднее значение координаты  $\langle x \rangle$  электрона в интервале  $0 < x < l$ .

13. Волновая функция, описывающая движение электрона в основном состоянии атома водорода, имеет вид

$$\psi(r) = c \cdot e^{-\frac{r}{a_0}},$$

где  $c$  – некоторая постоянная,

$a_0$  – первый боровский радиус.

Найти для основного состояния атома водорода наиболее вероятное расстояние электрона от ядра.

14. Атом водорода находится в основном состоянии. Вычислить: 1) вероятность  $w_1$  того, что электрон находится внутри области, ограниченной сферой радиуса, равного боровскому радиусу  $a_0$ ; 2) вероятность  $w_2$  того, что электрон находится вне этой области; 3) отношение вероятностей  $w_2/w_1$ . Волновую функцию основного состояния считать известной:

$$\psi_{100}(r) = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} \cdot e^{-\frac{r}{a_0}}$$

15. Атом водорода находится в основном состоянии. Собственная волновая функция, описывающая состояние электрона в атоме имеет вид

$$\psi(r) = c \cdot e^{-\frac{r}{a_0}},$$

где  $c$  – некоторая постоянная.

Из условия нормировки волновой функции найти постоянную  $c$ .

## Приложение

### 1. Основные физические постоянные:

скорость света в вакууме –  $c = 3,00 \cdot 10^8$  м/с

ускорение свободного падения –  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>

гравитационная постоянная –  $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$  Нм<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>

постоянная Авогадро –  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>

молекулярная газовая постоянная –  $R = 8,31$  Дж / К моль

объём моля идеального газа при нормальных условиях –  
 $V_0 = 22,4 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/моль

постоянная Больцмана –  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж /К

элементарный заряд –  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл;

магнетон Бора –  $\mu_A = 9627 \cdot 10^{-24}$  Дж/Тл;

масса протона –  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг;

масса электрона –  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  кг;

удельный заряд электрона –  $\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11}$  Кл/кг;

электрическая постоянная –  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;

магнитная постоянная –  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;

постоянная Ридберга –  $R = 1,10 \cdot 10^7$  м<sup>-1</sup>

скорость света в вакууме –  $c = 3,00 \cdot 10^8$  м / с

число Авогадро –  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>

заряд электрона –  $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$  Кл

постоянная Планка –  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж · с

постоянная Стефана-Больцмана –  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>)

постоянная в законе Вина –  $b = 2,89 \cdot 10^{-3}$  м · К

радиус первой боровской орбиты –  $a_0 = 5,29 \cdot 10^{-11}$  м

атомная единица массы –  $1a.e.m. = 1,660 \cdot 10^{-27}$  кг

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	$10^{-12}$

Таблица 1: 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

### 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 <sup>-9</sup> м	Газ	Диаметр, 10 <sup>-9</sup> м
Аргон	0,29	Гелий	0,19
Водород	0,23	Кислород	0,29

### 5. Поправки Ван-дер-Ваальса

Газ	a, н·м/ моль <sup>2</sup>	b, 10 <sup>5</sup> м <sup>3</sup> / 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. Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$

Вода – 81;  
Парафин – 2,0;



Слюда – 6,0;  
 Стекло – 7,0;  
 Фарфор – 5,0;  
 Масло трансформаторное – 2,2;  
 Эбонит – 6,0.

7. Удельное сопротивление  $\rho$  и температурный коэффициент проводников (при 20°C)

Проводник	Удельное сопротивление, нОм·м	Температурный коэффициент, К <sup>-1</sup>
Алюминий	28	0,0038
Вольфрам	55	0,0051
Железо	98	0,0062
Константан	480	0,00002
Медь	17,2	0,0043
Никель	400	0,000017
Нихром	980	0,00026

Таблица 2: Работа выхода электронов

Металл	A, Дж	A, эВ
Калий	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Литий	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3
Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3
Рубидий	$3,4 \cdot 10^{-19}$	2,1
Серебро	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цезий	$3,2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0

## Литература

1. Савельев, И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1977 - 1979. – Т.1. – 1977. – 350 с.; Т.2. – 1978. – 480 с.; Т.3. – 1979. – 304 с.
2. Детлаф, А.А. Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – М.: Высшая школа, 1989. – 608 с.
3. Трофимова, Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. – М.: Высшая школа, 1985. – 630 с.
4. Трофимова, Т.И. Сборник задач по курсу физики / Т.И. Трофимова. – М.: Высшая школа, 1991. – 303 с.
5. Волькенштейн, В.С. Сборник задач по общему курсу физики / В.С. Волькенштейн. – М.: Наука, 1973. – 464 с.
6. Чертов, А.Г. Задачник по физике / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. – М.: Высшая школа, 1988. – 572 с.
7. Иродов, И.Е. Задачи по общей физике / И.Е. Иродов. – М.: Наука, 1979. – 368 с.
8. Савельев, И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1983. – 386 с.
9. Воробьев, А.А. Физика: Методические указания и контрольные задания для студентов-заочников инженерно-технических специальностей вузов / А.А. Воробьев, В.П. Иванов, В.Г. Кондакова, А.Г. Чертов. – М.: Высшая школа, 1987. – 208 с.
10. Соловцова, О. П. Теория погрешностей: пособие/ О.П. Соловцова – Гомель: Издательство ГГТУ им. П.О. Сухого, 2007. – 45с.

## Содержание

I.	Предисло-	3
вие.....		
1. Лабораторная работа №1-2 «Изучение законов равномерного движе- ния».....		5
2. Лабораторная работа №1-3 «Изучение законов сохранения энергии и импульса на примере скорости полёта пу- ли».....		7
3. Лабораторная работа №1-7 «Изучение гармонических колеба- ний».....		10
4. Лабораторная работа №1-10 «Определение отношений $c_p/c_v$ воздуха методом Клемана– Дезорма.....		12
5. Лабораторная работа №2-3 «Изучение электростатического по- ля методом электролитических моде- лей».....		14
6. Лабораторная работа №2-4 «Изучение законов постоянного то- ка».....		17
..		
7. Лабораторная работа №2-14 «Определение горизонтальной со- ставляющей индукции магнитного поля Зем- ли».....		19
8. Лабораторная работа №3-1 «Интерференция света в тонких плёнках. Определение радиуса кривизны стеклянной поверхности с помощью колец Ньюто- на».....		22
9. Лабораторная работа №3-4 «Определение длины световой вол- ны с помощью дифракционной решётки. Определение периодов двумерной структуры».....		24
10. Лабораторная работа №3-8 «Определение постоянной Ридбер- га»		27
II.	Приложе-	30
ние.....		
III.	Литерату-	34
ра.....		

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

# **ФИЗИКА**

**Практикум  
по одноименному курсу  
для студентов специальностей 1-27 01 01  
«Экономика и организация  
производства (по направлениям)» и 1-40 05 01  
«Информационные системы  
и технологии (по направлениям)»  
дневной формы обучения**

Составители: **Хило Петр Анатольевич**  
**Кравченко Александр Ильич**  
**Дробышевский Витальдий Иванович**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 16.01.16.

Пер. № 15Е.

<http://www.gstu.by>