

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

Методические указания
для обучающихся по организации и проведению практических работ
по дисциплине «ФИЗИКА»
для студентов специальности 30.05.01 Медицинская биохимия

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность учебной дисциплины «физика» обусловлена необходимостью формирования у будущих специалистов обще профессиональных компетенций, на которых базируется профессиональная деятельность врача.

Целью практических занятий является формирование профессиональных компетенций специалиста по направлению 30.05.01 Медицинская биохимия, связанных со способностью использовать в профессиональной деятельности основные законы физики, химии, наук о Земле и биологии, применять методы математического анализа и моделирования, теоретических и экспериментальных исследований, приобретать новые математические и естественнонаучные знания, используя современные образовательные и информационные технологии

Основные задачи дисциплины:

- приобретение знаний о методах научного познания природы; о современной физической картине мира; свойствах вещества и поля; об основах фундаментальных физических теорий; пространственно-временных закономерностях; динамических и статистических законах природы; элементарных частицах и фундаментальных взаимодействиях; строении и эволюции вселенной;
- развитие творческих способностей в процессе решения физических задач, выполнении экспериментальных заданий;
- применение знаний по физике для объяснения явлений природы, принципов работы технических устройств, самостоятельного приобретения знаний, использования современных информационных технологий для поиска, переработки и представления информации по физике;
- использования приобретенных знаний и умений для решения задач, возникающих в профессиональной деятельности.

КИНЕМАТИКА И ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Цель занятия: научиться решать задачи по теме занятия

Задачи для решения на занятии

1. Три четверти своего пути автомобиль прошел со скоростью $v_1=60\text{ км/ч}$, остальную часть пути – со скоростью $v_2=80\text{ км/ч}$. Какова средняя путевая скорость автомобиля?
2. Три четверти всего времени движения автомобиль прошел со скоростью $v_1=60\text{ км/ч}$, остальную часть времени – со скоростью $v_2=80\text{ км/ч}$. Какова средняя путевая скорость автомобиля?
3. Найти скорость относительно берега реки: 1) лодки, идущей по течению; 2) лодки, идущей против течения; 3) лодки, идущей под углом 90° к течению. Скорость течения реки 1 м/с , скорость лодки относительно воды 2 м/с .
4. Кинематическое уравнение движения материальной точки по прямой (ось x) имеет вид $x=A+Bt+Ct^3$, где $A = 4\text{ м}$, $B=2\text{ м/с}$, $C= -0,5\text{ м/с}^2$. Для момента времени $t_1=2\text{ с}$ определить: 1) координату x_1 точки, 2) мгновенную скорость v_1 , 3) мгновенное ускорение a_1
5. Камень падает с высоты 1200 м . Какой путь пройдет камень за последнюю секунду своего падения?
6. Тело, брошенное вертикально вверх, находилось на одной и той же высоте $h=8,6\text{ м}$ два раза с интервалом $\Delta t=3\text{ с}$. Пренебрегая сопротивлением воздуха, вычислить начальную скорость брошенного тела.
7. По окружности радиусом $R=5\text{ м}$ равномерно движется материальная точка со скоростью $v=5\text{ м/с}$. Построить графики зависимости длины пути s и модуля перемещения $|\Delta r|$ от времени t . В момент времени, принятый за начальный ($t=0$), $s(0)$ и $|\Delta r(0)|$ считать равными нулю.
8. За время $t=6\text{ с}$ точка прошла путь, равный половине длины окружности радиусом $R=0,8\text{ м}$. Определить среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ за это время и модуль вектора средней скорости $|\langle v \rangle|$.
9. Движение точки по окружности радиусом $R=4\text{ м}$ задано уравнением $\xi=A+Bt+Ct^2$, где $A=10\text{ м}$, $B=-2\text{ м/с}$, $C=1\text{ м/с}^2$. Найти тангенциальное a_t , нормальное a_n и полное a ускорения точки в момент времени $t=2\text{ с}$.

10. Тело, брошено под углом к 30° к горизонту со скоростью 10 м/с . Определить дальность полета, максимальную высоту подъема и полное время полета тела.
1. Автомобиль массой 1200 кг останавливается при торможении за 5 с , пройдя при этом равнозамедленно расстояние 25 м . Найти начальную скорость автомобиля и силу торможения.
2. Под действием постоянной силы $F=9,81\text{ Н}$ тело движется прямолинейно так, что зависимость пройденного телом пути от времени дается уравнением $s = A - Bt + Ct^2$ найти массу тела, если $C=1\text{ м/с}^2$.
3. Наклонная плоскость, образующая угол 25° с плоскостью горизонта, имеет длину 2 м . Тело, двигаясь равноускоренно, соскользнуло с этой плоскости за 2 с . Определить коэффициент трения тела о плоскость.
4. На автомобиль массой 1 т во время движения действует сила трения, равная $0,1$ его силы тяжести. Найти силу тяги, развиваемую мотором автомобиля, если автомобиль движется с постоянной скоростью в гору с уклоном 1 м на каждые 25 м пути.
5. Радиус Земли в $n=3,66$ раза больше радиуса Луны; средняя плотность Земли в $k=1,66$ раза больше средней плотности Луны. Определить ускорение свободного падения $g_{\text{л}}$ на поверхности Луны, если на поверхности Земли ускорение свободного падения g считать известным.
6. Период T вращения искусственного спутника Земли равен 2 ч . Считая орбиту спутника круговой, найти, на какой высоте A над поверхностью Земли движется спутник.
7. Грузик, привязанный к шнуру длиной $l=50\text{ см}$, описывает окружность в горизонтальной плоскости. Какой угол α образует шнур с вертикалью, если частота вращения $n=1\text{ с}^{-1}$?
8. Автомобиль идет по закруглению шоссе, радиус R кривизны которого равен 200 м . Коэффициент трения μ колес о покрытие дороги равен $0,1$ (гололед). При какой скорости v автомобиля начнется его занос?
9. Диск радиусом $R=40\text{ см}$ вращается вокруг вертикальной оси. На краю диска лежит кубик. Принимая коэффициент трения $\mu=0,4$, найти частоту n вращения, при которой кубик соскользнет с диска.

10. Автомобиль массой $m=5\text{т}$ движется со скоростью $v=10\text{м/с}$ по выпуклому мосту. Определить силу F давления автомобиля на мост в его верхней части, если радиус R кривизны моста равен 50м .

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

Цель занятия: научиться решать задачи по теме занятия

Задачи для решения на занятии

1. Шар массой $m=10\text{кг}$, движущийся со скоростью $v_1=4\text{м/с}$, сталкивается с шаром массой $m=4\text{кг}$, скорость v_2 которого равна 12м/с . Считая удар прямым, неупругим, найти скорость u шаров после удара в двух случаях: 1) малый шар нагоняет большой шар, движущийся в том же направлении; 2) шары движутся навстречу друг другу.
2. На спокойной воде пруда стоит лодка длиной L и массой M перпендикулярно берегу, обращенная к нему носом. На корме стоит человек массой m . На какое расстояние s приблизится лодка к берегу, если человек перейдет с кормы на нос лодки? Трением о воду и воздух пренебречь.
3. На железнодорожной платформе установлено орудие. Масса платформы с орудием $M=15\text{т}$. Орудие стреляет вверх под углом $\varphi=60^\circ$ к горизонту в направлении пути. С какой скоростью v_1 покатится платформа вследствие отдачи, если масса снаряда $m=20\text{кг}$ и он вылетает со скоростью $v_2=600\text{ м/с}$?
4. Снаряд массой $m=10\text{кг}$ обладал скоростью $v=200\text{м/с}$ в верхней точке траектории. В этой точке он разорвался на две части. Меньшая массой $m_1=3\text{кг}$ получила скорость $u_1=400\text{м/с}$ в прежнем направлении. Найти скорость u_2 второй, большей части после разрыва.
5. Два конькобежца массами $m_1=80\text{кг}$ и $m_2=50\text{кг}$, держась за концы длинного натянутого шнура, неподвижно стоят на льду один против другого. Один из них начинает укорачивать шнур, выбирая его со скоростью $v=1\text{м/с}$. С какими скоростями u_1 и u_2 будут двигаться по льду конькобежцы? Трением пренебречь.

6. Шарик массой $m=100\text{г}$ упал с высоты $h=2,5\text{м}$ на горизонтальную плиту, масса которой много больше массы шарика, и отскочил от нее вверх. Считая удар абсолютно упругим, определить импульс p , полученный плитой.
7. С башни высотой 35м горизонтально брошен камень массой $0,3\text{кг}$. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить: 1) скорость, с которой брошен камень, если через 1с после начала движения его кинетическая энергия 60Дж ; 2) потенциальную энергию камня через 1с после начала движения.
8. Пренебрегая трением, определить наименьшую высоту, с которой должна скатываться тележка с человеком по желобу, переходящему в петлю радиусом 10м , чтобы она сделала полную петлю и не выпала из желоба.
9. Платформа, имеющая форму диска, может вращаться около вертикальной оси. На краю платформы стоит человек массой $m_1=60\text{кг}$. На какой угол φ повернется платформа, если человек пойдет вдоль края платформы и, обойдя его, вернется в исходную точку на платформе? Масса m_2 платформы равна 240кг . Момент инерции J человека рассчитывать как для материальной точки.
10. В центре скамьи Жуковского стоит человек и держит в руках стержень длиной $l=2,4\text{м}$ и массой $m=8\text{кг}$, расположенный вертикально по оси вращения скамейки. Скамья с человеком вращается с частотой $n_1=1\text{с}^{-1}$. С какой частотой n_2 будет вращаться скамья с человеком, если он повернет стержень в горизонтальное положение? Суммарный момент инерции J человека и скамьи равен $6\text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Цель занятия: научиться решать задачи по теме занятия

Задачи для решения на занятии

1. Написать уравнение гармонического колебательного движения с амплитудой 5см , если в 1 минуту совершается 150 колебаний и начальная фаза равна 45° .
2. Амплитуда гармонического колебания 5см , период 4с . Найти максимальную скорость колеблющейся точки и ее максимальное ускорение.
3. Точка совершает гармоническое колебание. Период колебаний 2с , амплитуда 50мм , начальная фаза равна нулю. Найти скорость точки в момент времени, когда смещение точки от положения равновесия равно 25мм .

4. Амплитуда гармонических колебаний материальной точки 2см, полная энергия колебаний $3 \cdot 10^{-7}$ Дж. При каком смещении от положения равновесия на колеблющуюся точку действует сила $2,25 \cdot 10^{-5}$ Н.
5. Барабан электрокимографа диаметром 16см вращается с линейной скоростью 0,8см/сек. Пишущий элемент совершает колебания с частотой 1Гц. Сколько полных колебаний будет записано на ленте за время одного оборота барабана?
6. Пишущий элемент регистрирующего прибора совершает колебания по закону $x = 2 \sin \pi(t - 0.4)$ см. Определить амплитуду, период и начальную фазу колебаний. Через сколько времени после начала отсчета пишущий элемент будет проходить положение равновесия?
7. Камертон издает звук частотой 400Гц. Определить максимальные скорость и ускорение конца ветви камертона, если амплитуда равна 0,2мм.
8. К пружине подвешен груз массой 10кг. Зная, что пружина под влиянием силы 9,81Н растягивается на 1,5см, определить период вертикальных колебаний груза.
9. Рассматривая биение сердца как гармонические колебания, определить разность фаз в пульсовой волне между двумя точками артерии, расположенными на расстоянии 25см друг от друга (локтевая ямка и нижняя треть предплечья). Скорость пульсовой волны считать равной 8м/сек, а частоту биений сердца - 70 ударов в минуту.
10. При какой скорости трамвайный вагон массой 36т будет особенно сильно раскачиваться от толчков колес о стыки рельсов, если длина каждого рельса 12,5м? Вагон подвешен на 4 рессорах, каждая из которых прогибается на 15мм при действии на нее силы 10000Н.

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Цель занятия: научиться решать задачи по теме занятия

Задачи для решения на занятии

1. Определить массу m_1 молекулы: 1) углекислого газа; 2) поваренной соли.
2. Определить количество вещества ν и число N молекул азота массой $m=0,2\text{кг}$.
3. Какое количество вещества содержится в алюминиевой отливке массой $5,4\text{кг}$?
4. Какова масса 50 молей углекислого газа?
5. Определить количество вещества ν водорода, заполняющего сосуд вместимостью $V=3\text{л}$, если плотность газа $\rho=6,65\cdot 10^{-3}\text{кг/м}^3$.
6. Колба вместимостью $V=0,5\text{л}$ содержит газ при нормальных условиях. Определить число N молекул газа, находящихся в колбе.
7. 12г газа занимают объем $4\cdot 10^{-3}\text{м}^3$ при температуре 70°C . После нагревания газа при постоянном давлении его плотность стала равна $6\cdot 10^{-4}\text{г/см}^3$. До какой температуры нагрели газ?
8. Какое число молекул находится в комнате объемом 80м^3 при температуре 170°C и давлении 750 мм. рт. ст.?
9. На пути молекулярного пучка стоит «зеркальная» стенка. Найти давление, испытываемое этой стенкой, если скорость молекул в пучке $V=103\text{м/с}$, концентрация $n=5\cdot 10^{17}/\text{м}^3$, масса $m=3,32\cdot 10^{-27}\text{кг}$. Рассмотреть три случая: 1) стенка расположена перпендикулярно скорости пучка и неподвижна; 2) пучок движется под углом 45° к неподвижной стене; 3) стенка движется навстречу молекулам со скоростью $u=50\text{м/с}$.
10. Если давление, под которым находится газ, изменить на $2\cdot 10^5\text{Па}$, то объем газа изменится на 3л. Если давление изменится на $5\cdot 10^5\text{Па}$, объем изменится на 5л. Каковы были начальные объем и давление газа? Температура газа во время опыта не менялась.

ТЕРМОДИНАМИКА

Цель занятия: научиться решать задачи по теме занятия

Задачи для решения на занятии

1. Газ, находящийся под давлением $p=10^5\text{Па}$, изобарно расширился, совершив работу $A=25\text{Дж}$. Насколько увеличился объем газа?

2. При адиабатном сжатии кислорода массой $m=1\text{ кг}$ совершена работа $A=100\text{ кДж}$. Определить конечную температуру T_2 газа, если до сжатия кислород находился при температуре $T_1=300\text{ К}$.
3. Определить работу A адиабатного расширения водорода массой $m=4\text{ г}$, если температура газа понизилась на $\Delta T=10\text{ К}$.
4. При изотермическом расширении газ совершил работу, равную 20 Дж . Какое количество теплоты сообщено газу?
5. Идеальный двухатомный газ, содержащий количество вещества $\nu=1$ моль, совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Наименьший объем $V_{\min}=10$ л, наибольший $V_{\max}=20$ л, наименьшее давление $p_{\min}=246$ кПа, наибольшее $p_{\max}=410$ кПа. Построить график цикла. Определить температуру T газа для характерных точек цикла и его термический КПД η .
6. Идеальный двухатомный газ, содержащий количество вещества $\nu=1$ моль и находящийся под давлением $p_1=0,1$ МПа при температуре $T_1=300$ К, нагревают при постоянном объеме до давления $p_2=0,2$ МПа. После этого газ изотермически расширился до начального давления и затем изобарно был сжат до начального объема V_1 . Построить график цикла. Определить температуру T газа для характерных точек цикла и его термический КПД η .
7. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, $2/3$ количества теплоты Q_1 , полученного от нагревателя, отдает охладителю. Температура T_2 охладителя равна 280 К. Определить температуру T_1 нагревателя.
8. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура T_1 нагревателя в три раза выше температуры T_2 охладителя. Нагреватель передал газу количество теплоты $Q_1=42$ кДж. Какую работу A совершил газ?
9. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура T_1 нагревателя в четыре раза выше температуры T_2 охладителя. Какую долю ω количества теплоты, получаемого за один цикл от нагревателя, газ отдает охладителю?
10. Идеальный газ совершает цикл Карно. Работа A_1 изотермического расширения газа равна 5 Дж. Определить работу A_2 изотермического сжатия, если термический КПД η цикла равен $0,2$.

ЭЛЕКТРОСТАТИКА ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

Цель занятия: научиться решать задачи по теме занятия

Задачи для решения на занятии

1. Два точечных заряда, находясь в воздухе на расстоянии 20см друг от друга, взаимодействуют с некоторой силой. На каком расстоянии нужно поместить эти заряды в масле, чтобы получить ту же силу взаимодействия?
2. Тонкое кольцо радиусом 8см несет заряд, равномерно распределенный с линейной плотностью 10 нКл/м . Какова напряженность электрического поля в точке, равноудаленной от всех точек кольца на расстояние 10см?
3. Тонкое кольцо радиусом 10см несет равномерно распределенный заряд $0,1\text{ мКл}$. На перпендикуляре к плоскости кольца, восстановленном из его середины, находится точечный заряд 10 нКл . Определить силу, действующую на точечный заряд со стороны заряженного кольца, если он удален от центра кольца на: 1) 20см; 2) 2м.
4. Математический маятник представляет собой шарик массы $m=0,1\text{ г}$ с зарядом $q=160\text{ нКл}$, подвешенный на шелковой нити длины $l=36\text{ см}$. С каким периодом будет колебаться маятник, если его поместить в однородное электрическое поле с напряженностью $E=25\text{ кВ/м}$?
5. Потенциал электрического поля на расстоянии 40см от точечного заряда равен 200В. Какая сила будет действовать на точечный заряд $q=1\text{ нКл}$, помещенный в эту точку?
6. Сто одинаковых капель ртути, заряженных до потенциала $\varphi=20\text{ В}$, сливаются в одну большую каплю. Каков потенциал φ_1 образовавшейся капли?
7. Найти разность потенциалов, которую пролетел электрон, обладающий скоростью 5900 км/с .
8. Электрон с некоторой начальной скоростью V_0 влетает в плоский конденсатор параллельно пластинам на равном расстоянии от них. К пластинам конденсатора приложена разность потенциалов $U=300\text{ В}$. Расстояние между пластинами 2см,

длина конденсатора 10см. Какова должна быть предельная начальная скорость электрона, чтобы электрон не вылетел из конденсатора?

9. Электрон, двигаясь в электрическом поле, увеличил скорость с $v_1=10^7\text{м/с}$ до $3\cdot 10^7\text{м/с}$. Найдите разность потенциалов между начальной и конечной точками перемещения электрона. Отношение заряда электрона к его массе равно $1,76 \times 10^{11}\text{Кл/кг}$.
10. Точечные заряды $Q_1=1\text{мкКл}$ и $Q_2=0,1\text{мкКл}$ находятся на расстоянии $r_1=10\text{см}$ друг от друга. Какую работу A совершат силы поля, если второй заряд, отталкиваясь от первого, удалится от него на расстояние: 1) $r_2=10\text{м}$; 2) $r_3=$?

1. Обмотка катушки из медной проволоки при температуре 14°C имеет сопротивление 10Ом . После пропускания тока сопротивление обмотки стало $12,2\text{Ом}$. До какой температуры нагрелась обмотка? Температурный коэффициент сопротивления меди $4,15\cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.
2. Элемент, амперметр и некоторое сопротивление включены последовательно. Сопротивление сделано из медной проволоки длиной 100м и поперечным сечением 2мм^2 , сопротивление амперметра $0,05\text{Ом}$; амперметр показывает $1,43\text{А}$. Если же взять сопротивление из алюминиевой проволоки длиной $57,3\text{м}$ и сечением 1мм^2 , то амперметр покажет 1А . Найти Э.Д.С. элемента и его внутреннее сопротивление.
3. Сила тока в проводнике меняется со временем по уравнению $I=4+2t$. Какой заряд проходит через поперечное сечение проводника за время от 2 до 6 секунд? При какой силе постоянного тока за это же время проходит такой же заряд?
4. Определить плотность тока в железном проводнике длиной 10м , если провод находится под напряжением 6В .
5. Намотка в электрической кастрюле состоит из двух одинаковых секций. сопротивление каждой секции 20Ом . Через сколько времени закипит $2,2\text{л}$ воды если: 1) включена одна секция; 2) обе секции включены последовательно; 3) обе секции включены параллельно? Начальная температура воды 16°C , напряжение в сети 110В , к.п.д. нагревателя 85% .

6. Электрический чайник с 1200см^3 воды при 9°C , сопротивление обмотки которого 16Ом , забыли выключить. Через сколько времени после включения вся вода в чайнике выкипит? Напряжение в сети 220В , к.п.д. чайника 60% .
7. Три батареи с ЭДС $\varepsilon_1=12\text{В}$, $\varepsilon_2=5\text{В}$ и $\varepsilon_3=10\text{В}$ и одинаковыми внутренними сопротивлениями r , равными 1Ом , соединены между собой одноименными полюсами. Сопротивление соединительных проводов ничтожно мало. Определить силы токов I , идущих через каждую батарею.
8. К батарее аккумуляторов, ЭДС ε которой равна 2В и внутреннее сопротивление $r=0,5\text{Ом}$, присоединен проводник. Определить: 1) сопротивление R проводника, при котором мощность, выделяемая в нем, максимальна; 2) мощность P , которая при этом выделяется в проводнике.
9. Электрический чайник имеет две обмотки. При включении одной из них вода закипает через 15мин , при включении другой через 30мин . Через сколько времени закипит вода, если включить обе обмотки: 1) последовательно; 2) параллельно.
10. Два цилиндрических проводника, один из меди, другой из алюминия, имеют одинаковую длину и одинаковое сопротивление. Во сколько раз медный провод тяжелее алюминиевого

МАГНИТОСТАТИКА. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Цель занятия: научиться решать задачи по теме занятия

Задачи для решения на занятии

1. По двум длинным параллельным проводам текут в одинаковом направлении токи $I_1=1\text{А}$ и $I_2=2\text{А}$. Расстояние между проводами $l=5\text{см}$. Определить напряженность магнитного поля в точке, удаленной от первого провода на $b_1=3\text{см}$ и от второго на $b_2=4\text{см}$.
2. По тонкой катушке течет ток $I=7\text{А}$, радиус витков $r=10\text{см}$. При каком числе витков N напряженность магнитного поля в центре катушки будет $H=245\text{А/м}$? Считать катушку плоской.
3. Протон описал окружность радиусом $R=5\text{см}$ в однородном магнитном поле с индукцией $B=20\text{мТл}$. Определить скорость v протона. ($m_{\text{пр}}=1.67\cdot 10^{-27}\text{кг}$).

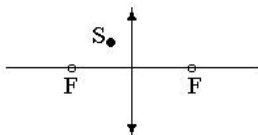
4. Частица массой m , несущая заряд q , влетает в магнитное поле индукцией B перпендикулярно линиям магнитного поля, в результате чего она начинает двигаться по окружности радиусом R , охватывающей магнитные линии. Найти импульс частицы p и ее кинетическую энергию W_k .
5. Прямой провод длиной $l=10\text{см}$, по которому течет ток силой $I=20\text{А}$, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,01\text{Тл}$. Найти угол α между направлениями вектора B и тока, если на провод действует сила $F=10\text{мН}$.
6. Равносторонний треугольник со стороной $l=10\text{см}$ расположен в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,2\text{Тл}$. Найти силы, действующие на все стороны треугольника, если по нему течет ток силой $I=5\text{А}$, а вектор B параллелен одной из его сторон.
7. Сколько витков имеет катушка, индуктивность которой $L=1\text{мГн}$, если при токе $I=1\text{А}$ магнитный поток через катушку равен $\Phi=2\text{мкВб}$.
8. По катушке протекает ток $I=1\text{А}$, который создает в ней магнитный поток $\Phi=0,6\text{Вб}$. Сколько витков имеет катушка, если длина катушки $l=40\text{см}$, радиус $r=5\text{см}$ и относительная магнитная проницаемость железного сердечника при этом токе $\mu_r=100$?
9. Вычислить среднюю э. д. с. самоиндукции, получающуюся при размыкании тока в электромагните. Число витков $N = 1000$, поперечное сечение соленоида $S=10\text{см}^2$, индукция $B=1,5\text{Тл}$ и время размыкания $\Delta t=0,01\text{с}$.
10. В однородном магнитном поле, индукция которого $B=0,1\text{Тл}$, равномерно вращается катушка, состоящая из $N=100$ витков проволоки. Частота вращения катушки $n=5\text{с}^{-1}$, площадь поперечного сечения катушки $S=0,01\text{м}^2$. Ось вращения перпендикулярна к оси катушки и направлению магнитного поля. Найти максимальную ЭДС во вращающейся катушке.

ОПТИКА

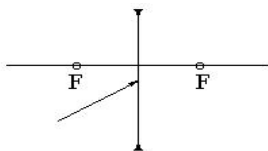
Цель занятия: научиться решать задачи по теме занятия

Задачи для решения на занятии

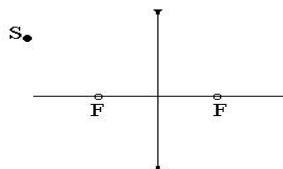
1. Построить изображение светящейся точки в собирающей линзе.



2. На тонкую линзу падает луч света. Найти построением ход луча после преломления его рассеивающей линзой.



3. Построить изображение светящейся точки в рассеивающей линзе.



4. Вертикальный шест высотой $h = 1\text{ м}$, поставленный недалеко от уличного фонаря, отбрасывает тень длиной $l_1 = 80\text{ см}$. Если расстояние между фонарным столбом и шестом увеличить на $s = 1,5\text{ м}$, то длина тени возрастет до $l_2 = 1,3\text{ м}$. На какой высоте H находится фонарь?
5. Луч света идет из стекла в воду и преломляется на плоской границе стекло-вода. При каком угле падения отраженный и преломленный лучи перпендикулярны друг другу?
6. На расстоянии $l = 90\text{ см}$ от стены находится лампа. На каком расстоянии f от стены следует поместить собирающую линзу с фокусным расстоянием $F = 20\text{ см}$, чтобы получить на стене четкое изображение нити накала лампы? Главная оптическая ось линзы перпендикулярна стене.
7. Угол падения света на стеклянную плоскопараллельную пластинку равен 60° . Пройдя сквозь пластинку, луч сместился на 15 мм . Какова толщина пластинки?
8. При съемке с расстояния $d_1 = 4,25\text{ м}$ изображение предмета имеет высоту $H_1 = 2,7\text{ мм}$; при съемке с расстояния $d_2 = 1\text{ м}$ – высоту $H_2 = 12\text{ мм}$. Найдите фокусное расстояние F объектива.

9. С помощью собирающей линзы на экране получают четкое изображение свечи при двух положениях линзы, расстояние между которыми $a=50\text{см}$. Найти оптическую силу D линзы, если свеча находится на расстоянии $l=2,5\text{м}$ от экрана.
10. Высота Солнца над горизонтом (т.е. угол между солнечными лучами и горизонтальной плоскостью) составляет 48° . Под каким углом к горизонту следует расположить зеркало, чтобы осветить «зайчиком» дно глубокого колодца?
1. Оптическая разность хода Δ двух интерферирующих волн монохроматического света равна $0,3\lambda$. Определить разность фаз $\Delta\varphi$.
2. На пути монохроматического света с длиной волны $\lambda=0,6\text{мкм}$ находится плоскопараллельная стеклянная пластина толщиной $d=0,1\text{мм}$. Свет падает на пластину нормально. На какой угол φ следует повернуть пластину, чтобы оптическая длина пути L изменилась на $\lambda/2$?
3. Расстояние d между двумя щелями в опыте Юнга равно 1мм , расстояние l от щелей до экрана равно 3м . Определить длину волны λ , испускаемой источником монохроматического света, если ширина полос интерференции на экране равна $1,5\text{мм}$.
4. Расстояние между пятым и двадцать пятым светлыми кольцами Ньютона равно 9мм . Радиус кривизны линзы 15м . Найти длину волны монохроматического света, падающего нормально на установку. Наблюдение проводится в отраженном свете
5. Радиус четвертой зоны Френеля для плоского волнового фронта равен 3мм . Определить радиус шестой зоны Френеля.
6. Плоская световая волна ($\lambda=0,5\text{мкм}$) падает нормально на диафрагму с круглым отверстием диаметром 1см . На каком расстоянии от отверстия должна находиться точка наблюдения, чтобы отверстие открывало одну зону Френеля, две зоны Френеля.
7. На узкую щель нормально падает параллельный пучок света от монохроматического источника. Угол отклонения пучков света

соответствующих второй светлой дифракционной полосе, равен 10. Скольким длинам волн падающего света равна ширина щели?

8. На щель шириной 0,05мм нормально падает монохроматический свет ($\lambda=0,6\text{мкм}$). Определить угол ϕ между первоначальным направлением пучка света и направлением на четвертую темную дифракционную полосу.
9. Сколько штрихов на 1мм длины имеет дифракционная решетка, если зеленая линия ртути ($\lambda=546,1\text{нм}$) в спектре первого порядка наблюдается под углом $19^{\circ}8'$?
10. На дифракционную решетку, содержащую 500 штрихов на 1мм, падает нормально белый свет. Спектр проецируется помещенной вблизи решетки линзой на экран. Определить ширину спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана 3м. Границы видимости спектра $\lambda_{\text{кр}}=780\text{нм}$, $\lambda_{\text{ф}}=40\text{нм}$.

КВАНТОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА . ОСНОВЫ ФИЗИКИ АТОМА И ЯДРА

Цель занятия: научиться решать задачи по теме занятия

Задачи для решения на занятии

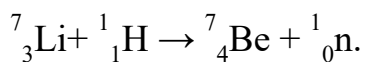
1. Определить максимальную скорость v_{max} фотоэлектронов, вырываемых с поверхности серебра: 1) ультрафиолетовым излучением с длиной волны $\lambda_1=0,155\text{мкм}$; 2) γ -излучением с длиной волны $\lambda_2=2,47\text{пм}$.
2. Определить красную границу λ_0 фотоэффекта для цезия, если при облучении его поверхности фиолетовым светом длиной волны $\lambda=400\text{нм}$ максимальная скорость v_{max} фотоэлектронов равна $0,65\text{Мм/с}$.
3. Определить длину волны света, кванты которого имеют такую же энергию, которую приобретает электрон, пролетевший из состояния покоя разность потенциалов $U=4,1\text{В}$
4. Определить работу выхода A электронов из натрия, если красная граница фотоэффекта $\lambda_0=500\text{нм}$.
5. Будет ли наблюдаться фотоэффект, если на поверхность серебра направить

ультрафиолетовое излучение с длиной волны $\lambda = 300 \text{ нм}$?

6. На поверхность лития падает монохроматический свет ($\lambda=310 \text{ нм}$) Чтобы прекратить эмиссию электронов, нужно приложить задерживающую разность потенциалов U не менее $1,7 \text{ В}$. Определить работу выхода A .
 7. При фотоэффекте с платиновой поверхности величина задерживающего потенциала оказалась равной $0,8 \text{ В}$. Найти: 1) длину волны применяемого облучения; 2) красную границу.
 8. На вольфрамовый катод фотоэлемента падают ультрафиолетовые лучи с длиной волны $\lambda = 0,1 \text{ мкм}$. При каком запирающем напряжении между катодом и анодом фотоэлемента фототок в цепи равен нулю? Работа выхода электрона из вольфрама $A_{\text{вых.}}=4,5\text{эВ}$.
 9. Красная граница фотоэффекта для металла $\lambda_0 = 6,2 \cdot 10^{-5} \text{ см}$. Найти величину запирающего напряжения для фотоэлектронов при освещении металла светом с длиной волны $3300 \text{ \AA}$.
 10. Максимальная скорость v_{max} фотоэлектронов, вылетающих из металла при облучении его γ -фотонами, равна 291 Мм/с . Определить энергию ϵ γ -фотонов.
-
1. Используя известные значения масс нейтральных атомов ^1_1H , ^2_1H , $^{12}_6\text{C}$ и электрона, определить массы m_p протона, m_d дейтона, $m_{\text{я}}$ ядра $^{12}_6\text{C}$.
 2. Определить энергию E , которая выделится при образовании из протонов и нейтронов ядер гелия ^4_2He массой $m=1 \text{ г}$.
 3. Какова вероятность W того, что данный атом в изотопе радиоактивного йода ^{131}I распадается в течение ближайшей секунды?
 4. Постоянная распада λ рубидия ^{89}Rb равна $0,00077\text{с}^{-1}$. Определить его период полураспада $T_{1/2}$.
 5. За один год начальное количество радиоактивного изотопа уменьшилось в три раза. Во сколько раз оно уменьшится за два года?
 6. На сколько процентов снизится активность A изотопа иридия ^{192}Ir за время $t=30\text{сут}$?
 7. Определить число N атомов, распадающихся в радиоактивном изотопе за время

$t=10$ с, если его активность $A=0,1$ МБк. Считать активность постоянной в течение указанного времени.

8. Определить энергию Q ядерных реакций: 1) ${}^9_4\text{Be} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$; 2)



9. Ядро урана ${}^{235}_{92}\text{U}$, захватив один нейтрон, разделилось на два осколка, причем освободилось два нейтрона. Одним из осколков оказалось ядро ксенона ${}^{140}_{54}\text{Xe}$.
Определить порядковый номер Z и массовое число A второго осколка.

10. Какая часть начального количества атомов распадется за один год в радиоактивном изотопе тория ${}^{228}\text{Th}$?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

Величина	Единица	
	наименование	обозначение
Длина	метр	м
Масса	килограмм	кг
Время	секунда	с
Сила электрического тока	ампер	А
Термодинамическая температура	кельвин	К
Сила света	кандела	Кд
Количество вещества	моль	моль
Плоский угол	радиан	рад
Телесный угол	стерадиан	ср

Таблица 2

Приставка	Числовое значение	Обозначение	Приставка	Числовое значение	Обозначение
Атто	10^{-18}	А	Экса	10^{18}	Э
фемто	10^{-15}	Ф	Пета	10^{15}	П
Пико	10^{-13}	П	Тера	10^{12}	Т
Нано	10^{-9}	Н	Гига	10^9	Г М
Микро	10^{-6}	Мк	Мега	10^6	
Милли	10^{-3}	М	Кило	10^3	к
Санتي	10^{-2}	С	Гекто	10^2	г
Деци	10^{-1}	Д	Дека	10^1	да

Таблица 3

<i>Величина</i>	Единица и ее связь с единицами СИ
Длина	1 сантиметр (см) = 10^{-2} м
	1 Микрометр (мкм) = 10^{-6} м
	1 ангстрем (А) = 10^{-10} м
Масса	1 грамм (г) = 10^{-3} кг
	1 тонна (т) = 10^3 кг
	1 центнер (ц) = 10^2 кг
	1 атомная единица массы (а.е. м.) = $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Время	1 сутки (сут) = 86400 с
	1 год = 365,25 сут. = $3,16 \cdot 10^7$ с
Плоский угол	1 градус ($^{\circ}$) = $\pi/180$ рад
	1 минута ($'$) = $\pi/648 \cdot 10^{-2}$ рад
	1 секунда ($''$) = $\pi/648 \cdot 10^{-3}$ рад
	1 оборот (об) = 2π рад
Площадь	1 ар (ар) = 10^2 м ²
	1 гектар (га) = 10^4 м ²
Объем	1 литр (л) = 10^{-3} м ³
Сила	1 дина (дин) = 10^{-5} Н
	1 килограмм-сила (кгс) = 9,81 Н
	1 тонна-сила (тс) = $9,81 \cdot 10^3$ Н
Давление	1 дин/см ² = 0,1 Па
	1 Кг с/м ² = 9,81 Па
	1 миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.) = 133,0 Па

	1 техническая атмосфера $(\text{ат}) = 1 \text{ кгс/см}^2 = 0,981 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ 1 физическая атмосфера $(\text{атм}) = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$
Работа, энергия	1 эрг $= 10^{-7} \text{ Дж}$. 1 килограмм-сила-метр $(\text{кгс-м}) = 9,81 \text{ Дж}$ 1 ватт-час (Вт-ч) $= 3,6 \cdot 10^3 \text{ Дж}$ 1 электронвольт $(1 \text{ эВ}) = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ 1 калория (кал) $= 4,19 \text{ Дж}$
Мощность	1 эрг/с $= 10^{-7} \text{ Вт}$ 1 лошадиная сила $(\text{л. с.}) = 75 \text{ кгс} \cdot \text{м/с} = 736 \text{ Вт}$
Динамическая вязкость	пуаз (П) $= 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$
Кинематическая вязкость	1 стокс (Ст) $= 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

Таблица 4

Основные физические постоянные	
Ускорение свободного падения	$g = 9,81 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярная газовая постоянная	$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$
Молярный объем	$V_m = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$

Элементарный заряд	$e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса электрона	$m_e=9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Удельный заряд электрона	$e/m=1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Скорость света в вакууме	$c=3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma=5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная закона смещения Вина	$b=2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянные в формуле Планка	$C_1=3,74 \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$ $C_2=1,44 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Планка	$h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Ридберга	$R=2,07 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$
Боровский радиус	$a=5,29 \cdot 10^{-11} \text{ м}$
Комптоновская длина волны электрона	$\lambda_e=2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Магнетон Бора	$\mu_B=9,27 \cdot 10^{-24} \text{ Дж/Тл}$
Энергия ионизации атома водорода	$E_i=2,18 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.}=1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Ядерный магнетон	$\mu_N=5,05 \cdot 10^{-27} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Электрическая постоянная	$\varepsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	$\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$

ТАБЛИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Плотность ρ твердых тел и жидкостей

(Мг/м³, или г/см³)

Твердые тела

Алюминий.....	2,70
Висмут.....	9,80
Вольфрам.....	19,3

Железо (чугун, сталь).....	7,87
Золото.....	19,3
Каменная соль.....	2,20
Латунь.....	8,55
Марганец.....	7,40
Медь.....	8,93
Никель.....	8,80
Платина.....	21,4
Свинец.....	11,3
Серебро.....	10,5
Уран.....	18,7

Жидкости (при 15⁰С)

Вода (дистиллированная при 4 ⁰ С)	1,00
Глицерин.....	1,26
Керосин.....	0,8
Масло (оливковое, смазочное)	0,9
Масло касторовое.....	0,96
Ртуть	13,6
Сероуглерод.....	1,26
Спирт.....	0,8
Эфир.....	0,7

Плотность ρ газов

при нормальных условиях (кг/м³)

Азот.....	1,25
Аргон.....	1,78
Водород.....	0,09
Воздух.....	1,29

Гелий.....0,18

Кислород.....1,43

Упругие постоянные твердых тел (округленные значения)

Вещество	Модуль Юнга E, ГПа	Модуль сдвига G, ГПа
Алюминий	69	24
Вольфрам	380	140
Железо (сталь)	200	76
Медь	98	44
Серебро	74	27

Эффективный диаметр молекул, динамическая вязкость и теплопроводность газов при нормальных условиях

Вещество	Эффективный диаметр d, нм	Динамическая вязкость η , мкПа·с	Теплопроводность λ , мВт/(м·К)
Азот	0,38	16,6	24,3
Аргон	0,35	21,5	16,2
Водород	0,28	8,66	168
Воздух	—	17,2	24,1
Гелий	0,22	—	—
Кислород	0,36	19,8	24,4
Пары воды	—	8,32	15,8

Критические параметры и поправки Ван-дер-Ваальса

Газ	Критическая температура $T_{кр}$, К	Критическое давление $P_{кр}$, Мпа	Поправки Ван-дер-Ваальса	
			a , Н·м ⁴ /моль ²	b , 10 ⁻⁵ м ³ /моль
Азот	126	3,39	0,135	3,86
Аргон	151	4,86	0,134	3,22
Водяной пар	647	22,1	0,545	3,04
Кислород	155	5,08	0,136	3,17
Неон	44,4	2,72	0,209	1,70
Углекислый газ	304	7,38	0,361	4,28
Хлор	417	7,71	0,650	5,62

Динамическая вязкость η жидкостей при 20 °С (мПа·с)

Вода.....	1,00
Глицерин.....	1480
Масло касторовое.....	987
Масло машинное.....	200
Ртуть.....	1,58

Поверхностное натяжение σ жидкостей при 20 °С (мН/м)

Вода.....	73
Глицерин.....	62
Мыльная вода.....	40
Ртуть.....	$5,0 \cdot 10^2$
Спирт.....	22

Скорость звука c , м/с

Вода.....	1450
Воздух (сухой при нормальных условиях)	332

Диэлектрическая проницаемость ϵ

Вода.....	81
Масло(трансформаторное)	2,2
Парафин.....	2,0
Слюда.....	7,0
Стекло.....	7,0
Фарфор.....	5,0
Эбонит.....	3,0

Удельное сопротивление ρ и температурный коэффициент α проводников

Вещество	ρ при 20 ⁰ С, нОм·м	α , ⁰ С ⁻¹
Железо	98	$6,2 \cdot 10^{-3}$
Медь	17	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Алюминий	26	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Графит	$3,9 \cdot 10^3$	$-0,8 \cdot 10^3$

Показатели преломления n

Алмаз.....	2,42
Вода.....	1,33
Масло коричное.....	1,60
Сероуглерод.....	1,63
Стекло.....	1,50

Работа выхода электронов из металла

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

Масса и энергия покоя некоторых элементарных частиц и легких ядер

Частица	Масса		Энергия	
	$m_0, \text{кг}$	$m_0 \text{ а.е.м.}$	$E_0, \text{Дж}$	$E_0, \text{МэВ}$
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,161 \cdot 10^{-14}$	0,511
Нейтральный мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,145261	—	135
Протон	$1,67 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,68 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,5 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
α -Частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733

Период полураспада радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ изотопа	Тип распада	Период полураспада
Актиний	$^{225}_{89} \text{Ac}$	α	10 сут
Йод	$^{131}_{53} \text{I}$	β^-, γ	8 сут
Иридий	$^{192}_{77} \text{Ir}$	β^-, γ	75 сут
Кобальт	$^{60}_{27} \text{Co}$	β^-, γ	5,3 года

Магний	$^{27}_{12}Mg$	β^-	10 мин
Радий	$^{219}_{88}Ra$	α	10^{-3} с
Радий	$^{226}_{88}Ra$	α, γ	$1,62 \cdot 10^3$ лет
Радон	$^{222}_{86}Rn$	α	3,8 сут
Стронций	$^{90}_{38}Sr$	β^-	28 лет
Торий	$^{229}_{90}Th$	α, γ	$7 \cdot 10^3$ лет
Уран	$^{238}_{92}U$	α, γ	$4,5 \cdot 10^9$ лет
Фосфор	$^{32}_{15}P$	β^-	14,3 сут
Натрий	$^{22}_{11}Na$	γ	2,6 года

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА, ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

При подготовке к практическим занятиям необходимо:

- повторить материал соответствующих лекций;

В результате выполнения заданий достигаются следующие результаты обучения:

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

Примерные вопросы по содержанию практических занятий.

Практическое занятие №1 «Кинематика и динамика материальной точки»

1. Запишите уравнение равномерного движения материальной точки.
2. Запишите уравнение равнопеременного движения материальной точки.
3. Запишите закон изменения скорости для равнопеременного движения материальной точки.
4. Дайте определение средней скорости. Запишите формулу для ее вычисления.
5. Дайте определение тангенциального ускорения.
6. Дайте определение нормального ускорения.
7. Напишите формулу для вычисления величины полного ускорения по известным тангенциальному и нормальному ускорениям.

8. Сформулируйте законы Ньютона.
9. Направление и величина вектора полного ускорения.
10. Составляющие вектора полного ускорения.
11. Направление и величина центростремительного ускорения.
12. Направление и величина тангенциального ускорения

Практическое занятие №2 «Законы сохранения в механике»

1. Что называется механической системой?
2. Какие системы являются замкнутыми? консервативными? Является ли Вселенная замкнутой системой?
3. Что называется центром масс системы. Закон движения центра масс.
4. Сформулируйте закон сохранения импульса системы.
5. Чем отличается абсолютно упругий удар от абсолютно неупругого?
6. Каким свойством пространства обусловлена справедливость закона сохранения импульса.
7. Сформулируйте закон сохранения механической энергии? Для каких систем он выполняется?
8. Каким свойством времени обусловлена справедливость закона сохранения механической энергии?
9. Сформулируйте закон сохранения момента импульса.
10. Для каких систем выполняется закон сохранения момента импульса.
11. Каким свойством пространства обусловлена справедливость закона сохранения момента импульса.

Практическое занятие №3 «Механические колебания и волны»

1. 1. Запишите уравнение гармонического колебания.
2. 2. Каковы основные параметры, характеризующие гармонические колебания.
3. 3. Запишите формулу периода колебаний математического маятника
4. 4. Запишите формулу периода колебаний пружинного маятника
5. 5. Запишите формулу периода колебаний физического маятника
6. 6. Приведите дифференциальное уравнение гармонических колебаний

Практическое занятие №4 «Молекулярно-кинетическая теория идеального газа»

7. Сформулируйте основные положения молекулярно-кинетической теории.
8. Приведите основные доказательства молекулярного строения вещества.
9. Что называют относительной атомной массой.
10. Что называют относительной молекулярной массой.
11. Что такое молярная масса вещества.
12. Каковы масштабы величин в молекулярно-кинетической теории вещества.
13. Назовите основные признаки агрегатных состояний вещества.
14. Каков физический смысл постоянной Авогадро? числа Лошмидта?
15. Что представляет собой модель идеального газа?
16. Сформулируйте закон Бойля-Мариотта. Какие процессы он описывает?
17. Какие процессы называют изобарными, изохорными? Сформулируйте законы Гей-Люссака и Шарля.
18. Изобразите графики изопроцессов в координатах pV , pT и VT .
19. Сформулируйте закон Авогадро. Чему равен молярный объем?
20. Что называют парциальным давлением? Сформулируйте закон Дальтона.
21. Запишите уравнение состояния идеального газа.
22. В чем заключается молекулярно-кинетическое толкование давления газа?

Практическое занятие №5 «Термодинамика»

1. В чем суть термодинамического метода исследования систем?
2. Что называют термодинамическими параметрами? состоянием термодинамического равновесия? термодинамическим процессом?
3. Как определить число степеней свободы молекулы?
4. Что называют внутренней энергией системы? Как рассчитать внутреннюю энергию идеального газа?
5. Как можно изменить внутреннюю энергию газа?
6. Сформулируйте первое начало термодинамики
7. Как рассчитать работу газа при изопроцессах?

8. Что называют удельной теплоемкостью тела? молярной теплоемкостью тела?
Связь между молярной и удельной теплоемкостью.
9. Какой процесс называют адиабатическим?
10. Как графически рассчитать работу совершенную газом за цикл?
11. Что называют КПД цикла? как его рассчитать?
12. Что представляет собой цикл Карно?
13. Сформулируйте теорему Карно.
14. Как рассчитать КПД цикла Карно?
15. Запишите уравнение Пуассона в переменных pV , pT и VT .

Практическое занятие №6 «Электростатика» Законы постоянного тока

1. Запишите закон Кулона.
2. Дайте определение линии напряженности электрического поля.
3. Запишите формулу для напряженности поля точечного заряда.
4. Сформулируйте принцип суперпозиции для электрического поля.
5. Дайте определение потока вектора напряженности электрического поля.
6. Сформулируйте теорему Гаусса для электрического поля.
7. Дайте определение потенциала.
8. Дайте определение разности потенциалов.
9. Запишите формулу для определения потенциала поля точечного заряда в данной точке.
10. Какая связь между напряженностью и потенциалом.
1. Что такое электрический ток?
2. Дайте определение величины (силы) тока.
3. Дайте определение разности потенциалов (напряжения).
4. Дайте определение электродвижущей силы.
5. Напишите закон Ома для участка цепи. Сравните его с законом Ома в дифференциальной (локальной) форме.
6. Напишите формулу для сопротивления последовательно соединенных резисторов.
7. Напишите формулу для сопротивления параллельно соединенных резисторов.
8. Как зависит сопротивление проводника от его геометрических размеров.

9. Запишите формулу зависимости проводника от температуры.
10. Запишите закон Ома для полной цепи.
11. Какой участок цепи называется неоднородным?
12. Запишите закон Ома для неоднородного участка цепи.
13. Какими характеристиками описывается источник ЭДС?
14. Сформулируйте и запишите правило узлов Кирхгофа.
15. Сформулируйте и запишите правило контуров Кирхгофа

Практическое занятие №7 «Магнитостатика. Электро-магнитная индукция»

1. Магнитное поле и его характеристики.
2. Напряженность и индукция магнитного поля.
3. Линии напряженности магнитного поля, их отличие от линий напряженности электростатического поля.
4. Как определить направление вектора магнитной индукции?
5. Закон Био-Савара-Лапласа
6. Магнитное поле прямого и кругового токов.
7. Магнитное поле соленоида и тороида.
8. Поток вектора магнитной индукции. Теорема Гаусса для поля **$\mathbf{B}$** .
9. Циркуляция вектора **$\mathbf{B}$** магнитного поля в вакууме.
10. Закон Ампера. Взаимодействие параллельных токов.
11. Как определить направление силы Ампера?
12. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца.
13. Сформулируйте определение явления электромагнитной индукции.
14. Сформулируйте закон электромагнитной индукции.
15. Сформулируйте правило Ленца.

Практическое занятие №8 «Оптика»

1. Сформулируйте основные законы геометрической оптики.
2. В чем заключается принцип наименьшего времени Ферма?
3. В чем заключается физический смысл абсолютного показателя преломления среды?

4. Что такое относительный показатель преломления?
5. При каком условии наблюдается полное отражение?
6. В чем заключается принцип работы световодов?
7. Правила построения изображения предметов в линзах?
8. Формула тонкой линзы, линейное увеличение линзы.
9. Дайте определение интерференции.
10. Почему интерференцию можно наблюдать от двух лазеров и нельзя от двух электроламп?
11. Условия максимума и минимума интерференции.
12. Методы получения интерференционной картины.
13. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля.
14. Дайте определение дифракции.
15. В чем заключается принцип построения зон Френеля?
16. Когда наблюдается дифракция Френеля? дифракция Фраунгофера?
17. Почему дифракция не наблюдается на больших отверстиях и больших дисках?
18. Дифракционная решетка. Период дифракционной решетки.
19. Условия минимума и максимума дифракционной решетки.
20. Как определить наибольший порядок спектра дифракционной решетки?
21. От чего зависит разрешающая способность дифракционной решетки и как вывести формулу для ее определения?

Практическое занятие №9 «Квантовые свойства света» «Элементы теории атома и ядра»

1. Какое явление называется фотоэффектом
2. Чем отличаются внешний и внутренний фотоэффекты?
3. Сформулируйте законы фотоэффекта.
4. Что называется красной границей фотоэффекта
5. Как из опытов по фотоэффекту определяется постоянная Планка?
6. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
7. Как с помощью уравнения Эйнштейна объяснить I и II законы фотоэффекта?

8. Нарисуйте и объясните вольт-амперную характеристику фотоэффекта.
1. Какие частицы образуют ядро?
 2. Чему равны масса и удельная энергия связи ядра?
 3. Дефект масс.
 4. Чем отличаются изобары и изотопы?
 5. Естественная и искусственная радиоактивность.
 6. Закон радиоактивного распада.
 7. Сформулируйте законы сохранения в ядерных реакциях.
 8. Как изменится положение химического элемента в таблице Менделеева после двух α -распадов ядер его атомов? после последовательных одного α -распада и двух β -распадов?
 9. Изменится ли химическая природа элемента при испускании его ядром γ -кванта?
 10. По каким признакам можно классифицировать ядерные реакции?

Примерная тематика заданий для самостоятельного конспектирования

1. Эргометрия;
2. Влияние перегрузок и невесомости на организм человека;
3. Вестибулярный аппарат как инерциальная система ориентации;
4. Ультразвуковые исследования в медицине;
5. Физика слуха;
6. Влияние инфразвуков на человека;
7. Физические методы определения вязкости крови;
8. Механические свойства биологических тканей;
9. Модели кровообращения;
10. Аппарат искусственного кровообращения;
11. Физические основы клинического метода измерения давления крови;
12. Применение низких температур в медицине;
13. Физические основы электрокардиографии;
14. Аэроионы и их лечебно-профилактическое действие;
15. Электропроводность биологических тканей и жидкостей;
16. Магнитные свойства тканей организма;

- 17.Импеданс тканей организма;
- 18.Первичное действие постоянного тока на ткани организма;
- 19.Электрофорез лекарственных веществ;
- 20.Недостатки оптической системы глаза и их компенсация;
- 21.Инфракрасное излучение и его применение в медицине;
- 22.Ультрафиолетовое излучение и его применение в медицине;
- 23.Организм как источник физических полей;
- 24.Лазеры и их применение в медицине;
- 25.Электронный парамагнитный резонанс и его применение в медицине;
- 26.Физические основы применения рентгеновского излучения в медицине;
- 27.Ускорители заряженных частиц и их использование в медицине;
- 28.Магнито-резонансная томография.
- 29.Применение магнитных жидкостей при лечении раковых заболеваний.
- 30.Применение магнитных жидкостей в офтальмологии.
- 31.Применение магнитных жидкостей в рентгеноскопии.
- 32.Применение оптических методов исследования в медицине.
- 33.Врачи в истории физики.

Вопросы для собеседования:

1. Механика
2. Молекулярная физика и термодинамика
3. Электростатика
4. Законы Ома
5. Магнетизм
6. Оптика
7. Колебания и волны
8. Переменный ток
9. Фотоэффект
- 10.Атомная физика
- 11.Ядерная физика
- 12.Элементарные частицы

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы :

1. Физика для инженеров : учебник для вузов / А. В. Благин, Т. С. Беликова, Т. П. Жданова [и др.] ; под редакцией А. В. Благин. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2026. — 544 с. — ISBN 978-5-507-51545-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/451841> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
 2. Аганов, А. В. Медицинская физика. Часть 1. Механика. Молекулярная физика : учебное пособие для вузов / А. В. Аганов. — 4-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 220 с. — ISBN 978-5-507-48335-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/380648> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
- Медицинская физика : учебник / В. А. Федоров, А. В. Яковлев, Т. Н. Плужникова [и др.]. — Тамбов : ТГУ им. Г.Р.Державина, 2023. — 221 с. — ISBN 978-5-00078-755-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/451676> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. Пользователей

Перечень дополнительной литературы :

1. Купо, А. Н. Общая физика. Молекулярная физика: тестовые задания : учебное пособие / А. Н. Купо, С. А. Лукашевич, Е. Б. Шершнева. — Гомель : ГГУ имени Ф. Скорины, 2023. — 33 с. — ISBN 978-985-577-928-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/360983> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Горяев, М. А. Атомная физика : учебно-методическое пособие / М. А. Горяев, И. О. Попова. — Санкт-Петербург : РГПУ им. А. И. Герцена, 2023. — 36 с. — ISBN 978-5-8064-3334-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/355361> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Дырдин, В. В. Физика. Механика. Молекулярная физика и термодинамика : учебное пособие / В. В. Дырдин, С. А. Шепелева, Т. Л. Ким. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2022. — 246 с. — ISBN 978-5-00137-294-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/257552> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Пауткина, А. В. Физика : учебно-методическое пособие / А. В. Пауткина ; под редакцией С. М. Кокина. — Москва : РУТ (МИИТ), 2020. — 61 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/175886> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Лячин, А. В. Физика : учебно-методическое пособие / А. В. Лячин ; под

редакцией А. В. Лячина. — Москва : ТУСУР, 2023 — Часть 2 — 2023. — 48 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/394283> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Шершнева, Е. Б. Общая физика. Физические основы механики, молекулярная физика и термодинамика, электростатика : учебное пособие / Е. Б. Шершнева, А. Н. Купо, С. А. Лукашевич. — Гомель : ГГУ имени Ф. Скорины, 2024. — 39 с. — ISBN 978-985-577-973-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/393983> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. Пользователей

7. Физика для инженеров : учебник для вузов / А. В. Благин, Т. С. Беликова, Т. П. Жданова [и др.] ; под редакцией А. В. Благин. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2026. — 544 с. — ISBN 978-5-507-51545-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/451841> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей

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

Методические указания
для обучающихся по организации и проведению лабораторных работ
по дисциплине «ФИЗИКА»
для студентов специальности 30.05.01 Медицинская биохимия

Введение

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

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

Основные задачи дисциплины:

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

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

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИКИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ ДОРОЖКЕ

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

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

Теория

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

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

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

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

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

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

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

Равномерным прямолинейным движением называется такое

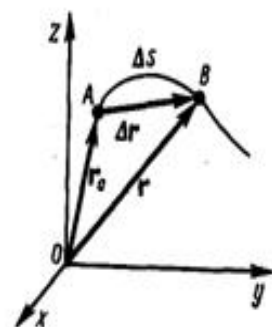


Рис. 1

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

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

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

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

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

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

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

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

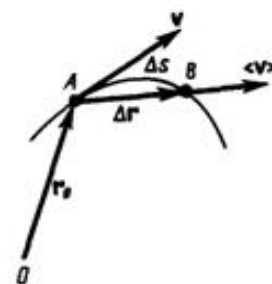


Рис. 2

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

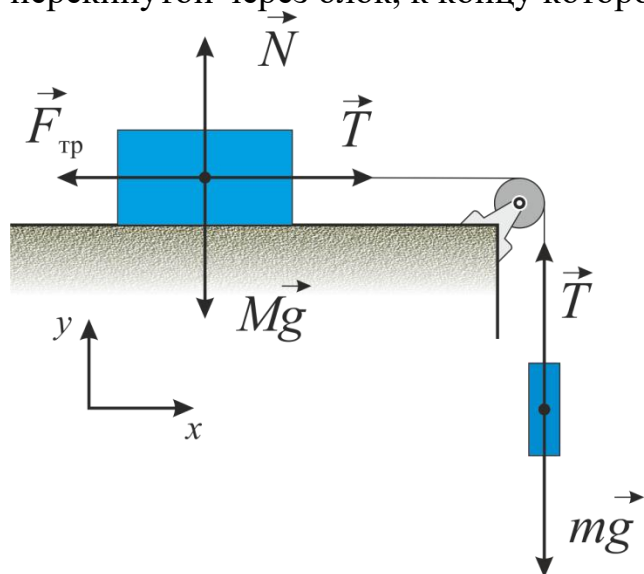


Рис. 3

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

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

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

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

а для ползуна в проекции на ось x

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

Решая эту систему уравнений, получим

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

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

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

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

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

Экспериментальная установка

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

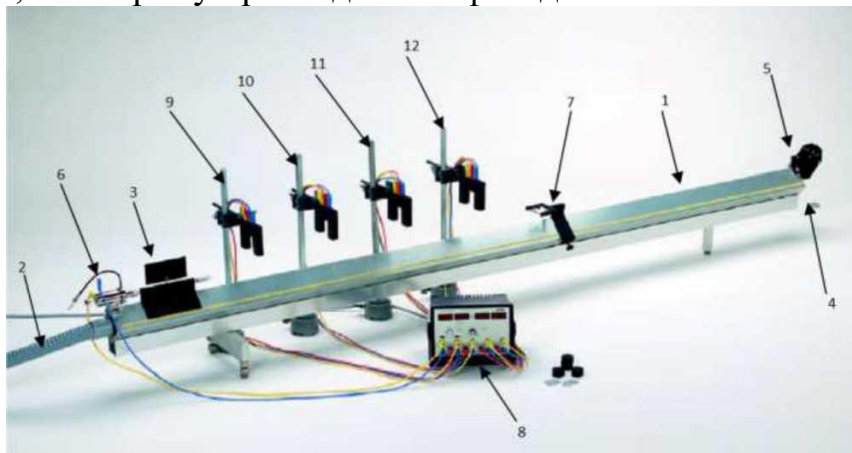


Рис.4. Экспериментальная установка для изучения равноускоренного движения

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

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

Проведение эксперимента

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

1. Расположить весы горизонтально поверхности, снять защитную крышку, включить их с помощью кнопки on/off.
2. В отсутствии груза весы должны показывать ноль. Аккуратно положить ползун без добавочных грузов на весы, и зафиксировать его массу M_0 . Таким же образом измерить массу держателя грузов m_0 .
3. Поставьте ползун на трек в точке запуска, зафиксировав его в начальном положении нажатием на стержень стартовой системы. Определите по шкале, нанесенной на трек, координату переднего края экрана ползуна в точке пуска x_0 , а также координаты фотодатчиков $x_1, \dots, x_n$.
4. Расположите четыре световых барьера таким образом, чтобы они разделяли измеряемое расстояние на отрезки примерно равной длины. Например: $S_1 = x_1 - x_0 = 20$ см, $S_2 = x_2 - x_0 = 40$ см, $S_3 = x_3 - x_0 = 60$ см, $S_4 = x_4 - x_0 = 80$ см. Последний барьер расположите так, чтобы ползун с экраном проходил под ним перед тем, как ускоряющаяся гиря коснется пола. Расположите переставной упор с вилкой и гнездом на треке таким образом, чтобы ползун легко ударялся о резиновую

- ленту перед тем, как ускоряющаяся гиря коснется пола. Проведите все последующие измерения, не изменяя положения световых барьеров.
- Включить секундомер. Нажав кнопку «Mode» один раз, перевести его в режим измерения времени (), при этом загорится лампочка у пиктограммы этого режима. Нажать два раза кнопку «Reset».
 - Перекинуть нить через блок. Нажав кнопку на тросике стартовой системы, освободить ползун. Медленно передвигая ползун вдоль трека, убедиться, что он может беспрепятственно достигнуть фотодатчиков, а держатель груза не достаёт до пола. Убедиться также в том, что световые датчики фиксируют моменты прохождения мимо них переднего края экрана.
 - Включить воздуходувку нажатием кнопки на её задней панели. Медленно повернуть ручку мощности наддува до положения 2. Подождать несколько секунд, после чего медленно повернуть ручку до положения 4.
 - С помощью гирь установить массу груза $m=10$ г и массу ползуна $M = 210$ г. Перед запуском закрепить ползун в стартовом положении, сбросить показания секундомера, нажав кнопку «Reset». Убедившись, что ползун и груз покоятся, нажать кнопку на тросике стартовой системы и запустить ползун. После прекращения движения снять показания секундомера t_1, t_2, t_3, t_4 . Повторить измерения четыре раза. Результаты измерений занести в таблицу отчета.
 - Постройте график зависимости пройденного пути от времени t .
 - Рассчитайте средние скорости на каждом отрезке по формуле $\langle v \rangle_i = \frac{s_i}{\langle t \rangle_i}$.
 - Результаты занести в таблицу отчета.
 - Для равноускоренного движения эти скорости равны соответствующим мгновенным скоростям $v(t)$ на этих участках в моменты времени

$$t = \frac{t_i}{2} \quad (9)$$
 - Построить график зависимости мгновенной скорости v от времени t . Убедиться, что это зависимость линейная.
 - По наклону этого графика определить ускорение системы $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, и сравнить его с теоретическим значением, рассчитанным по формуле (5).

Контрольные вопросы.

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

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ ДОРОЖКЕ

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

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

Теория

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

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

Первый закон Ньютона.

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

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

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

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

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

Масса тела – физическая величина, количественно характеризующая инертность тела.

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

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

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

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

Если равнодействующая сила равна нулю, то тело будет оставаться в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения. Таким образом, формально второй закон Ньютона включает как частный случай первый закон Ньютона, однако первый закон Ньютона имеет более глубокое физическое содержание – он постулирует существование инерциальных систем отсчета.

Согласно третьему закону Ньютона, тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению.

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

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

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

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

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

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

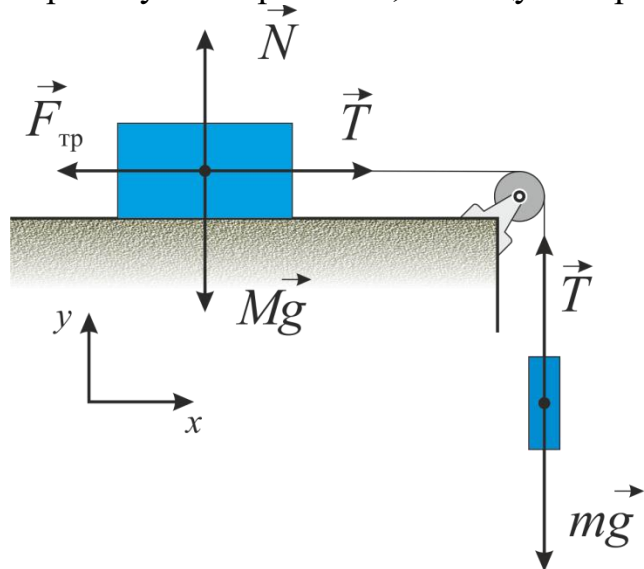


Рис. 1

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

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

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

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

а для ползуна в проекции на ось x

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

Решая эту систему уравнений, получим

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

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

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

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

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

Экспериментальная установка

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

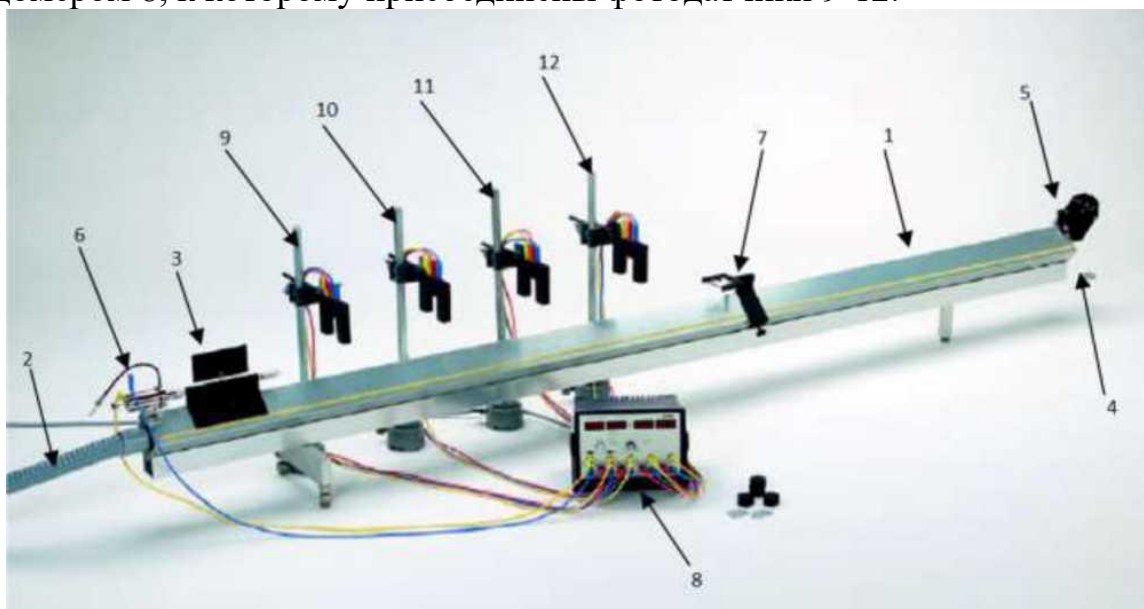


Рис.2. Экспериментальная установка для изучения равноускоренного движения

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

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

Проведение эксперимента

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

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

2. В отсутствии груза весы должны показывать ноль. Аккуратно положить ползун без добавочных грузов на весы, и зафиксировать его массу M_0 . Таким же образом измерить массу держателя грузов m_0 .
3. Поставьте ползун на трек в точке запуска, зафиксировав его в начальном положении нажатием на стержень стартовой системы. Определите по шкале, нанесенной на трек, координату переднего края экрана ползуна в точке пуска x_0 , а также координаты фотодатчиков $x_1, \dots, x_n$.
4. Расположите четыре световых барьера таким образом, чтобы они разделяли измеряемое расстояние на отрезки примерно равной длины. Например: $S_1 = x_1 - x_0 = 20$ см, $S_2 = x_2 - x_0 = 40$ см, $S_3 = x_3 - x_0 = 60$ см, $S_4 = x_4 - x_0 = 80$ см. Последний барьер расположите так, чтобы ползун с экраном проходил под ним перед тем, как ускоряющаяся гиря коснется пола. Расположите переставной упор с вилкой и гнездом на треке таким образом, чтобы ползун легко ударялся о резиновую ленту перед тем, как ускоряющаяся гиря коснется пола. Проведите все последующие измерения, не изменяя положения световых барьеров.
5. Включить секундомер. Нажав кнопку «Mode» один раз, перевести его в режим измерения времени (), при этом загорится лампочка у пиктограммы этого режима. Нажать два раза кнопку «Reset».
6. Перекинуть нить через блок. Нажав кнопку на тросике стартовой системы, освободить ползун. Медленно передвигая ползун вдоль трека, убедиться, что он может беспрепятственно достигнуть фотодатчиков, а держатель груза не достаёт до пола. Убедиться также в том, что световые датчики фиксируют моменты прохождения мимо них переднего края экрана.
7. Включить воздуходувку нажатием кнопки на её задней панели. Медленно повернуть ручку мощности наддува до положения 2. Подождать несколько секунд, после чего медленно повернуть ручку до положения 4 или 5.
8. С помощью гирь установить массу груза $m = 8$ г и массу ползуна с дополнительными гирями $M = 320$ г. Перед запуском закрепить ползун в стартовом положении, сбросить показания секундомера, нажав кнопку «Reset». Убедившись, что ползун и груз покоятся, нажать кнопку на тросике стартовой системы и запустить ползун. После прекращения движения снять показания секундомера t_1, t_2, t_3, t_4 . Повторить измерения четыре раза. Результаты измерений занести в таблицу 1.
9. Повторить измерения для масс груза в диапазоне от 8 г до 16 г с шагом в 2 г. При этом нужно переносить гири ползуна на подставку груза, так чтобы суммарная масса $M+m=328$ г оставалась неизменной. Результаты занести в таблицу 1.
10. Рассчитать ускорение на каждом отрезке пути по формуле (см.(7)):

$$a_i = \frac{2S_i}{t_i^2} \quad (10)$$
и определить среднее значение ускорения для каждой массы m .
11. Построить график зависимости ускорения от массы груза m . Убедиться, что эта зависимость является линейной.

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

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

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

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

7. Сравнить полученное значение с табличным. Сделать выводы.

Контрольные вопросы.

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

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: *Изучение основных закономерностей колебательного движения математического маятника.*

Идея эксперимента

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

Время T , за которое совершается одно полное колебание, называется периодом колебаний. Величина ν , обратная периоду, называется частотой колебаний $\nu = 1/T$, а величина $\omega = 2\pi\nu$ – циклической частотой.

В настоящей лабораторной работе изучаются колебания математического маятника.

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

Теория

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

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

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

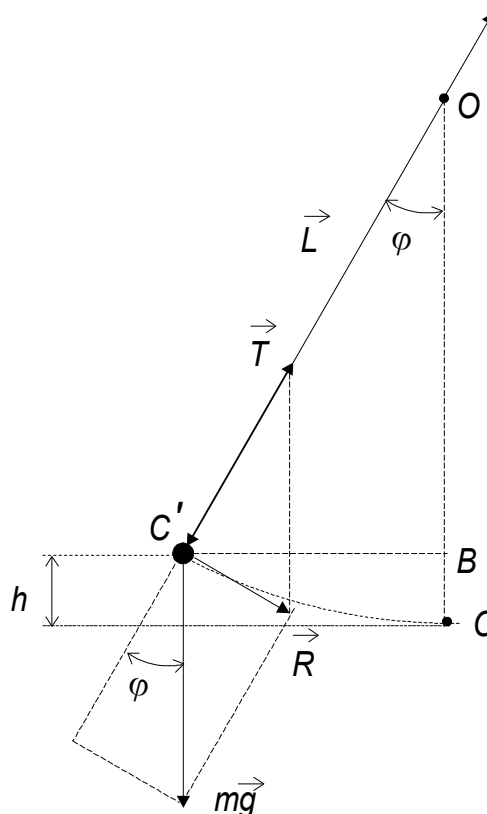


Рис. 1. Математический маятник

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

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

Тогда

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

где $\omega_0^2 = \frac{g}{l}$.

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

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

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

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

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

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

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

Экспериментальная установка

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



Рис. 2. Схема установки.

Проведение эксперимента

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

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

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

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

2. Зависимость $T=f(l)$ нелинейная. Поэтому для удобства экспериментальной проверки эту зависимость следует линеализировать. Для этого можно, например, построить график зависимости квадрата периода колебаний от длины маятника

$T^2=f(l)$. Если экспериментальные точки ложатся на прямую с небольшим разбросом, то можно сделать вывод о выполнении формулы (9).

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

Контрольные вопросы.

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

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: изучение основных закономерностей колебательного движения физического маятника.

Идея эксперимента

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

Теория

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

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

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

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

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

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

где M – момент силы F_τ относительно оси O , J – момент инерции маятника

относительно оси O , $\varepsilon = \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$ – угловое ускорение маятника.

Момент силы в данном случае равен

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

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

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

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

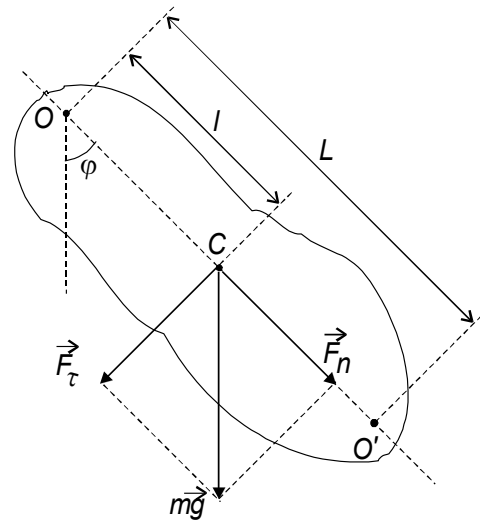


Рис. 1. Физический маятник

или

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

где $\omega_0^2 = mgl/J$

Решением дифференциального уравнения (5) является функция

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

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

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

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

Формула (7) позволяет определить момент инерции твердого тела относительно любой оси, если измерен период колебаний этого тела относительно этой оси.

Если физический маятник имеет правильную геометрическую форму и его масса равномерно распределена по всему объему, в формулу (7) можно подставить соответствующее выражение для момента инерции (Приложение 1). Например, для физического маятника, имеющего вид однородного стержня, колеблющегося вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной стержню, формула (7) приобретает вид:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l^2 + d^2 / 12}{l g}}, \quad (8)$$

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

Экспериментальная установка

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

Проведение эксперимента

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

Измерения

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

Обработка результатов

1. Строят график зависимости $T^2 l = f(l^2)$.

2. Если экспериментальные точки ложатся на прямую с небольшим разбросом, то можно сделать вывод о правильности формулы периода колебаний физического маятника.

3. Используя соотношения $\frac{4\pi^2}{g} = k$ и $\frac{4\pi^2}{g} \cdot \frac{d^2}{12} = b$, где k – тангенс угла наклона прямой к оси l^2 , b – отрезок, отсекаемый прямой по оси $T^2 l$, вычисляют ускорение свободного падения g и длину стержня d .

4. Сравнивают полученное значение g с табличным значением, а величину d с длиной стержня. Делают вывод о точности проделанных измерений.

Приложение 1

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

Контрольные вопросы.

1. Какое движение механической системы называется колебательным? Что называется периодом и частотой колебаний?
2. Какая система называется физическим маятником?
3. Какие колебания называются гармоническими? Что такое амплитуда и фаза колебаний.
4. От чего зависит период колебаний физического маятника?

Лабораторная работа ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ОБОРОТНОГО МАЯТНИКА

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

Приборы и оборудование: обратный маятник, секундомер.

Идея эксперимента

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

Теоретическая часть

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

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

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

По теореме Гюйгенса – Штейнера

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

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

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

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

Отсюда имеем

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

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

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

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

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

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

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

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

Экспериментальная установка

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

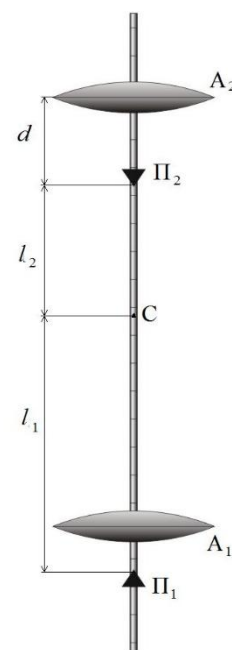


Рис. 1. Оборотный маятник

Порядок выполнения работы

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

Проведение эксперимента и обработка результатов

1. Готовят оборотный маятник к измерениям. Зафиксировать чечевицы на металлическом стержне несимметрично, так чтобы одна находилась вблизи конца стержня, а другая вблизи его середины. Опорные призмы закрепить по обеим сторонам центра масс маятника, так чтобы они были обращены друг к другу вершинами. Одну из них поместить вблизи свободного конца стержня, а вторую на середине расстояния между чечевицами. Проверить, насколько прочно зафиксированы опорные призмы. Закрепить маятник на вкладыше верхнего кронштейна на призме, находящейся вблизи стержня. Подвижную чечевицу A_2 последовательно перемещают с шагом 0,5-1 см от конца маятника к призме Π_2 . В отчете выполняют чертеж маятника с указанием всех размеров, определяющих геометрию маятника.
2. Маятник приводят в колебание на опорной призме Π_1 и определяют период колебаний T_1 . Измерение периода проводят, беря не менее 10 колебаний. Угловая амплитуда колебаний не должна превышать 4° .
3. Меняют ось колебаний, подвешивая маятник на другой призме. Проводят измерения периода T_2 .
4. Перемещают чечевицу A_2 . Снова измеряют периоды колебаний на призмах Π_1 и Π_2 и т. д. Данные измерений заносят в таблицу 1 отчета.

5. По полученным данным строят графики зависимостей $T_1 = f_1(d)$ и $T_2 = f_2(d)$, где d – расстояние от призмы $П_2$ до подвижной чечевицы. Точка пересечения кривых определяет такое положение чечевицы A_2 , при котором значения периодов наиболее близки.
6. Для найденного положения чечевицы A_2 определяют периоды колебаний T_1 и T_2 (в прямом и перевернутом положении маятника) с наибольшей тщательностью. Определяют время 15 – 20 колебаний маятника не менее трех раз, откуда вычисляют средние значения периодов колебаний. Данные измерений заносят в таблицу 2 отчета.
7. Для определения положения центра тяжести маятника его тщательно уравнивают на трехгранной подставке. Измерение расстояний l_1 и l_2 производят масштабной линейкой с точностью до миллиметра.
8. По полученным данным с помощью формулы Бесселя (6) определяют величину ускорения свободного падения.
9. В выводе сравнивают измеренное и табличное значения ускорения свободного падения.

Контрольные вопросы

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

Лабораторная работа

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

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

Теория

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Между удельной и молярной теплоёмкостями существует простая связь:

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

где M – молярная масса данного вещества.

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

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

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

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

Рассмотрим теперь каждое из условий нагревания газа в отдельности.

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

$$\Delta Q_M = \Delta U_M.$$

Подставляя последнее выражение в формулу (4), получаем:

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

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

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

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

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

Нагревание газа при постоянном давлении ($p_M = \text{const}$, $V \neq \text{const}$). В этом случае $\Delta V \neq 0$ и тепло, подводимое к газу, идет не только на изменение его внутренней энергии, но и на совершение $p_M \Delta V$ против внешних сил. Тогда, согласно (4), получаем:

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

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

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

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

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

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

Подставляя это выражение в формулу (7), получаем:

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

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

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

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

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

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

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

Для одноатомных молекул $i = 3$, для двухатомных с вращательной степенью свободы $i = 5$, для двухатомных с вращательной и колебательной степенями свободы $i = 7$, и т. д. Поэтому для сопоставления теории с опытом достаточно сравнивать экспериментальные и теоретические значения γ . Например, для одноатомного газа, согласно теории, $i = 3$ и $\gamma = 5/3 = 1,67$, для 2-х атомного газа при комнатной температуре $i = 5$ и $\gamma = 7/5 = 1,4$.

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

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

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

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}. \quad (11.б)$$

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

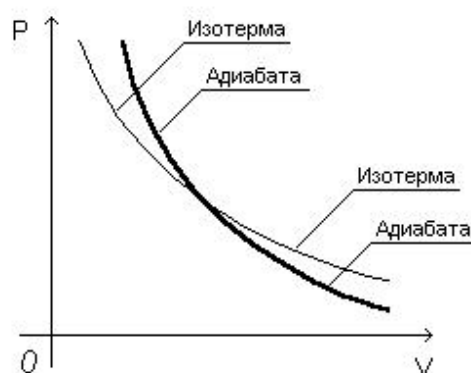


Рис. 1.

Экспериментальная установка

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

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

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



Рис. 2.

дополнительными устройствами.

Традиционным методом определения величины показателя адиабаты является метод адиабатического расширения или, как его ещё называют, метод Клемана-Дезорма. Экспериментальная установка (рис. 2) этого метода представляет собой достаточно большого объема сосуд, который при помощи резиновых шлангов и двух клапанов, может соединяться либо с окружающей средой, либо с компрессором. Разность давлений внутри сосуда и снаружи измеряется манометром. Суть метода состоит в следующем. Когда клапан «Сброс» открыт, то воздух массой m_0 , заполняющий сосуд объемом V_0 , находится под давлением, равным атмосферному p_0 , а температура его равна температуре окружающей среды T_0 . Для определения показателя адиабаты воздуха следует изначально находящийся в сосуде газ массой m_0 последовательно провести через три различных состояния.

Первое состояние: закрывают клапан «К3», открывают клапан «К1» и повышают давление воздуха в баллоне до тех пор, пока разность давлений в баллоне и окружающей среде не достигнет ~ 200 мм рт. ст. Далее необходимо выждать некоторое время, пока температура воздуха в баллоне, возросшая из-за быстрого нагнетания, не станет равной температуре T_0 окружающей среды, о чём можно судить по прекращению изменения давления. Вследствие нагнетания в сосуд некоторого количества газа, масса воздуха m_0 , занимавшего изначально весь объем V_0 сосуда, окажется в сжатом состоянии и будет теперь занимать меньший объем $V_1 < V_0$, находясь при этом под давлением $p_1 = p_0 + \Delta p_1$ (где Δp_1 – разность давлений воздуха внутри сосуда и с наружи) при температуре окружающей среды T_0 .

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

Поэтому к моменту расширения газа до атмосферного давления p_0 его температура T_2 оказывается несколько ниже комнатной температуры T_0 ($T_2 < T_0$), объем воздуха массой m_0 несколько возрастет до величины $V_2 < V_0$.

Третье состояние. По истечении некоторого промежутка времени газ в баллоне вследствие теплообмена с окружающей средой нагреется до комнатной температуры T_0 , в результате чего его давление возрастет до некоторой величины $p_2 = p_0 + \Delta p_2$ (где Δp_2 – разность давлений воздуха внутри сосуда и с наружи). Объем воздуха массой m_0 останется прежним.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Измерения и обработка результатов

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

Контрольные вопросы

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

Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ТЕЛ.

Цель работы: экспериментальное изучение фазового перехода первого рода.

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

Теория

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

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

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

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

кристаллическую решетку. По форме, размерам и величине углов наклона элементарных ячеек, кристаллы делят на семь сингоний:

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

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

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

Рис. 1. Элементарные ячейки Браве

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

- Атомные решетки, образованные нейтральными атомами. Такая связь носит название *гомеополярной* (например, алмаз).
- Молекулярные решетки, образованные нейтральными молекулами (H_2O , CO_2).
- Ионные решетки, образованные ионами разного знака. Такая связь носит название *гетерополярной* (всевозможные соли). Так, например, кристаллическая решетка поваренной соли ($NaCl$) образована положительными ионами Na^+ и отрицательными ионами Cl^- . Их электростатическое притяжение и обеспечивает довольно большую прочность кристалла.

- Металлические решетки, образованные положительными ионами металла, в пространстве между которыми хаотично и беспорядочно «летают» свободные электроны проводимости. Силы электростатического отталкивания, действующие между одноименными ионами в узлах решетки, не могут привести к разрушению кристалла благодаря действию сил электростатического притяжения свободных электронов, которые, в свою очередь, не могут покинуть кристалл благодаря силам электростатического притяжения со стороны положительных ионов, расположенных в узлах кристаллической решетки. По причине особого характера сил, удерживающих металлические решетки в стационарном состоянии, такие решетки принято выделять в особую группу.

Энергия кристаллической решетки.

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

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

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

Графически зависимость этих величин от расстояния между центрами масс частиц представлена рис.2а.

Рассмотрим поведение двух частиц одной элементарной ячейки.

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

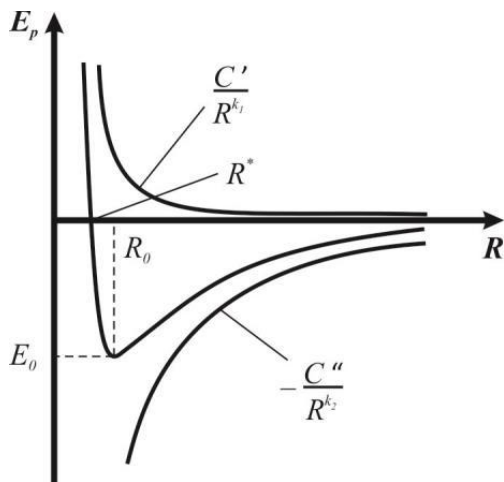


Рис. 2 а

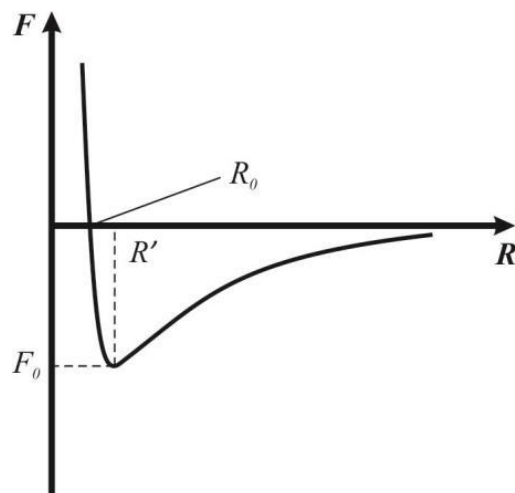


Рис. 2 б

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

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

Плавление и кристаллизация.

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

Расплавить кусок кристаллического тела можно, постепенно нагревая его. График этого процесса, изображенный на рис.3, имеет три участка. На участке ab температуре кристаллического тела плавно возрастает, что соответствует обычному нагреву твердого тела. По достижении определенной температуры $T_{пл}$, называемой **температурой плавления**, рост температуры прекращается (изотермический участок bc) до тех пор, пока все вещество не превратится в жидкость. Вещество в

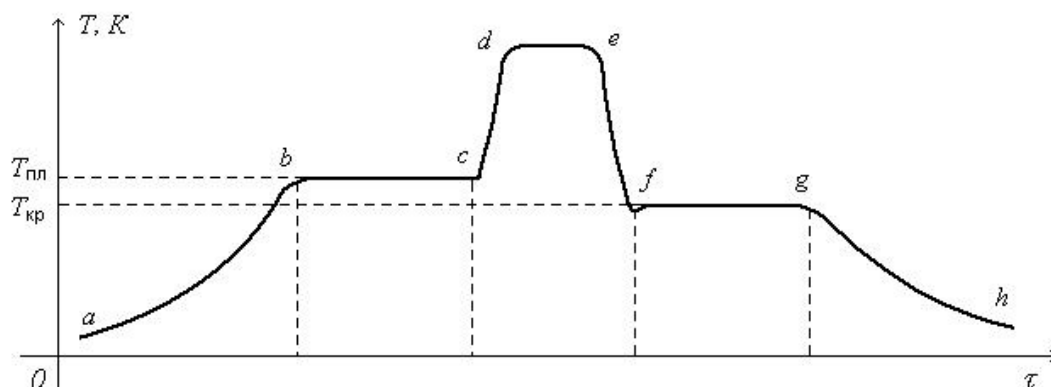


Рис. 3. Кривые плавкости кристаллического тела.

этом состоянии нельзя назвать ни жидкостью, ни твердым телом: в сосуде находятся одновременно обе фазы – твердая и жидкая. Этот участок кривой соответствует процессу плавления. Рост температуры возобновится (участок cd) сразу после того, как будет расплавлен последний кристаллик вещества. Этот участок кривой соответствует обычному нагреву жидкости.

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

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

Ядра кристаллизации, образование переохлажденной и перегретой жидкостей.

Теоретически температуры плавления и кристаллизации жидкостей должны совпадать по своей величине. Однако, так происходит далеко не всегда. Обычно температура кристаллизации несколько (а иногда и значительно) ниже температуры плавления. Объясняется это следующим образом. Процесс кристаллизации жидкости всегда начинается на некоторых неоднородностях в объеме жидкости, которые называются **центрами** или **ядрами кристаллизации**. Ядрами кристаллизации могут служить различные неоднородные включения (обычно пыль). При наличии большого числа таких ядер (загрязненное вещество) процесс кристаллизации протекает очень легко и температура кристаллизации действительно совпадает с температурой плавления. В совершенно чистом веществе, свободном от инородных включений, ядрами кристаллизации начинают служить молекулы уплотнения, представляющие собой случайные увеличения концентрации молекул жидкости (плотности жидкости) по всему объему жидкости. Однако, такие случайные (флуктуационные) образования неспособны существовать слишком

долго. При температуре жидкости выше или равной температуре плавления, эти молекулярные уплотнения настолько быстро распадаются, что кристаллические зародыши не успевают появиться на них и кристаллизация не происходит. Это обстоятельство в значительной мере затрудняет процесс кристаллизации жидкости, но не блокирует его вовсе. При дальнейшем понижении температуры жидкости время жизни молекулярных уплотнений возрастает и становится вполне достаточным для образования на них мельчайших кристалликов вещества, дальнейший рост которых приводит к полной кристаллизации всей жидкости. Происходит это при температуре, ниже температуры плавления. Такие жидкости называют **переохлажденными**. Значительно ускорить процесс кристаллизации можно некоторым встряхиванием сосуда с переохлажденной жидкостью (при этом возрастает число молекулярных уплотнений) или введением в жидкость кристаллика такого же вещества. Таким образом температура кристаллизации одного и того же вещества не является величиной постоянной и зависит от степени загрязненности исследуемого вещества.

Возможен и несколько иной механизм переохлаждения жидкостей. В том случае, если температуру понижать очень быстро, то ее частицы не будут успевать терять необходимую долю своей энергии, приходящейся на их поступательное движение, и следовательно, не смогут образовать кристаллической решетки. Тем не менее, дальнейшее и быстрое понижение температуры приводит к увеличению вязкости такой жидкости, что затрудняет поступательное движение ее частиц. Вещество затвердевает, не образуя при этом кристаллической решетки. Такие вещества называют так же **переохлажденными жидкостями** или **стеклообразными** веществами. Очень часто их относят к разряду аморфных тел, несмотря на то, что механизм образования последних, вообще говоря, несколько отличен от механизма образования стеклообразных веществ. Практика причисления последних к аморфным телам объясняется тем, что переохлажденная жидкость достаточно долгое время после ее образования проявляет свойства аморфных тел, но процесс образования кристаллов в ней, в отличие от поистине аморфных тел, все-таки происходит (хотя и очень медленно) и с течением времени стеклообразное тело все же превращается в кристаллическое.

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

АМОРФНЫЕ ТЕЛА.

К аморфным телам относятся тела, которые при затвердевании не образуют кристаллической решетки. Основным свойством аморфных тел является их изотропность, т. е. постоянство физических свойств во всех направлениях внутри тела.

Аморфные тела, даже в твердом состоянии, обладают текучестью, хотя и очень незначительной. Это позволяет рассматривать их как нечто среднее между кристаллическими телами и жидкостями повышенной вязкости.



Рис. 4. Кривые плавкости аморфного тела.

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

Экспериментальная установка

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

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

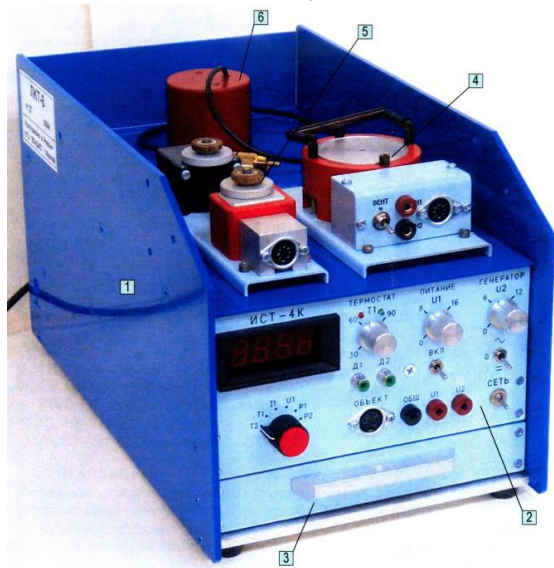


Рис. 5

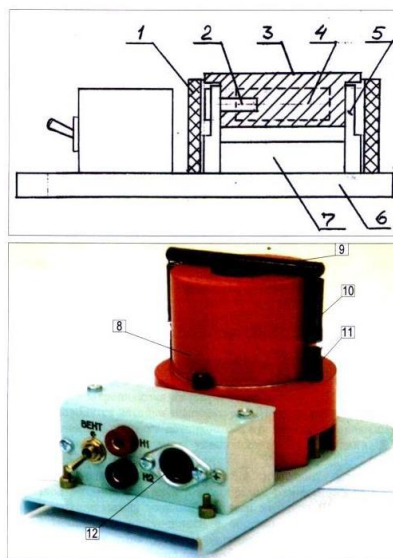


Рис.6

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

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

Измерения и обработка результатов

Задание. Определение температуры кристаллизации тел.

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

Контрольные вопросы.

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

Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА.

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

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

Теоретическая подготовка к работе.

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

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

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

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

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

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

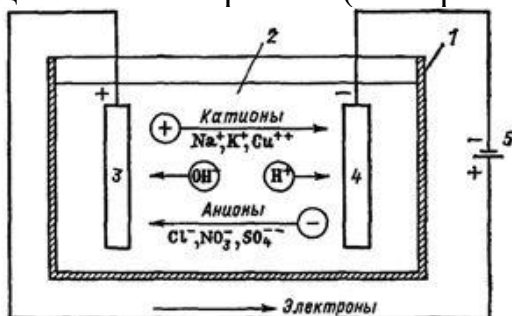


Рис. 1. Процессы, протекающие при электролизе. Схема электролизной ванны: 1 - ванна, 2 - электролит, 3 - анод, 4 - катод, 5 - источник питания.

Если же анод может растворяться в электролите по мере обеднения последнего, то частицы его, растворяясь в электролите, приобретают положительный заряд и направляются к катоду, на котором осаждаются, тем самым осуществляется перенос

материала с анода на катод. Так как при этом процесс ведут так, чтобы содержащиеся в металле анода примеси не переносились на катод, такой процесс называется электролитическим рафинированием.

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

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

Если в электролите имеются ионы разных металлов, то первыми на катоде выделяются ионы, имеющие меньший отрицательный нормальный потенциал (медь, серебро, свинец, никель), щелочноземельные металлы выделить труднее всего. Кроме того, в водных растворах всегда имеются ионы водорода, которые будут выделяться ранее, чем все металлы, имеющие отрицательный нормальный потенциал, поэтому при электролизе последних значительная или даже большая часть энергии затрачивается на выделение водорода.

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

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

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

2. Электрохимические эквиваленты различных веществ относятся, как их химические эквиваленты. Химическим эквивалентом иона называется отношение молярной массы (M) иона к его валентности n . Поэтому электрохимический эквивалент:

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

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

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

На основании двух этих законов можно сформулировать объединенный закон Фарадея:

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

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

В действительности масса выделившегося вещества всегда меньше указанной, что объясняется рядом побочных процессов, проходящих в ванне (например,

выделением водорода на катоде), утечками тока и короткими замыканиями между электродами.

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

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

Применение электролиза

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

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

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

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

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

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

Методика и ход проведения эксперимента.

Поскольку число Фарадея можно представить как

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

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

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

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

Электрическая схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. В

качестве электролита используют водный раствор медного купороса. В кювету устанавливают два медных электрода на расстоянии 3-4 см один от другого.

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

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

3. Приготовьте насыщенный раствор медного купороса.

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

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

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

7. **Отключите источник электропитания!**

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

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

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

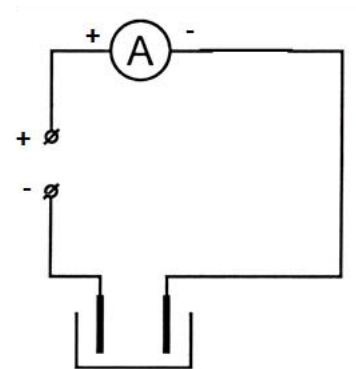


Рис. 2

В

Контрольные вопросы:

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

Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКИХ СРЕД С ПОМОЩЬЮ РЕФРАКТОМЕТРА.

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

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

Теоретическая подготовка к работе.

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

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

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

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

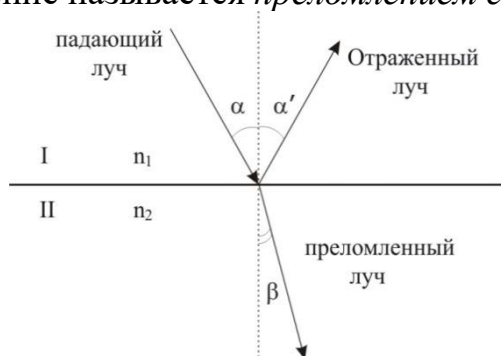


Рис.1

Направление *отраженного* и *преломленного* лучей при прохождении света через плоскую границу раздела двух прозрачных сред определяются законами отражения и преломления света.

Закон отражения света. Отраженный луч лежит в одной плоскости с

падающим лучом и нормалью, восстановленной к плоскости раздела сред в точке падения. Угол падения α равен углу отражения α : $\alpha = \alpha$.

Закон преломления света. Преломленный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью, восстановленной к плоскости раздела сред в точке падения. Отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления β есть величина постоянная для данных двух сред, называемая *относительным показателем преломления* второй среды по отношению к первой:

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

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

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

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

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

Абсолютные показатели преломления всегда больше единицы $n > 1$; для воздуха n принят за единицу $n_{\text{возд}} \approx 1$.

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

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

Когда свет распространяется из оптически более плотной среды в оптически менее плотную, т.е. $n_1 > n_2$, то согласно (4) следует, что преломленный луч удаляется от нормали и угол преломления больше угла падения $\beta > \alpha$. С увеличением угла падения α увеличивается угол преломления β , это происходит до тех пор, пока при некотором угле падения $\alpha = \alpha_{\text{пр}}$ угол преломления β не окажется равным $\frac{\pi}{2}$. Угол $\alpha_{\text{пр}}$ называется предельным углом. При углах падения $\alpha > \alpha_{\text{пр}}$ весь падающий свет полностью отражается.

Приближение угла падения α к предельному $\alpha_{\text{пр}}$ приводит к уменьшению интенсивности преломленного луча и увеличению интенсивности отраженного. В случае когда $\alpha = \alpha_{\text{пр}}$, интенсивность преломленного луча обращается в нуль, а интенсивность отраженного равна интенсивности падающего. Таким образом, при углах падения в пределах от $\alpha_{\text{пр}}$ до $\frac{\pi}{2}$ луч не преломляется, а полностью отражается в первую среду, причем интенсивности отраженного и падающего лучей одинаковы, это явление называется полным отражением. Значение $\alpha_{\text{пр}}$ может быть найдено из формулы (4), подстановкой в нее $\beta = \frac{\pi}{2}$, тогда:

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

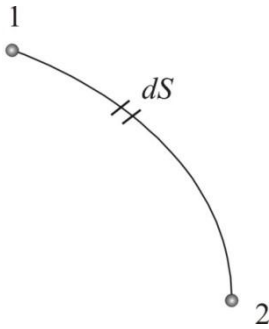


Рис. 2

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

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

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

Для прохождения пути dS свету потребуется время $dt = \frac{dS}{v}$, где v – скорость света в данной точке среды. Поскольку $v = \frac{c}{n}$, то $dt = \frac{ndS}{c}$, а значит время τ , которое затрачивает свет на прохождение пути 1-2, будет равно:

$$\tau = \frac{1}{c} \int ndS = \frac{L}{c}, \quad (6)$$

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

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

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

Получим с помощью принципа Ферма законы отражения и преломления света.

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

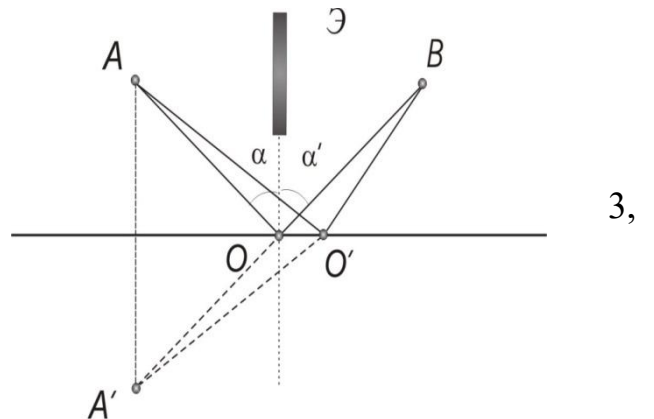


Рис. 3

Теперь получим с помощью принципа Ферма закон преломления света на границе раздела двух однородных

прозрачных сред с показателями преломления n_1 и n_2 . Найдем точку С (рис. 4), в которой должен преломиться луч, распространяясь от точки А к точке В, чтобы оптическая длина пути L была экстремальной.

Оптическая длина пути для произвольного луча равна

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

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

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

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

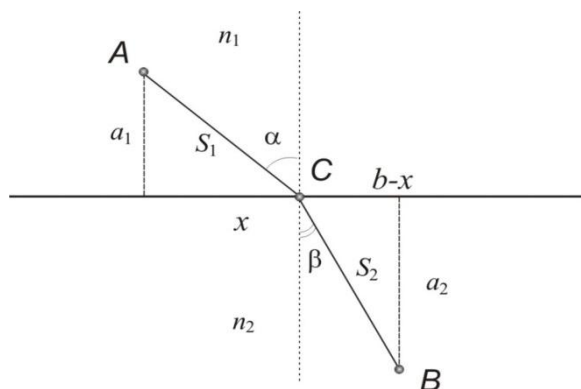


Рис. 4

Экспериментальная установка

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

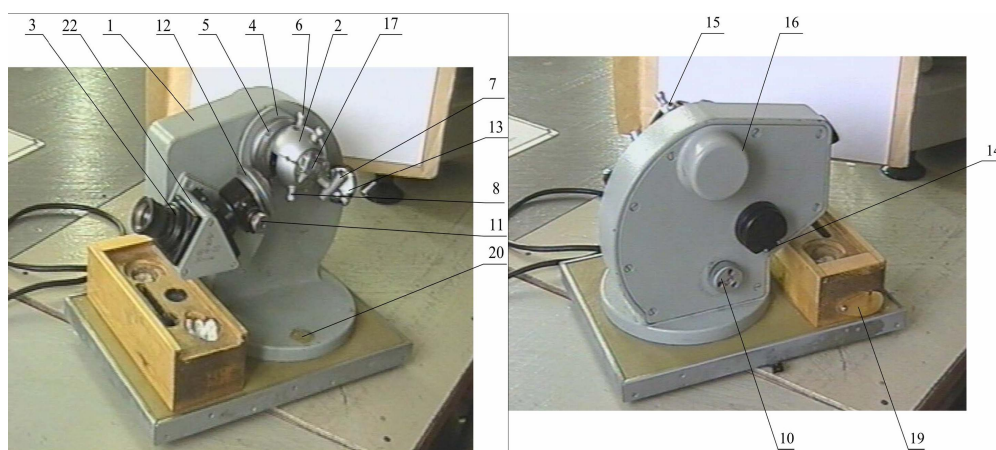


Рис. 5. Рефрактометр ИРФ-22

Прибор ИРФ-22 состоит из следующих основных частей: корпуса 1, измерительной головки 2 и зрительной трубы 3 с отсчетным устройством. В измерительной головке находится призмный блок Аббе, который является основной частью рефрактометра. Призмный блок Аббе состоит из двух стеклянных призм, имеющих вид прямоугольных треугольников и сложенных

гипотенузными гранями. Между гранями призм имеется зазор (примерно равный 0,1 мм), который служит для помещения исследуемой жидкости. Верхнюю призму называют вспомогательной, а нижнюю – измерительной. Показатель преломления измерительной призмы, изготовленной из оптически плотного стекла (тяжелый флинт), больше 1.7, а это означает, что измерения показателей преломления с помощью рефрактометра ИРФ-22 могут проводиться для веществ, показатели преломления которых $n < 1.7$. Призмennyй блок Аббе, жестко связан со шкалой отсчетного устройства, расположенной внутри корпуса. Шкала подсвечивается зеркалом 14 и проектируется специальной оптической системой в поле зрения трубы. Таким образом, в поле зрения трубы одновременно видны граничная линия, крест нитей, деления шкалы и визирный штрих шкалы. Чтобы найти границу раздела и совместить ее с перекрестием, необходимо вращая маховичок 10, наклонить измерительную головку. Окрашенность наблюдаемой границы устраняется поворотом компенсатора с помощью маховичка 11. Вместе с компенсатором одновременно вращается барабан 12 со шкалой, по которой в случае необходимости можно измерить дисперсию вещества. Подсветка исследуемого вещества осуществляется с помощью зеркала 13 дневным светом.

Измерение показателя преломления прозрачных жидкостей на ИРФ-22.

На поверхность измерительной призмы наносят несколько капель исследуемой жидкости и осторожно закрывают головку; наблюдают в окно 15, чтобы жидкость полностью заполнила зазор между измерительной и осветительной призмами. Осветительное зеркало 13 устанавливают перед окном 15 так, чтобы поле зрения трубы было равномерно освещено, затем зеркало закрепляют винтом 16. Вращая маховичок 10, находят границу раздела света и тени, маховичком 11 устраняют ее окрашенность. Точно совмещая границу раздела с перекрестием сетки, снимают отсчет по шкале показателей преломления. Индексом для отсчета служит неподвижный визирный штрих сетки. Целые, десятые, сотые и тысячные доли значения показателя преломления отсчитываются по шкале.

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

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

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

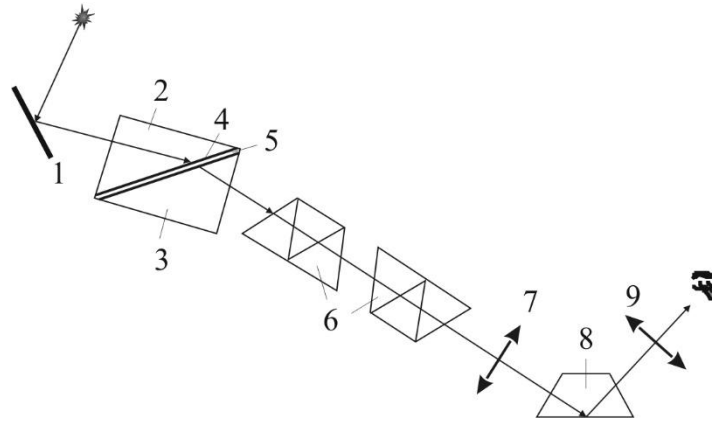


Рис. 6. Ход луча в рефрактометре ИРФ-22.

1 – осветительное зеркало, 2 – вспомогательная (откидная) призма, 3 – измерительная призма, 4 – матовая поверхность, 5 – исследуемое вещество, 6 – призмы компенсатора, 7 – объектив зрительной трубы, 8 – обращающая призма, 9 – окуляр зрительной трубы.

Свет от источника проникает во вспомогательную призму Π_1 сквозь грань АВ, затем рассеивается на ее матовой поверхности АС. Далее свет проходит сквозь плоскопараллельный слой исследуемой жидкости и падает под всевозможными углами на грань DE измерительной призмы. Скользящему лучу, угол падения Q которого на границе жидкость – измерительная призма $\approx 90^\circ$, соответствует предельный угол преломления r_{np} , который и определяет границу распространения света в призме.

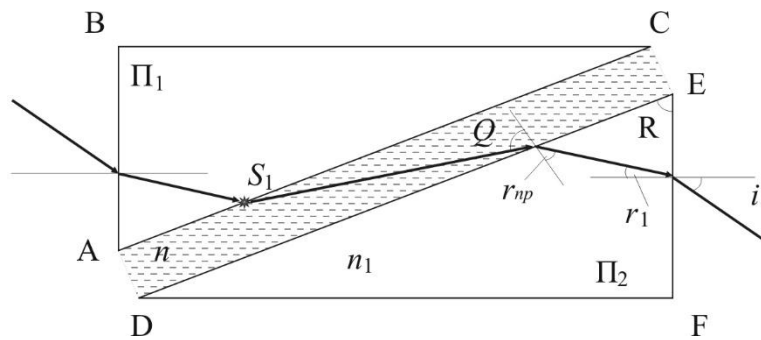


Рис. 7. Ход луча в призмах рефрактометра ИРФ-22

Рассмотрим прохождение света через грань EF измерительной призмы Π_2 . Как видно из рис. 7 применяя дважды закон преломления на гранях DE и EF, можно получить два соотношения:

$$\frac{\sin Q}{\sin r} = \frac{n_{np2}}{n_{ж}}, \quad (8)$$

$$\frac{\sin r_1}{\sin i} = \frac{n_{возд}}{n_{np2}}. \quad (9)$$

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

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

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

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

Задав углу Q максимальное значение $Q_{\max} = \frac{\pi}{2}$ (луч S_1S_2 становится "скользящим"), из выражения (8) следует, что r тоже будет иметь максимальное значение: $r = r_{\max}$. $r_{\max}$ соответствуют минимальные значения углов r_1 и i , т.е. $r_{1\min}$ и $i_{\min}$. С учетом вышеописанного, а также выражая из (11) r и подставляя в (10) получим:

$$\begin{aligned} n_{\text{жс}} &= \frac{\sin i_{\min}}{\sin r_{1\min}} \sin(R - r_{1\min}) = \sin i_{\min} \frac{\sin R}{\sin r_{1\min}} \cos r_{1\min} - \cos R = \\ &= \sin i_{\min} \sin R \sqrt{\frac{1}{\sin^2 r_{1\min}} - 1} - \cos R \sin i_{\min}, \end{aligned}$$

Т.к. $\frac{\sin i_{\min}}{\sin r_{1\min}} = n_{np_2}$, то выражение для $n_{\text{жс}}$ запишем в виде:

$$n_{\text{жс}} = \sin R \sqrt{n_{np_2}^2 - \sin^2 i_{\min}} - \cos R \sin i_{\min}. \quad (12)$$

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

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

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

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

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

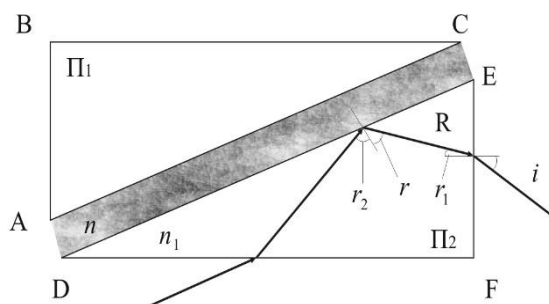
Одной из особенностей рефрактометра ИРФ-22 является то, что для проведения измерений используется белый свет.

Так как источник света не является монохроматичным, то вследствие дисперсии света граница света и тени оказывается размытой и окрашенной. Для устранения этого эффекта на пути лучей, выходящих из призмы Π_2 , помещают

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

Метод полного внутреннего отражения применяется для определения показателя преломления темных, мутных и окрашенных растворов. Ход лучей при использовании данного метода представлен на рис. 8.

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



Поскольку условия, которые определяют величину предельного угла и в методе скользящего луча, и в методе полного внутреннего отражения, совпадают, то положение границы раздела света и темноты в обоих случаях оказывается одинаковым.

Необходимо отметить, что рефрактометр Аббе может быть использован для определения показателя преломления твердых тел. Для этого применимы как метод скользящего луча, так и метод полного отражения.

Порядок выполнения работы.

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

вещества будем использовать дистиллированную воду, показатель преломления которой равен 1,333.

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

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

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

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

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

Контрольные вопросы.

1. Почему при переходе от законов физической оптики к законам геометрической оптики существенно $\lambda \rightarrow 0$?
2. Сформулируйте законы отражения и преломления света.
3. Что называется абсолютным и относительным показателем преломления?
4. От чего зависит абсолютный показатель преломления?
5. Зависит ли показатель преломления от угла падения? Угла преломления? Угла отражения? Скорости распространения света в среде?

6. Что такое полное внутреннее отражение? Условие полного внутреннего отражения.
7. В чем заключается физический смысл показателя преломления?

Лабораторная работа

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Цель работы: углубить представление о явлении дифракции, границах и условиях ее проявления; изучить практическое применение дифракции в спектральных измерениях.

Теоретическая часть

Явление *дифракции* состоит в свойстве волн отклоняться от прямолинейного распространения – «загибаться» в область геометрической тени. Явление дифракции характерно для волн любой природы и становится легко наблюдаемым в лабораторных условиях тогда, когда размеры препятствий или отверстий соизмеримы с длиной волны. (Для видимого света длины волн лежат в диапазоне 450-750 нм, поэтому дифракционные явления начинают наблюдаться на щелях и преградах размерами в доли миллиметра.)

Причину дифракции волн как и причину прямолинейного распространения можно понять из принципа Гюйгенса-Френеля, который заключается в следующем:

а) всякую точку на фронте волны можно рассматривать как источник вторичных волн (принцип Гюйгенса в исходном виде);

б) результат распространения света в любой точке пространства определяется интерференцией вторичных волн (дополнение Френеля).

Дифракция на одной щели

Пусть пучок монохроматического света с длиной волны λ падает на непрозрачную ширму $Ш$ (рис. 1), имеющую щель b , ширина которой AB значительно меньше ее длины. За ширмой стоит линза L , в ее фокальной плоскости помещен экран $Э$.

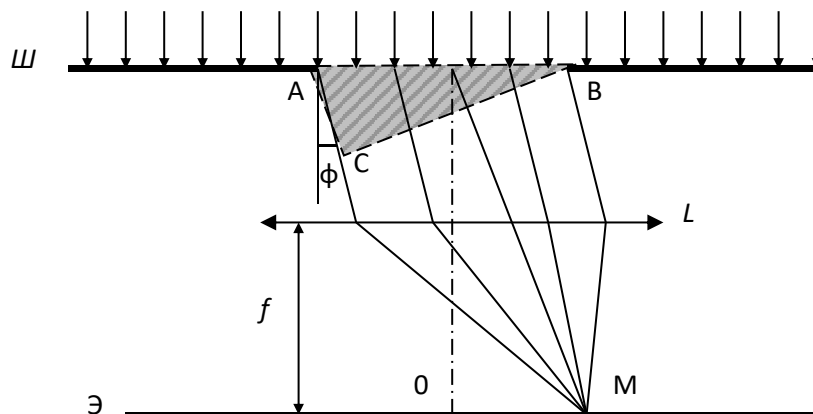


Рис. 1

В соответствии с принципом Гюйгенса все точки волнового фронта AB являются источниками вторичных волн, направление распространения которых за ширмой принимают любые значения от -90° до $+90^\circ$. Нетрудно показать, что линза не создает разности хода для лучей, проходящих ее центральную или периферическую части. Это свойство линзы называется *таутохронизмом*. Поэтому освещенность экрана в его любой точке определяется той разностью хода лучей, которая возникает между ширмой и линзой и зависит от величины λ и AC .

При любой ширине щели лучи, падающие на линзу параллельно ее оптической оси, приходят в главный фокус O с нулевой разностью хода, поэтому в

этой точке экрана всегда наблюдается максимум освещенности. Т.о. создается т.н. *главный максимум освещенности – максимум нулевого порядка*.

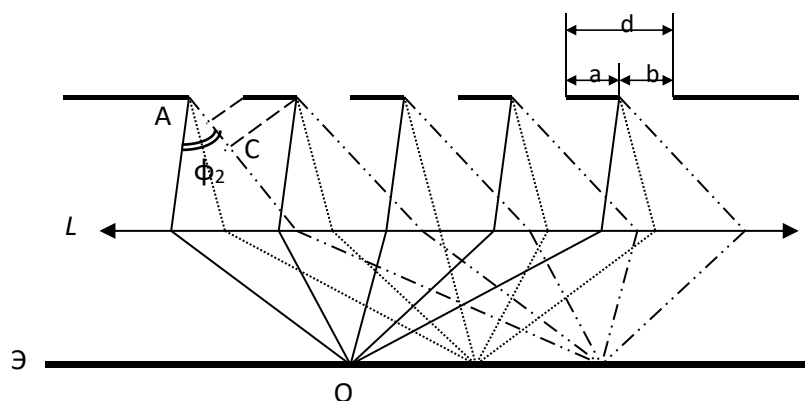


Рис. 2

Выберем теперь пучок параллельных лучей, отклоненных от исходного направления на такой угол φ , при котором разность хода крайних лучей AC окажется кратной полуволне падающего света. Пусть, например, $AC = 4\frac{\lambda}{2}$, как это показано на рис. 1. Нетрудно видеть, что в этом случае на ширине щели AB помещается четыре зоны Френеля и тогда, попарно гася друг друга, они дают в точке M экрана минимум освещенности. Очевидно, что для всех углов φ_i , когда в AB помещается четное число полуволн, в соответствующей точке экрана наблюдается минимум освещенности. При разности хода $AC = AB \sin \varphi = b \sin \varphi$ это условие можно выразить в виде соотношения:

$$b \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda, \quad (1)$$

где $k=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Рассуждая аналогично, можно показать, что максимуму освещенности экрана соответствуют лучи, угол отклонения φ которых подчиняется условию:

$$b \sin \varphi = (2k + 1)\lambda \quad (2)$$

т.е. в щели помещается нечетное количество зон Френеля.

Т.о., падающий на узкую щель параллельный световой пучок может быть обнаружен в области геометрической тени в виде системы полос, параллельных щели и симметричных относительно нулевого максимума. Распределение интенсивности освещенности I_φ в главном и последующих максимумах соответствует пропорции 1:0,04:0,016:0,011 и т.д. и зависит от ширины щели.

Если на щель падает белый свет, то светлые полосы дифракционных максимумов приобретают радужную окраску. В соответствии с формулой (2) угол отклонения «красной» (длинноволновой) части белого света больше, чем коротковолновой, поэтому чередование цветов в полосах, если считать от нулевого максимума, идет от фиолетового к красному. Нулевой максимум остается белым.

Дифракционная решетка

Дифракционной решеткой называется система параллельных щелей одинаковой ширины и расположенных на строго одинаковом расстоянии друг от друга.

Пусть b – ширина щели, a – ширина непрозрачного участка (рис. 2). Точки щелей, расположенные на расстоянии $(b+a)$ друг от друга, называются *соответственными*, величина $d=(b+a)$ – *периодом решетки*, величина $n = \frac{1}{d}$ представляет число штрихов на единице длины, обычно она имеет значение в пределах от сотен до тысяч штрихов на миллиметр.

Пусть на решетку, состоящую из N щелей, нормально падает пучок монохроматического света с длиной волны λ . Каждую щель можно рассматривать как отдельный источник и применить рассуждения предыдущего параграфа. В этом случае мы имеем следующее:

1. Лучи, падающие на линзу параллельно ее оптической оси, не имеют разности хода, поэтому в главном фокусе линзы всегда наблюдается максимум освещенности. Это – *главный или нулевой максимум*.
2. Лучи, подчиняющиеся условию (1), дают на экране темную полосу, т.к. под этими углами φ_2 каждая щель дает минимум освещенности. Это – *главные минимумы*.
3. Если угол отклонения соответствует условию (2), т.е. каждая щель в отдельности дает на экране максимум, то возможны два случая:
 - свет, идущий от соответственных точек соседних щелей, находится в одной фазе. В этом случае на экране происходит суммирование интенсивностей света всех щелей, и в точке экрана наблюдается максимум освещенности;
 - свет, идущий от соответственных точек соседних щелей, находится в противоположных фазах. В этом случае на экране происходит суммирование знакопередающегося ряда интенсивностей, и на экране возникают *дополнительные минимумы*. Они располагаются между главными экстремумами, а их количество зависит от количества щелей решетки.

Наибольший интерес представляет третий случай, поэтому рассмотрим его подробнее.

Очевидно, что усиление света, прошедшего сквозь решетку, происходит в тех направлениях, для которых разность хода интерферирующих лучей от соответственных точек щелей равна четному числу полуволн, именно тогда они находятся в одной фазе. Как следует из рис. 2, этому условию удовлетворяет выражение:

$$AC = d \sin \varphi_2 = k\lambda, \text{ где } k=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

Т.о. выражение

$$d \sin \varphi = k\lambda \tag{3}$$

является *условием главных максимумов дифракционной решетки*. Сама дифракционная картина имеет вид полос, параллельных щелям решетки и располагаются симметрично относительно нулевого максимума.

Если же направление отклонения таково, что выполняется соотношение

$$d \sin \varphi = k\lambda + \frac{p}{N} \lambda \tag{4}$$

где N – число штрихов решетки,

k – порядок главного максимума

$p=1, 2, 3, \dots, (N-1)$,

то в соответствующем месте экрана *возникают дополнительные минимумы*. Их количество равно $(N-1)$, угловое расстояние между ними тем меньше, чем больше N .

Увеличение общего числа щелей решетки приводит к усилению интенсивности освещенности светлых полос (главных максимумов) на экране и одновременно с этим существенно сужает эти полосы (за счет роста числа минимумов).

При освещении решетки белым светом светлые полосы имеют радужную окраску. В соответствии с выражением (3) к центру картины обращены фиолетовая часть радуги. Эта способность решетки разлагать белый свет в спектр обусловила широкое применение ее в спектральных приборах.

Основными характеристиками любого спектрального прибора являются дисперсия и разрешающая способность.

Угловой дисперсией называется величина углового расстояния между линиями, отличающимися по длине волны на единицу:

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} \quad (5)$$

Дифференцируя обе части выражения (3), получим:

$$d \cos \varphi d\varphi = k d\lambda, \text{ откуда } D = \frac{k}{d \cos \varphi} \quad (6)$$

Из (6) видно, что при малых углах φ дисперсия возрастает с увеличением порядка спектра:

$$D = k \frac{1}{d} \quad (7)$$

Часто положение линии спектра наблюдается на экране или фотопластинке, в этих случаях необходимо знать линейную дисперсию.

Линейной дисперсией называется величина $\frac{dl}{d\lambda}$, где l – линейное расстояние на экране или фотопластинке между спектральными линиями, отличающимися по длине волны на единицу. Линейная дисперсия связана с угловой соотношением:

$$\frac{dl}{d\lambda} = f \frac{d\varphi}{d\lambda}, \quad (8)$$

где f – фокусное расстояние линзы, собирающей дифрагирующие лучи на экране.

Реальное восприятие двух близких спектральных линий зависит от ширины и расстояния между ними.

Две спектральные линии считаются разрешенными, если главный максимум одной из них приходится на первый дополнительный минимум другой (*критерий Рэлея*).

Разрешающую способность спектрального прибора R можно определить как безразмерную величину:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}, \quad (9)$$

где $\Delta\lambda$ – минимальная разность длин волн двух спектральных линий, при которой эти линии воспринимаются раздельно. Разрешающая способность дифракционной решетки пропорциональна порядку спектра k и числу щелей N . Применяя принцип Рэлея, можно показать, что

$$R = kN \quad (10)$$

Дифракционные решетки выполняются на стекле (с ними работают в проходящем свете) или на металле (с ними работают в отраженном свете), нанося параллельные штрихи через строго определенные интервалы с помощью делительной машины. Применяемые в учебных лабораториях решетки являются отпечатками гравированных решеток (т.н. реплики), они изготавливаются из пластмассы. Дифракционные решетки с небольшим количеством штрихов выполняются фотографическим способом.

Лабораторная работа

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.

Цель работы: изучение закономерностей теплового излучения на примере излучения абсолютно твердого тела; установление зависимости мощности излучения нагретого тела от его температуры.

Оборудование: лампа накаливания, амперметр, вольтметр, источник постоянного напряжения.

Теоретическая часть

Тепловое (температурное) излучение - свечение тел, обусловленное нагреванием. Тепловое излучение является равновесным. Если нагретые (излучающие) тела поместить в полость, ограниченную идеально отражающей оболочкой, то через некоторое время (в результате непрерывного обмена энергией между телами и излучением, заполняющим полость) наступит равновесие, т.е. каждое тело в единицу времени будет поглощать столько же энергии, сколько и излучать. При этом все тела в полости приобретут одинаковую температуру. Допустим, что по какой-либо причине одно из тел станет излучать энергии больше, чем поглощать. Если в единицу времени тело больше излучает, чем поглощает (или наоборот), то температура тела начнет понижаться (или повышаться). Так как это противоречит второму началу термодинамики, то отсюда следует, что, действительно, излучающие тела и заполняющее полость тепловое излучение находятся между собой в состоянии термодинамического равновесия. При этом равновесному тепловому излучению приписывается температура, равная температуре находящихся с ним в равновесии тел.

Энергию, излучаемую с единицы площади поверхности тела в единицу времени в интервале частот единичной ширины, называют *спектральной плотностью энергетической светимости*:

$$R_{\nu,T} = \frac{dW_{\nu,\nu+d\nu}^{\text{изл}}}{d\nu}, \quad (1)$$

где $dW_{\nu,\nu+d\nu}^{\text{изл}}$ - энергия электромагнитного излучения, испускаемого за единицу времени (мощность излучения) с единицы площади поверхности тела в интервале частот от ν до $\nu+d\nu$.

Спектральная плотность энергетической светимости в функции длины волны

$$R_{\lambda,T} = \frac{c}{\lambda^2} R_{\nu,T}; \quad (2)$$

$$dW_{\nu,\nu+d\nu}^{\text{изл}} = R_{\nu,T} d\nu = R_{\lambda,T} d\lambda; \quad c = \lambda \nu;$$

$$\frac{d\lambda}{d\nu} = -\frac{c}{\nu^2} = -\frac{\lambda^2}{c},$$

где знак минус указывает, что λ уменьшается с возрастанием ν .

Зная спектральную плотность энергетической светимости, можно найти энергетическую светимость тела:

$$R_T = \int_0 R_{\nu,T} d\nu = \int_0 R_{\lambda,T} d\lambda, \quad (3)$$

где суммирование производится по всем частотам (длинам волн).

Способность тел поглощать падающее на них излучение характеризуется спектральной поглощательной способностью

$$A_{\nu,T} = \frac{dW_{\nu,\nu+d\nu}^{\text{погл}}}{dW_{\nu,\nu+d\nu}}, \quad (4)$$

показывающей, какая доля энергии, переносимой за единицу времени на единицу площади поверхности тела падающими на нее электромагнитными волнами с частотами от ν до $\nu+d\nu$ поглощается телом.

Тело, способное поглощать полностью при любой температуре все падающее на него излучение любой частоты, называют черным. Тело, поглощательная способность которого меньше единицы, но одинакова для всех частот и зависит только от температуры, называют серым.

Спектральные поглощательные способности черного и серого тел:

$$A_{\nu,T} = 1, A_{\nu,T}^c = A_T = \text{const} < 1.$$

Идеальная модель черного тела - замкнутая полость с небольшим отверстием O , внутренняя поверхность которой зачернена (рис. 1). Луч света, попавший внутрь такой полости, испытывает многократные отражения от стенок, в результате чего интенсивность вышедшего излучения оказывается практически равной нулю. При размере отверстия, меньшем 0,1 диаметра полости, падающее излучение всех частот «полностью поглощается».

Тепловое излучение подчиняется закону Кирхгофа отношение спектральной плотности энергетической светимости к спектральной поглощательной способности не зависит от природы тела; оно является для всех тел универсальной функцией частоты (длины волны) и температуры

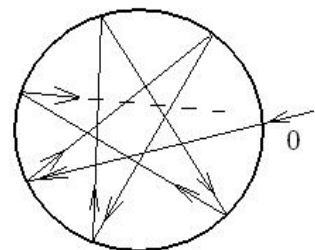


Рис. 1

$$\frac{R_{\nu,T}}{A_{\nu,T}} = r_{\nu,T}, \quad (5)$$

где $r_{\nu,T}$ - универсальная функция Кирхгофа, т. е. не что иное, как спектральная плотность энергетической светимости черного тела.

Используя закон Кирхгофа (5), выражению для энергетической светимости тела (3) можно придать вид

$$R_T = \int_0^\infty A_{\nu,T} r_{\nu,T} d\nu. \quad (6)$$

Для серого тела

$$R_T^c = A_T \int_0^\infty r_{\nu,T} d\nu = \int_0^\infty r_{\lambda,T} d\lambda = A_T R_e, \quad (7)$$

где

$$R_e = \int_0^\infty r_{\nu,T} d\nu = \int_0^\infty r_{\lambda,T} d\lambda$$

- энергетическая светимость черного тела (зависит только от температуры)

Зависимость энергетической светимости от температуры определяется законом Стефана - Больцмана:

$$R_e = \sigma T^4, \quad (8)$$

т.е. энергетическая светимость черного тела пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры; $\sigma = 5,67051(19) \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \text{ К}^4)$ - постоянная Стефана-Больцмана.

Энергетическая светимость серого тела

$$R_e^c = \alpha_T \sigma T^4, \quad (9)$$

где α_T - степень черноты серого тела.

Экспериментальные кривые зависимости $r_{\nu,T}$ от частоты ν и от длины волны λ для разных температур приведены на рис. 2 и 3, откуда следует, что распределение энергии в спектре черного тела неравномерно.

Согласно закону смещения Вина, длина волны $\lambda_{\max}$ соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости черного тела, обратно пропорциональна его термодинамической температуре (рис. 3):

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (10)$$

где $b = 2,8978(1) \cdot 10^{-3} \text{ м К}$ - постоянная Вина.

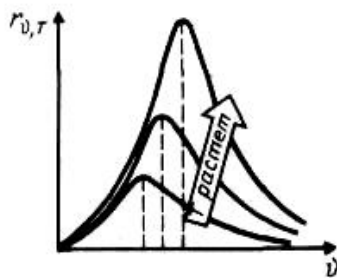


Рис. 2.

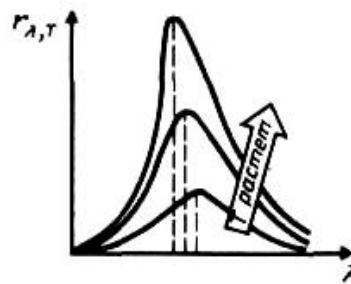


Рис. 3.

Зависимость максимальной плотности энергетической светимости черного тела от температуры

$$(r_{\lambda,T})_{\max} = CT^5, \quad (11)$$

где C – постоянная; $C = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ Вт/(м}^3 \text{ К}^5)$.

Формула Рэлея - Джинса для спектральной плотности энергетической светимости черного тела

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} E = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT, \quad (12)$$

где $E = kT$ - средняя энергия осциллятора с собственной частотой ν . В области больших частот формула Рэля - Джинса резко расходится с экспериментом, а также с законом смещения Вина. Кроме того, попытка получить закон Стефана-Больцмана из этой формулы дает абсурдный результат.

В области больших частот хорошее согласие с опытом дает закон излучения Вина (формула Вина), полученный им из общих термодинамических соображений:

$$r_{\nu,T} = c \nu^3 A e^{-\frac{A\nu}{T}}, \quad (13)$$

где $r_{\nu,T}$ - спектральная плотность энергетической светимости черного тела, C и A – постоянные величины. В современных обозначениях в виде постоянной Планка, которая в то время еще не была известна, закон излучения Вина может быть записан в виде

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} e^{-\frac{h\nu}{kT}}. \quad (14)$$

Формула Рэля-Джинса и закон Вина (имеется в виду закон излучения) – частные законы. Первая из них дает правильное спектральное распределение при малых частотах ($h\nu \ll kT$), а второй - при больших частотах ($h\nu \gg kT$). Они не дают общей картины распределения энергии по всему диапазону частот.

Согласно квантовой гипотезе Планка энергия осциллятора может принимать лишь дискретные значения, кратные целому числу элементарных порций энергии $h\nu$:

$$E = nh\nu \quad (n=0, 1, 2, \dots). \quad (15)$$

В данном случае средняя энергия осциллятора E не может быть принята равной kT , как в формуле Рэля-Джинса. Вероятность, что осциллятор находится в состоянии с энергией E_n , пропорциональна $\exp(-\frac{E_n}{kT})$, но при вычислении средних значений (при дискретных значениях энергии) интегралы заменяются суммами. Тогда средняя энергия осциллятора

$$E = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (16)$$

а спектральная плотность энергетической светимости черного тела

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}. \quad (17)$$

Формула Планка для спектральной плотности энергетической светимости черного тела:

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (18)$$

$$r_{\lambda,T} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1}, \quad (19)$$

где h - постоянная Планка, k - постоянная Больцмана, c - скорость распространения света в вакууме.

Из формулы Планка можно вывести частные законы, описывающие тепловое излучение.

Идея эксперимента

В данной работе предлагается исследовать зависимость мощности излучения нити лампы накаливания от температуры и проверить, подчиняется ли излучение нагретой металлической нити закону Стефана-Больцмана.

Т.к. почти вся электрическая энергия, подводимая к нити лампы, преобразуется в энергию электромагнитного излучения, то мощность W излучения можно принять равной потребляемой электрической мощности P :

$$W = P = UI \quad (20)$$

Следовательно, для определения мощности излучения нити лампы необходимо измерить напряжение U на лампе и потребляемую силу тока I .

При изменении напряжения на лампе изменяется и сила тока. Увеличение силы тока приводит к повышению температуры нити лампы и, следовательно, к увеличению мощности излучения. Температуру нити лампы, соответствующую каждому значению силы тока, можно определить, воспользовавшись известной зависимостью сопротивления R_t проводника от температуры t :

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (21)$$

где R_0 - сопротивление нити лампы при температуре 0°C ; R_t – сопротивление нити лампы при температуре $t^\circ\text{C}$; α - температурный коэффициент электрического сопротивления проводника.

Нить лампы сделана из вольфрама. Температурный коэффициент электрического сопротивления вольфрама в интервале значений температуры от 0 до 30°C равен $5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. При температуре же видимого свечения нити температурный коэффициент электрического сопротивления вольфрама равен приблизительно $5,8 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Из формулы зависимости электрического сопротивления от температуры можно выразить температуру нити:

$$t = \frac{1}{\alpha} \frac{R_t}{R_0} - 1. \quad (22)$$

Легко найти и абсолютную температуру T :

$$T = t + 273 = \frac{1}{\alpha} \frac{R_t}{R_0} - 1 + 273 = \frac{1}{5,8 \cdot 10^{-3}} \frac{R_t}{R_0} - 1 + 273. \quad (23)$$

Величину R_t определяют из закона Ома:

$$R_t = \frac{U}{I}, \quad (24)$$

А величину R_0 можно вычислить, зная значение R_{t_1} при комнатной температуре t_1 :

$$R_0 = \frac{R_{t_1}}{1 + \alpha t_1} = \frac{R_{t_1}}{1 + 5 \cdot 10^{-3} t_1}. \quad (25)$$

Порядок выполнения работы

1. Измерите электрическое сопротивление R нити накала лампы при комнатной температуре t с помощью измерительного моста или цифрового

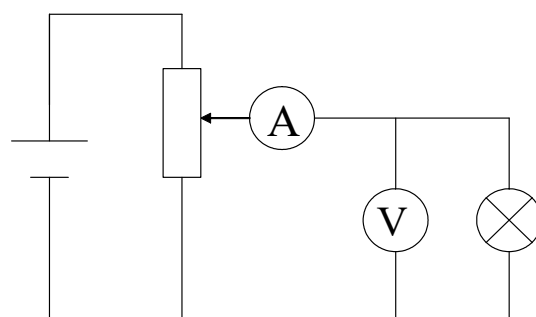


Рис. 4.

мультиметра. Вычислите электрическое сопротивление R нити лампы при температуре 0°C .

2. Подключите лампу к источнику тока. Включите последовательно с ней амперметр и параллельно вольтметр (рис. 4). Изменяя напряжение U на лампе от 16 до 36 В, измерьте через каждые 4 В значения силы тока I .

3. Вычислите мощность W излучения лампы по формуле (20).

4. Вычислите электрическое сопротивление R_t нити лампы при различных значениях силы тока по формуле (24).

5. Вычислите значения абсолютной температуры T нити накаливания (формула (23)) и четвертую степень температуры T^4 .

6. Вычислите отношение W/T^4 для каждой пары значений T и W . Результаты измерений и вычислений занесите в отчетную таблицу 1.

Таблица 1.

$R_{t1}, \text{Ом}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$R_0, \text{Ом}$	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$R_t, \text{Ом}$	$T, \text{К}$	$T^4, \text{К}^4$	$W, \text{Вт}$
			16					
			20					
			24					
			28					
			32					
			36					

7. Постройте график зависимости $W=f(T^4)$. Сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. В чем основное отличие теплового излучения от других видов излучения?
2. Каков физический смысл универсальной функции Кирхгофа?
3. Можно ли на опыте реализовать абсолютно черное тело?
4. Как и во сколько раз изменится энергетическая светимость черного тела, если его термодинамическая температура увеличится вдвое?
5. Как объяснить переход белого каления в красное при остывании металла?

Лабораторная работа ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ

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

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

Теоретическая часть

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

Различают внешний и внутренний фотоэффект.

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

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

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

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

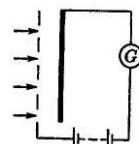


Рис. 1

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

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

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

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

Вольтамперная характеристика фотоэлемента

Построим вольтамперную характеристику фотоэлемента. Фотоэлемент

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

Допустим, что фотоэлемент включен в цепь, изображенную на рис. 2. Передвигая движок потенциометра и снимая показания приборов, можно построить вольтамперную характеристику фотоэлемента. При $U = 0$ через элемент проходит небольшой ток (рис. 3). Под действием света из катода вырываются электроны, и он заряжается положительно. Вырванные электроны вблизи катода создают отрицательно заряженное облако, из которого большая часть электронов попадает обратно на катод (катод при $U = 0$ притягивает электроны), а часть электронов из облака попадает на анод. Они и создают небольшой ток. Для прекращения фототока необходимо приложить обратное по знаку напряжение U_3 , которое называют задерживающим напряжением.

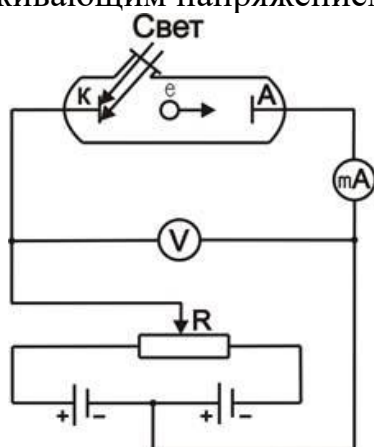


Рис. 2

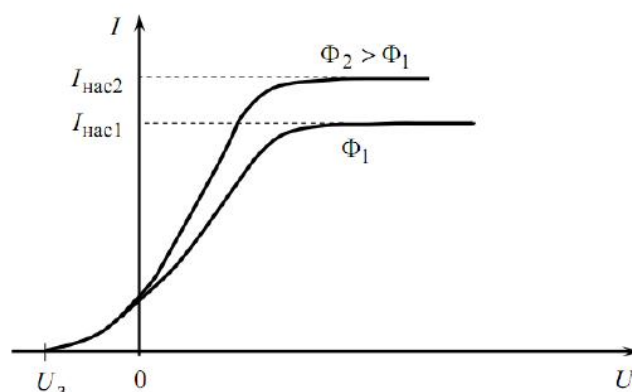


Рис. 3

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

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

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

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

При изучении вольт-амперных характеристик разнообразных материалов при

различных частотах падающего на катод излучения и различных энергетических освещенностях катода и обобщения полученных данных были установлены следующие три закона внешнего фотоэффекта.

Законы внешнего фотоэффекта.

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

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

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

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

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

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

В соответствии с гипотезой предложенной Эйнштейном, энергия, полученная электроном, доставляется ему в виде кванта $h\nu$, который усваивается им целиком. Часть этой энергии, равная работе выхода $A_{\text{вых}}$, затрачивается на то, чтобы электрон мог покинуть тело. Остаток энергии переходит в кинетическую энергию вылетевшего из металла фотоэлектрона.

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

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

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

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

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

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

$$h\nu_{кр} = A_{вых} \quad (2)$$

Значение работы выхода для некоторых металлов приведены в таблице 1.

Таблица 1

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

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

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

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

таких частиц.

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

Энергия фотона

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

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

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

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

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

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

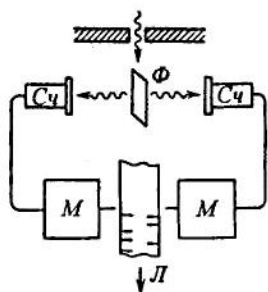
Непосредственное подтверждение гипотезы Эйнштейна дал опыт Боте.

Тонкая металлическая фольга Φ помещалась между двумя газоразрядными счетчиками $Сч$. Фольга освещалась слабым пучком рентгеновских лучей. Вследствие малой интенсивности первичного пучка количество квантов, испускаемых фольгой, было невелико. При попадании в него рентгеновских лучей счетчик срабатывал и приводил действие особый механизм $М$, делавший отметку на движущейся ленте $Л$. Если бы излучаемая энергия распространялась равномерно во все стороны, как это следует из волновых представлений, оба счетчика должны были бы срабатывать одновременно и отметки на ленте приходились бы одна против другой. В действительности же наблюдалось совершенно беспорядочное расположение отметок. Это можно объяснить лишь тем, что в отдельных актах испускания возникают световые частицы, летящие то в одном, то в другом направлении.

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

Определение постоянной Планка

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



В

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

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

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

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

или окончательно:

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

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

Описание установки и проведение эксперимента.

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

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

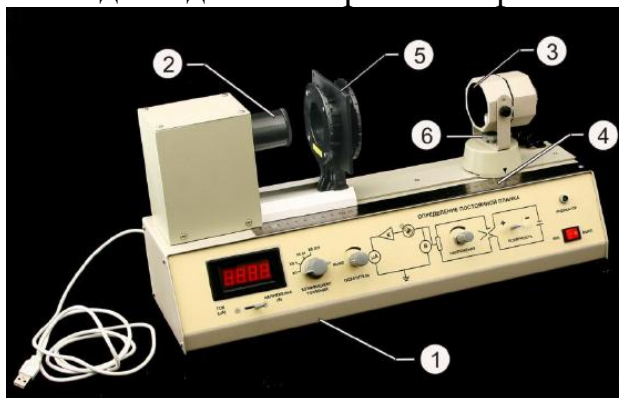


Рис. 4

1. Включите питание установки, дайте ей прогреться в течение 5 минут, передвиньте источник света на отметку 25 см.
2. Установите максимальную интенсивность света (не меняйте в течение эксперимента). Полярность напряжения переключите на «-». Режим отображения цифрового дисплея переключите в положение «Ток». Переключатель «Коэффициент усиления» установите в положение «x0.001».
3. Установите красный светофильтр, значение длины волны (указана на оправе) занесите в таблицу. Изменяя напряжение, добейтесь падения фототока до нуля. ВНИМАНИЕ! Запирающее напряжение – минимальное значение напряжения, при котором фотоэффект еще возможен. Если добились нулевого значения тока, то дальнейшее увеличение напряжения приведет к искажению

результатов!

4. Зафиксируйте значение запирающего напряжения U_z , данные занесите в отчет.
5. Повторите измерения для остальных светофильтров.
6. Рассчитайте частоту падающего света $\nu = \frac{c}{\lambda}$.
7. Постройте зависимость $U_z(\nu)$.
8. По углу наклона прямой, описываемой уравнением (6), определите значение постоянной Планка.

Контрольные вопросы.

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

Лабораторная работа

ЭФФЕКТ КОМПТОНА

Запустите программу «Открытая физика». Выберите «Квантовая физика», «Комптовское рассеяние». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Необходимое запишите в свой конспект.

Цель работы:

- * Знакомство с моделями электромагнитного излучения и их использованием при анализе процесса рассеяния рентгеновского излучения на веществе.
- * Экспериментальное подтверждение закономерностей эффекта Комптона.
Экспериментальное определение комптоновской длины волны электрона.

Краткая теория.

Наиболее полно корпускулярные свойства света проявляются в эффекте Комптона. Американский физик А. Комптон (1892–1962), исследуя в 1923 г. рассеяние монохроматического рентгеновского излучения веществами с легкими атомами (парафин, бор), обнаружил, что в составе рассеянного излучения наряду с излучением первоначальной длины волны наблюдается также излучение более длинных волн. Опыты показали, что разность $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ не зависит от длины волны λ падающего излучения и природы рассеивающего вещества, а определяется только величиной угла рассеяния θ :

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_C \sin^2(\theta/2), \quad (1)$$

где λ' – длина волны рассеянного излучения, λ_C – **комптоновская длина волны** (при рассеянии фотона на электроне $\lambda_C = 2,426$ пм).

Эффектом Комптона называется упругое рассеяние коротковолнового электромагнитного излучения (рентгеновского и γ -излучений) на свободных (или слабосвязанных) электронах вещества, сопровождающееся увеличением длины волны. Этот эффект не укладывается в рамки волновой теории, согласно которой длина волны при рассеянии изменяться не должна: под действием периодического поля световой волны электрон колеблется с частотой поля и поэтому излучает рассеянные волны той же частоты.

Объяснение эффекта Комптона дано на основе квантовых представлений о природе света. Если считать, как это делает квантовая теория, что излучение имеет корпускулярную природу, т. е. представляет собой поток фотонов, то эффект Комптона – результат упругого столкновения рентгеновских фотонов со свободными электронами вещества (для легких атомов электроны слабо связаны с ядрами атомов, поэтому их можно считать свободными). В процессе этого столкновения фотон передает электрону часть своей энергии и импульса в соответствии с законами их сохранения.

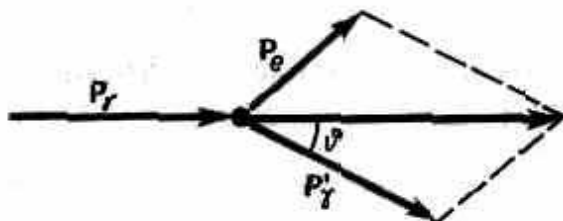


Рис. 1

Рассмотрим упругое столкновение двух частиц (рис.1) – налетающего фотона, обладающего импульсом $p_\gamma = h\nu/c$ и энергией $\varepsilon_\gamma = h\nu$, с покоящимся свободным электроном (энергия покоя $W_0 = m_0c^2$; m_0 – масса покоя электрона). Фотон, столкнувшись с электроном, передает ему часть своей энергии и импульса и изменяет направление движения (рассеивается). Уменьшение энергии фотона означает увеличение длины волны рассеянного излучения. Пусть импульс и энергия рассеянного фотона равны $p'_\gamma = h\nu'/c$ и $\varepsilon'_\gamma = h\nu'$. Электрон, ранее покоившийся, приобретает импульс $p_e = mv$, энергию $W = mc^2$ и приходит в движение – испытывает отдачу. При каждом таком столкновении выполняются законы сохранения энергии и импульса.

Согласно закону сохранения энергии,

$$W_0 + \varepsilon_\gamma = W + \varepsilon'_\gamma, \quad (2) \text{ а согласно закону сохранения импульса, } \mathbf{p}_\gamma = \mathbf{p}_e + \mathbf{p}'_\gamma. \quad (3)$$

Подставив в выражении (2) значения величин и представив (3) в соответствии с рис.1, получим

$$m_0c^2 + h\nu = mc^2 + h\nu', \quad (4)$$

$$(mv)^2 = \frac{h\nu^2}{c} + \frac{h\nu'^2}{c} - 2\frac{h^2}{c^2}\nu\nu' \cos\theta \quad (5)$$

Масса электрона отдачи связана с его скоростью v соотношением $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$. (6) Возведя уравнение (4) в квадрат, а затем вычитая из него (5) получим с учетом (6):

$$m_0c^2(\nu - \nu') = h\nu\nu'(1 - \cos\theta).$$

Поскольку $\nu = c/\lambda$, $\nu' = c/\lambda'$ и $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$, получим:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta) = \frac{2h}{m_0c}\sin^2\frac{\theta}{2} \quad (7)$$

Выражение (7) есть не что иное, как полученная экспериментально Комптоном формула (1). Подстановка в нее значений h , m_0 и c дает комптоновскую длину волны электрона $\lambda_C = h/(m_0c) = 2,426$ пм.

Наличие в составе рассеянного излучения «несмещенной» линии (излучения первоначальной длины волны) можно объяснить следующим образом. При рассмотрении механизма рассеяния предполагалось, что фотон соударяется лишь со свободным электроном. Однако если электрон сильно связан с атомом, как это имеет место для внутренних электронов (особенно в тяжелых атомах), то фотон обменивается энергией и импульсом с атомом в целом. Так как масса атома по сравнению с массой электрона очень велика, то атому передается лишь ничтожная часть энергии фотона. Поэтому в данном случае длина волны λ' рассеянного излучения практически не будет отличаться от длины волны λ падающего излучения.

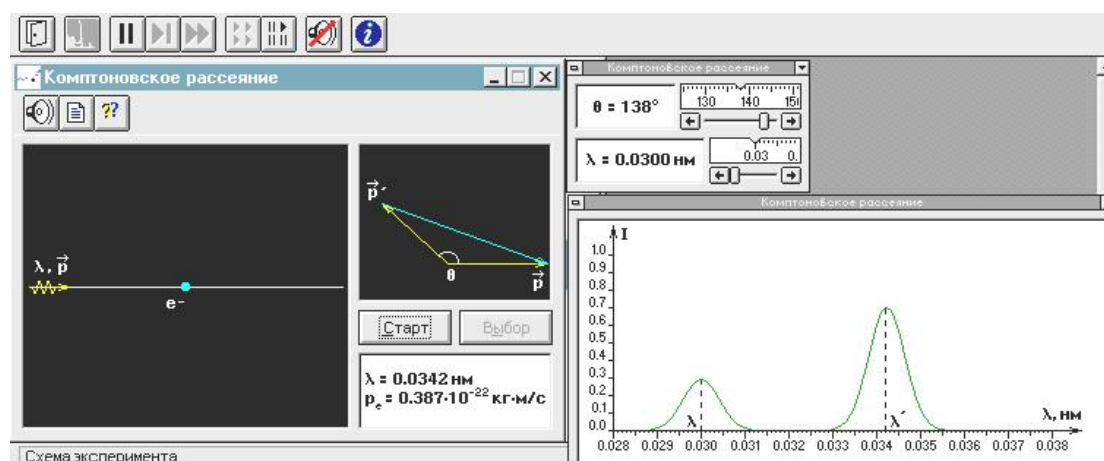
Из приведенных рассуждений следует также, что эффект Комптона не может наблюдаться в видимой области спектра, поскольку энергия фотона видимого света сравнима с энергией связи электрона с атомом, при этом даже внешний электрон нельзя считать свободным.

Эффект Комптона наблюдается не только на электронах, но и на других заряженных частицах, например протонах, однако из-за большой массы протона его отдача «просматривается» лишь при рассеянии фотонов очень высоких энергий.

Как эффект Комптона, так и фотоэффект на основе квантовых представлений обусловлены взаимодействием фотонов с электронами. В первом случае фотон рассеивается, во втором – поглощается. Рассеяние происходит при взаимодействии фотона со свободным электроном, а фотоэффект – со связанными электронами. Можно показать, что при столкновении фотона со свободным электроном не может произойти поглощения фотона, так как это находится в противоречии с законами сохранения импульса и энергии. Поэтому при взаимодействии фотонов со свободными электронами может наблюдаться только их рассеяние, т.е. эффект Комптона.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок.



Зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Нажмите мышью кнопку «Старт» вверху экрана.
2. Подведите маркер мыши к движку регулятора длины волны падающего ЭМИ и установите первое значение длины волны из таблицы 2, соответствующее номеру вашей бригады.
3. Подведите маркер мыши к движку регулятора угла приема рассеянного ЭМИ и установите первое значение 60° из таблицы 1.
4. По картине измеренных значений определите длину волны λ' рассеянного ЭМИ и запишите в первую строку таблицы 1.
5. Изменяйте угол наблюдения с шагом 10° , а записывайте измеренные значения λ' в соответствующие строки таблицы 1.
6. Заполнив все строки таблицы 1, измените значение длины волны падающего ЭМИ в соответствии со следующим значением для вашей бригады из таблицы 2. Повторите измерения длины волны рассеянного ЭМИ, заполняя сначала таблицу 3, а затем и таблицу 4 (аналогичные таблице 1).

ТАБЛИЦА 1.Результаты измерений
Длина волны $\lambda =$ пм

Номер измер.	ϑ град	λ' , пм	$1 - \cos\vartheta$
1	60		
2	70		
.....			
11	160		

ТАБЛИЦА 2 для выбора значений
(не перерисовывать)

Номер бригады	Длина волны падающего ЭМИ (пм)		
1,5	30	50	70
2,6	35	55	80
3,7	40	60	90
4,8	45	65	100

Таблицы 3 и 4 аналогичны таблице 1

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

1. Вычислите и запишите в таблицы 1,3 и 4 величины $1 - \cos\vartheta$.
2. Постройте график зависимости изменения длины волны ($\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$) от разности ($1 - \cos\vartheta$) для каждой серии измерений.
3. Определите по наклону графика значение комптоновской длины волны электрона

$$\lambda_c = \frac{\Delta(\Delta\lambda)}{\Delta(1 - \cos\vartheta)}.$$

4. Запишите ответ и проанализируйте ответ и графики.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Назовите модели, с помощью которых описывается электромагнитное излучение.
2. Назовите области физики в которых используются соответствующие модели ЭМИ.
3. Что такое луч?
4. Что такое гармоническая волна?
5. Сформулируйте связь между характеристиками ЭМИ в волновой и квантовой моделях.
6. Назовите эффекты, для описания которых надо использовать и волновую и квантовую модели ЭМИ. Проиллюстрируйте один из эффектов.
7. Какие законы сохранения выполняются при взаимодействии фотона с электроном в эффекте Комптона.
8. Сравните поведение фотонов после взаимодействия с электронами в эффекте Комптона и фотоэффекте.
9. Что такое комптоновская длина волны частицы?
10. Почему эффект Комптона не наблюдается при рассеянии фотонов на электронах, сильно связанных с ядром атома?
11. Как меняется энергия фотона при его комптоновском рассеянии?
12. Что происходит с электроном после рассеяния на нем фотона?
13. Чем отличается масса от массы покоя? Когда они совпадают?
14. Напишите уравнение для импульса фотона.
15. Напишите формулу для эффекта Комптона.
16. Напишите формулу для комптоновской длины волны электрона.
17. Чему равно максимальное изменение длины волны рассеянного фотона и

когда оно наблюдается?

Лабораторная работа

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ВОДОРОДА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ РИДБЕРГА.

Цель работы: изучение видимой части спектра излучения атомарного водорода, экспериментальное определение постоянной Ридберга и ее сравнение с вычисленной теоретически.

Оборудование и материалы: водородная газоразрядная трубка, источник питания трубки, спектроскоп.

Теоретическое введение.

Важную роль в раскрытии законов микромира сыграло экспериментальное изучение спектров атома водорода. Бальмер, а затем Ридберг и Ритц установили, что спектр излучения отдельных атомов водорода (разреженных газов) состоит из узких линий; в нем световая энергия концентрируется в узких областях частот.

Опытами Резерфорда по рассеянию α – частиц было установлено, что атом любого химического элемента представляет собой систему зарядов, в центре которой расположено тяжелое положительное ядро с зарядом Ze (Z – атомный номер элемента), имеющее размеры 10^{-12} см, а вокруг ядра расположены Z электронов, расположенных по всему объему, занимаемому атомом.

Ядерная модель атома в сочетании с классической механикой и электродинамикой не в состоянии объяснить ни устойчивость атома, ни характер атомного спектра. Выход был предложен Нильсом Бором, который сформулировал законы движения электрона в атоме в виде постулатов.

1. Электрон в атоме может вращаться только по строго определенным (стационарным) орбитам, радиус которого определяется из условия

$$m_e v r = n \frac{h}{2\pi} \quad (1)$$

где $m_e v r$ – момент импульса электрона, h – постоянная Планка, m_e и v соответственно масса и скорость электрона, $n=1,2,3,\dots$ – квантовые числа, определяющие принадлежности электрона к той или иной орбите радиуса r .

2. Вращаясь по стационарным орбитам, электрон не излучает энергии.

3. Излучение происходит лишь при переходе электрона из стационарного состояния с большим значением энергии E_2 в другое стационарное состояние с меньшим значением энергии E_1 . При этом излучается квант света, частота (ν) которого определяется из условия:

$$h\nu = E_2 - E_1, \quad (2)$$

где $h\nu$ – энергия излучения кванта.

Излучение происходит при переходе электрона с внешних орбит на внутренние. Если возбужденный электрон переходит с внутренних орбит на внешние, то происходит поглощение энергии.

Вычислим радиус стационарных орбит и полную энергию электрона в водородоподобном атоме (атом с порядковым номером Z , из которого удалены все электроны, кроме одного). Уравнение движения электрона имеет вид:

$$\frac{m_e v^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2} \quad (3)$$

Исключив v из уравнений (1) и (3), получим выражение для радиусов допустимых (разрешенных) орбит:

$$r_n = n^2 \frac{h^2 \varepsilon_0}{\pi m Z e^2} \quad (4)$$

Внутренняя энергия атома складывается из кинетической энергии электрона (ядро неподвижно) и энергии взаимодействия электрона с ядром:

$$E = \frac{m_e v^2}{2} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Z e^2}{r}$$

Из выражения (3) следует, что:

$$\frac{m_e v^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Z e^2}{r}, \text{ следовательно } E = -\frac{1}{2} \cdot \frac{Z e^2}{4\pi\varepsilon_0 r} \text{ подставив из выражения (4)}$$

значение радиуса получим, разрешенные значения энергий:

$$E = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{Z m_e e^4}{8 h^2 \varepsilon_0^2} \quad (n=1,2,3,\dots) \quad (5)$$

Для атома водорода $Z=1$. Из формулы (5) следует, что квантовое число n определяет энергию электрона в атоме, так как остальные величины остаются постоянными.

Состояния с различными значениями энергии называются уровнями. Для перевода атома в возбужденное состояние (с $n>1$) ему необходимо сообщить энергию. Возврат атома в состояние с меньшим значением энергии сопровождается излучением кванта энергии

$$h\nu = E_n - E_m = \frac{m_e e^4}{8 h^2 \varepsilon_0^2} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (6)$$

Разделив обе части уравнения (6) на hc , получим:

$$\tilde{\nu} = \frac{\nu}{c} = \frac{m_e e^4}{8 h^2 \varepsilon_0^2 c} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (7)$$

Длины волн спектра водорода могут быть описаны очень точно следующей формулой:

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (8)$$

Постоянная R называется постоянной Ридберга, $\tilde{\nu}$ – спектроскопическое волновое число, m -число, определяющее серию (для наблюдаемой в работе серии Бальмера $m=2$), $n=m+1; m+2, \dots$ -числа, определяющие отдельные линии в каждой серии.

Из дискретности частот излучения (на основе гипотезы Планка о пропорциональности энергии излучения частоте света) естественно следует вывод о дискретности энергетических состояний атома. Спектральные закономерности и другие свойства атома водорода нашли полное объяснение в квантовой механике. Полученные с помощью уравнения Шредингера значения энергии, т.е. уровни энергии атома водорода, равны

$$E = -\frac{m_e e^4}{8 h^2 \varepsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2}, \quad (9)$$

где $n=1, 2, 3, \dots$ -главное квантовое число. Заметим, что выражение (9) совпадает с формулой (5), полученной Бором для энергии атома водорода. Однако, если Бору пришлось вводить дополнительные гипотезы (постулаты), то в квантовой механике дискретные значения энергии, являясь следствием самой теории, вытекают непосредственно из решения уравнения Шредингера.

Сравнивая (9) с (8), получим для R следующее выражение:

$$R = \frac{m_e e^4}{8 h^2 \varepsilon_0^2 c} \quad (10)$$

Серию линий, отвечающую $m=1$ и $n=2,3,4,\dots$, называют серией Лаймана. Все линии этой серии расположены в ультрафиолетовой области спектра.

Большинство линий серии Бальмера ($m=2$) расположено в видимой области спектра. Линии остальных серий ($m=3,4,\dots$) лежат в инфракрасной области. На рис.1 изображены уровни энергии атома водорода и показаны (вертикальными линиями) возможные электронные переходы между состояниями.

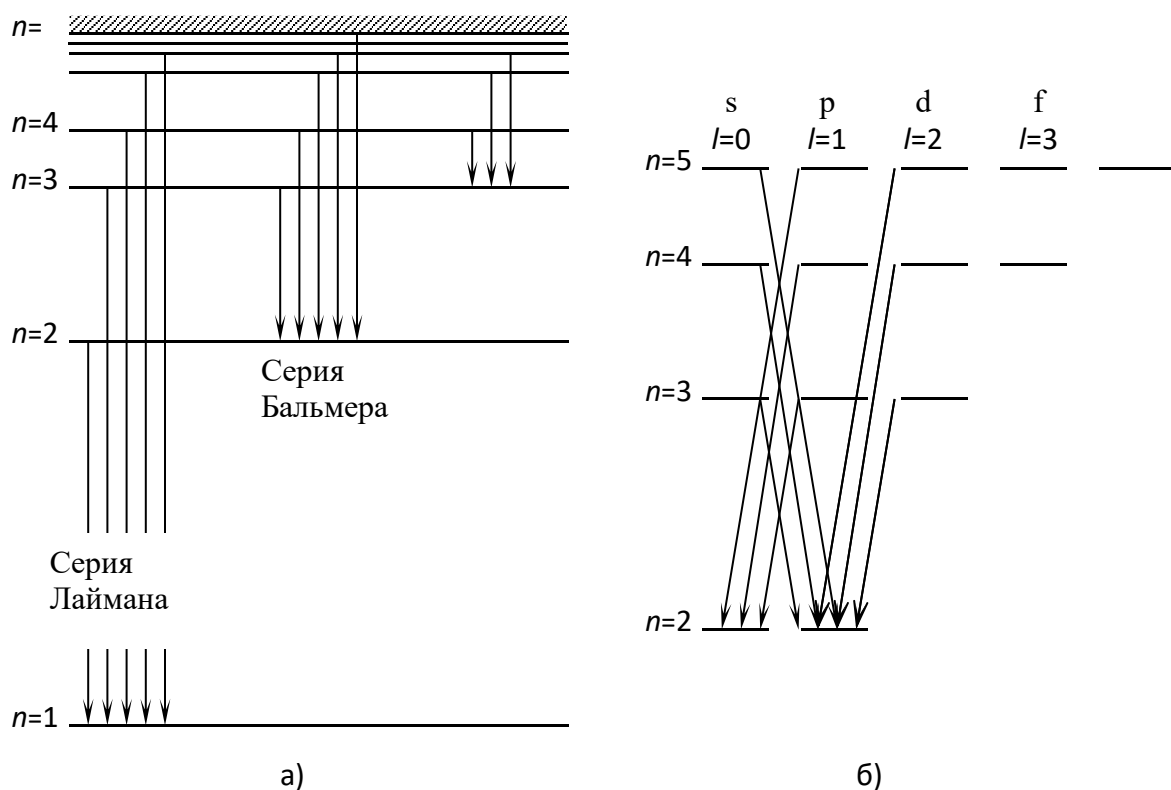


Рис.1

На рис.1б показана схема формирования серии Бальмера с учетом закона сохранения момента импульса ($\Delta l = \pm 1$). По вертикальной оси отложены значения энергии, а по горизонтали указаны состояния с различными значениями момента импульса, определяемого квантовым числом l .

Экспериментальная установка.

В настоящей работе изучается серия Бальмера, линии которой лежат в видимой области. Для измерения длин волн спектральных линий в работе используется спектроскоп (рис. 2), ход лучей в котором приведен на рис. 3.

Газоразрядную водородную трубку, являющуюся источником излучения, устанавливают перед входной щелью спектроскопа. Для наблюдения спектра служит средняя суженная часть трубки, так как интенсивность свечения в этой части наибольшая. Необходимое для разряда напряжение подается на трубку от источника высокого напряжения. Регистрацию спектров излучения производят визуально с помощью зрительной трубы.



Рис. 2

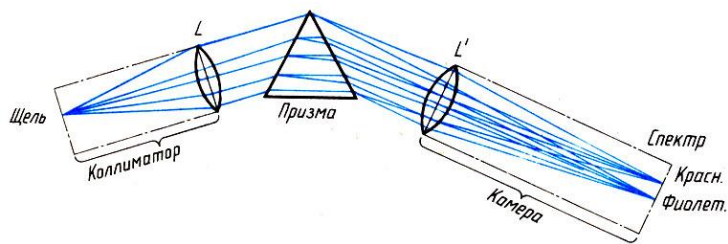


Рис. 3

Проведение эксперимента.

1. Измерьте длины волн водородных линий. Найдите в спектре крайнюю левую линию (в красной области спектра). Для отсчета положения спектральной линии ее центр совмещают с острием указателя. Отсчет производится по делениям барабана. Для уменьшения ошибки ширину щели делают по возможности малой (0,02-0,03 мм). Для наблюдения слабых линий в фиолетовой области щель следует несколько увеличить (до 0,05-0,06 мм). Результаты измерений занесите в таблицу. Измерение линий спектра повторите не менее трех раз. Следует отметить, что в спектре разряда наряду с линиями атомарного спектра наблюдается спектр молекулярного водорода. Молекулярный спектр состоит из сравнительно слабых полос (уширенных линий) в красно-желтой, зеленой и в голубой областях спектра.
2. Зная волновые числа линии и квантовые числа соответствующих электронных переходов, построить график зависимости $\tilde{\nu} = f(n^{-2})$. Из уравнения (8) видно, что график представляет собой прямую линию, тангенс угла наклона которой равен R , а на оси ординат прямая отсекает отрезок, равный $R/4$ (рис.4).
3. Подсчитайте R по формуле (10) и сравните с результатом, полученным опытным

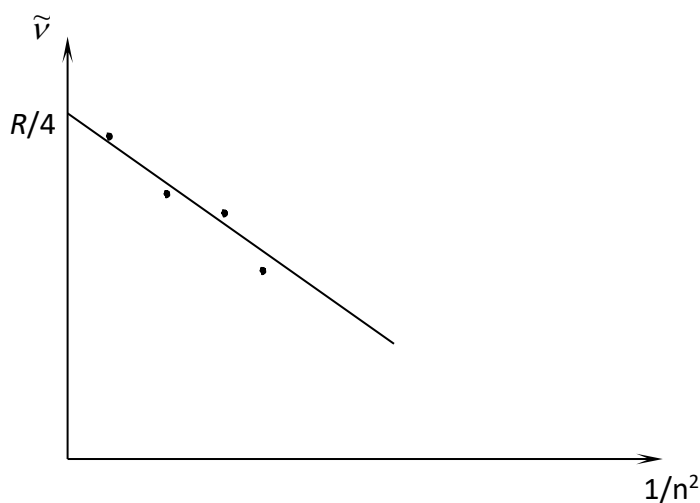


Рис.4

путем. Определите погрешности измерений.

Контрольные вопросы.

1. Что такое спектр электромагнитного излучения (ЭМИ)?
2. Что такое линейчатый спектр ЭМИ? Что является источником этого спектра?

3. Что такое полосатый спектр ЭМИ и что является его источником?
4. При каких условиях излучается сплошной спектр ЭМИ?
5. Опишите планетарную модель атома.
6. Сформулируйте основные положения теории Бора.
7. При каких условиях электроны в атоме излучают или поглощают ЭМИ?
8. Как связаны друг с другом характеристики фотона и электрона, который излучает данный фотон?
9. Какое уравнение используется для анализа квантовой модели атома?
10. Что является решением этого уравнения?
11. Как описывается электрон и его движение в квантовой модели атома?
12. Что определяет квадрат модуля волновой функции?
13. Дайте определение орбитали электрона в атоме.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА, ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

При подготовке к лабораторным занятиям необходимо:

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

Все лабораторные занятия предполагают выполнение заданий, решение задач.

В результате выполнения заданий достигаются следующие результаты обучения:

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

Письменный отчет должен содержать следующие примерные компоненты.

Отчет по лабораторной работе №

«Название работы»

выполненной студентом _____ ФИО _____ курса, института _____

группа _____ «__» _____ 201 г.

Цель работы:.....

Задание 1. Формулировка задания

Таблицы

Графики

Вычисления

Расчет погрешностей

Задание 2. Формулировка задания

Таблицы

Графики

Вычисления

Расчет погрешностей

.....

Вывод:

Примерные вопросы по содержанию лабораторных занятий.

Лабораторная работа «Изучение кинематики поступательного движения на воздушной дорожке»

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

Лабораторная работа «Определение коэффициента трения качения с помощью наклонного маятника»

1. Какие существуют виды сил трения? В чем отличие между ними?
2. Физический смысл коэффициента трения качения и трения скольжения.
3. Какое фундаментальное взаимодействие определяет возникновение сил трения?
4. Представьте графически зависимость силы трения от скорости скольжения.
5. Какова роль сил трения в природе?
6. Какая сила создает горизонтальное ускорение автомобиля при старте?

Лабораторная работа «Изучение колебательного движения с помощью математического маятника»

1. Какое движение механической системы называется колебательным?
2. Дайте определения параметров, характеризующих колебательное движение.
3. Какие колебания называются гармоническими? При каких условиях колебания математического маятника являются гармоническими?
4. Приведите формулу периода колебаний математического маятника.
5. Выведите дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний.
6. Какие колебания называются изохронными? Являются ли колебания математического маятника изохронными? При каком условии колебания математического маятника можно считать изохронными?

Лабораторная работа «Определение отношения теплоемкостей воздуха методом адиабатического расширения (Клемана–Дезорма).»

1. Дайте определения теплоёмкости тела, удельной и молярной теплоёмкости.
2. Какой процесс называется адиабатическим? Приведите примеры адиабатных процессов.
3. Запишите уравнение Пуассона.
4. Дайте определение показателя адиабаты. Чему равны теплоемкости при постоянном объеме и при постоянном давлении?
5. Выведите уравнение Майера.
6. Почему при адиабатном расширении температура газа падает, а при сжатии возрастает?
7. В чем суть способа определения показателя адиабаты методом адиабатического расширения (Клемана-Дезорма)?

Лабораторная работа «Определение температуры плавления и кристаллизации тел. Измерение энтропии.»

1. Кристаллические и аморфные тела. Их отличительные черты.
2. Назовите типы кристаллических решеток.
3. Проведите классификацию кристаллических решеток по роду частиц, их образующих.
4. Дайте определение основным параметрам кристаллической решетки (узлы, период, элементарная ячейка).
5. Энергия кристаллической решетки.
6. Поясните механизмы плавления и кристаллизации.
7. Как происходит образование переохлажденной жидкости?
8. Дайте понятие энтропии и сформулируйте третий закон термодинамики.

Лабораторная работа «Изучение температурной зависимости сопротивления проводников и полупроводников»

1. Механизм проводимости металлов. Причина электрического сопротивления.
2. Температурная зависимость сопротивления проводников, термический коэффициент сопротивления, его физический смысл, единицы измерения.
3. Классическая электронная теория металлов и границы ее применимости.
4. Электропроводность металлов и полупроводников.
5. Понятие об энергетических зонах (зона проводимости, запрещенная валентная зона, энергия активации).

Лабораторная работа «Определение удельного заряда электрона»

1. Движение заряженной частицы в магнитном поле.
2. Как определить величину и направление силы Лоренца?
3. Как определить траекторию движения частицы в электрическом и магнитном полях?
4. Выведите формулы для радиуса и периода при движении заряженной частицы в магнитном поле.
5. Масс-спектрографы. Циклотрон.
6. Методика определения удельного заряда электрона в лабораторной работе.

Лабораторная работа «Определение показателя преломления жидких сред с помощью рефрактометра»

1. Законы геометрической оптики.
2. Явление полного внутреннего отражения.
3. Принцип работы рефрактометра.
4. Определение концентрации раствора с помощью рефрактометра.
5. Влияние примесей на показатель преломления сред.

Лабораторная работа «Внешний фотоэффект»

1. Корпускулярно-волновой дуализм. Квантовая природа света.
2. Запишите формулу энергии фотона.
3. Модель атома Резерфорда-Бора.
4. Дайте формулировку явления фотоэффекта. Назовите виды фотоэффекта
5. Приведите установку Столетова. Сформулируйте законы фотоэффекта.
6. Напишите формулу Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
7. Дайте определение красной границы фотоэффекта.
8. Что такое запирающее напряжение для данного фотокатода.
9. Проанализируйте вольт-амперную характеристику фотоэлемента.
10. Применение фотоэффекта

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы :

1. Физика для инженеров : учебник для вузов / А. В. Благин, Т. С. Беликова, Т. П. Жданова [и др.] ; под редакцией А. В. Благин. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2026. — 544 с. — ISBN 978-5-507-51545-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/451841> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
 2. Аганов, А. В. Медицинская физика. Часть 1. Механика. Молекулярная физика : учебное пособие для вузов / А. В. Аганов. — 4-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 220 с. — ISBN 978-5-507-48335-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/380648> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
- Медицинская физика : учебник / В. А. Федоров, А. В. Яковлев, Т. Н. Плужникова [и др.]. — Тамбов : ТГУ им. Г.Р.Державина, 2023. — 221 с. — ISBN 978-5-00078-755-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/451676> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. Пользователей

Перечень дополнительной литературы :

1. Купо, А. Н. Общая физика. Молекулярная физика: тестовые задания : учебное пособие / А. Н. Купо, С. А. Лукашевич, Е. Б. Шершнева. — Гомель : ГГУ имени Ф. Скорины, 2023. — 33 с. — ISBN 978-985-577-928-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/360983> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Горяев, М. А. Атомная физика : учебно-методическое пособие / М. А. Горяев, И. О. Попова. — Санкт-Петербург : РГПУ им. А. И. Герцена, 2023. — 36 с. — ISBN 978-5-8064-3334-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/355361> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Дырдин, В. В. Физика. Механика. Молекулярная физика и термодинамика : учебное пособие / В. В. Дырдин, С. А. Шепелева, Т. Л. Ким. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2022. — 246 с. — ISBN 978-5-00137-294-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/257552> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Пауткина, А. В. Физика : учебно-методическое пособие / А. В. Пауткина ; под редакцией С. М. Кокина. — Москва : РУТ (МИИТ), 2020. — 61 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/175886> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Лячин, А. В. Физика : учебно-методическое пособие / А. В. Лячин ; под редакцией А. В. Лячина. — Москва : ТУСУР, 2023 — Часть 2 — 2023. — 48 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/394283> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Шершнев, Е. Б. Общая физика. Физические основы механики, молекулярная физика и термодинамика, электростатика : учебное пособие / Е. Б. Шершнев, А. Н. Купо, С. А. Лукашевич. — Гомель : ГГУ имени Ф. Скорины, 2024. — 39 с. — ISBN 978-985-577-973-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/393983> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. Пользователей
7. Физика для инженеров : учебник для вузов / А. В. Благин, Т. С. Беликова, Т. П. Жданова [и др.] ; под редакцией А. В. Благин. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2026. — 544 с. — ISBN 978-5-507-51545-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/451841> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей

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

Методические указания
для обучающихся по организации и проведению самостоятельной
работы по дисциплине «ФИЗИКА»
для студентов специальности 30.05.01 Медицинская биохимия

Ставрополь, 2026 г.

Введение

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности, способной к саморазвитию, самообразованию, инновационной деятельности.

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса. Независимо от полученной профессии и характера работы любой начинающий специалист должен обладать фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности своего профиля, опытом творческой и исследовательской деятельности по решению новых задач, опытом социально-оценочной деятельности. Все эти составляющие образования формируются именно в процессе самостоятельной работы студентов, так как она предполагает максимальную индивидуализацию деятельности каждого студента и может рассматриваться как средство совершенствования творческой личности. Основным принципом организации самостоятельной работы студентов является комплексный подход, направленный на формирование навыков репродуктивной и творческой деятельности студента в аудитории, при внеаудиторных контактах с преподавателем на консультациях и домашней подготовке. Среди основных видов самостоятельной работы студентов традиционно выделяют: подготовка к лекциям, семинарским и практическим занятиям, подготовка к зачетам и экзаменам, написание рефератов, выполнение лабораторных и контрольных работ.

Общая характеристика самостоятельной работы студента

Любой вид занятий, создающий условия для зарождения самостоятельной мысли, познавательной и творческой активности студента связан с самостоятельной работой.

В широком смысле под самостоятельной работой понимают совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в учебной аудитории, так и вне ее, в контакте с преподавателем и в его отсутствие.

Самостоятельная работа может реализовываться: непосредственно в процессе аудиторных занятий – на лекциях, практических и семинарских занятиях, при выполнении контрольных и лабораторных работ и др.; в контакте с преподавателем вне рамок аудиторных занятий – на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и

т.д.; в библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре и других местах при выполнении студентом учебных и творческих заданий.

В Федеральных государственных образовательных стандартах высшего профессионального образования (ФГОС ВО) на внеаудиторную работу отводится не менее половины бюджета времени студента за весь период обучения. Это время полностью может быть использовано на самостоятельную работу. Кроме того, большая часть времени, отводимого на аудиторские занятия, так же включает самостоятельную работу. Таким образом, времени на самостоятельную работу в учебном процессе вполне достаточно, вопрос в том, как эффективно использовать это время.

Цель самостоятельной работы студента – осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою профессиональную квалификацию.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная – самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию;
- внеаудиторная – самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия

Содержание аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работы студентов определяется в соответствии с рекомендуемыми видами учебных заданий, представленными в рабочей программе учебной дисциплины.

Самостоятельная работа помогает студентам:

1) овладеть знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;
- работа со справочниками и др. справочной литературой;

- ознакомление с нормативными и правовыми документами;
- учебно-методическая и научно-исследовательская работа;
- использование компьютерной техники и Интернета и др.;

2) закреплять и систематизировать знания:

- работа с конспектом лекции;
- обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;
- подготовка плана;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- подготовка ответов на контрольные вопросы;
- заполнение рабочей тетради;
- аналитическая обработка текста;
- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению на семинаре (конференции, круглом столе и т.п.);
- подготовка реферата;
- составление библиографии использованных литературных источников;
- разработка тематических кроссвордов и ребусов;
- тестирование и др.;

3) формировать умения:

- решение ситуационных задач и упражнений по образцу;
- выполнение расчетов (графические и расчетные работы);
- решение профессиональных кейсов и вариативных задач;
- подготовка к контрольным работам;

- подготовка к тестированию;
- подготовка к деловым играм;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности;
- опытно - экспериментальная работа;
- анализ профессиональных умений с использованием аудио- и видеотехники и др.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности и уровня умений студентов.

Контроль результатов самостоятельной работы студентов должен осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

Формы самостоятельной работы студента могут различаться в зависимости от цели, характера, дисциплины, объема часов, определенных учебным планом: подготовка к лекциям, семинарским, практическим и лабораторным занятиям; изучение учебных пособий; изучение и конспектирование хрестоматий и сборников документов; изучение в рамках программы курса тем и проблем, не выносимых на лекции и семинарские занятия; написание тематических докладов, рефератов на проблемные темы; выполнение исследовательских и творческих заданий; написание контрольных и лабораторных работ; составление библиографии и реферирование по заданной теме.

Цель и задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРС совпадает с целью обучения студента – формирование набора общенаучных, профессиональных и специальных компетенций будущего специалиста по направлению подготовки 30.05.01. Медицинская биохимия

При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний,

навыков и возможности организации учебной и научной деятельности. Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Задачами СРС являются:

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

Методические указания по видам работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины:

Подготовка к лекциям

Лекция (от лат. lectio) – это систематическое, последовательное, монологическое устное изложение преподавателем (лектором) учебного материала, как правило, теоретического характера. Как одна из организационных форм обучения и один из методов обучения лекция традиционна для высшей школы, где на ее основе формируются курсы по многим предметам учебного плана. Лекция является ведущей формой организации учебного процесса в высшем учебном заведении. Основными организационными вопросами при этом являются, во-первых, подготовка к восприятию лекции, и, во-вторых, как записывать лекционный материал.

Особое значение лекции состоит в том, что знакомит студентов с наукой, расширяет, углубляет и совершенствует ранее полученные знания, формирует научное мировоззрение, учит методике и технике лекционной работы. Кроме того, на лекции мобилизуется внимание, вырабатываются навыки слушания, восприятия, осмысления и записывания информации. Все это призвано воспитывать логическое мышление студента и закладывает основы научного исследования. Каждой лекции отводится конкретное место в системе учебных занятий по курсу, а работа с лекционным материалом является одной из форм самостоятельной внеаудиторной работы студента. В зависимости от дидактических целей выделяют на несколько типов лекций, которые различаются по строению, приемам изложения материала, характеру обобщений и выводов. Виды лекций: 1. Вводная лекция имеет ряд особенностей. Во-первых, этот тип лекции не предполагает рассмотрение всех вопросов, касающихся данной темы. Преподаватель отбирает основные моменты, которые позволят студенту лучше усвоить материал. Вторая особенность вводной лекции – проблемное раскрытие темы. Этим достигается необходимая глубина рассмотрения основных вопросов и целенаправленное внимание студентов при слушании лекции, формирование у них проблемного мышления. Цель вводной лекции – «ввести» в научную дисциплину, помогает понять ее предмет, методология и т.д. 2. Обзорная лекция носит характер повествования, которое сочетается с анализом и обобщениями. Главным в обзорной лекции является отбор и группировка материала с тем, чтобы подготовить студента к восприятию закономерностей, освещаемых в данной лекции. 3. Задача обобщающей лекции состоит в систематизации и обобщении широкого круга знаний, полученных студентами в процессе изучения конкретной темы. В данном случае преподаватель имеет возможность ссылаться на известные студентам факты и события и раскрывать соответствующие закономерности. Основное требование к обобщающей лекции, как и к обзорной, – проблемность ее содержания. Проблемы, рассматриваемые в данном типе лекции, являются ее логической основой. Выделяют и другие формы лекций: лекция-беседа («диалог с аудиторией»), лекция-дискуссия, лекция-консультация. Важным критерием в работе с лекционным материалом является подготовка студентов к сознательному восприятию преподаваемого материала. При подготовке студента к лекции необходимо, во-первых, психологически настроиться на эту работу, осознать необходимость ее систематического выполнения. Во-вторых, необходимо выполнение познавательно-

практической деятельности накануне лекции (просматривание записей предыдущей лекции для восстановления в памяти ранее изученного материала; ознакомление с заданиями для самостоятельной работы, включенными в программу, подбор литературы) Подготовка к лекции мобилизует студента на творческую работу, главными в которой являются умения слушать, воспринимать, записывать. Лекция – это один из видов устной речи, когда студент должен воспринимать на слух излагаемый материал. Внимательно слушающий студент напряженно работает – анализирует излагаемый материал, выделяет главное, обобщает с ранее полученной информацией и кратко записывает. Записывание лекции – творческий процесс. Запись лекции крайне важна. Это позволяет надолго сохранить основные положения лекции; способствует поддержанию внимания; способствует лучшему запоминанию материала. Для эффективной работы с лекционным материалом необходимо зафиксировать название темы, план лекции и рекомендованную литературу. После этого приступить к записи содержания лекции. В оформлении конспекта лекции важным моментом является необходимость оставлять поля, которые потребуются для последующей работы над лекционным материалом. Завершающим этапом самостоятельной работы над лекцией является обработка, закрепление и углубление знаний по теме. Необходимо обращаться к лекциям неоднократно. Первый просмотр записей желательно сделать в тот же день, когда все свежо в памяти. Конспект нужно прочесть, заполнить пропуски, расшифровать некоторые сокращения. Затем надо ознакомиться с материалом темы по учебнику, внести нужные уточнения и дополнения в лекционный материал.

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Методика изучения раздела «Основы Механики»

Научно-методический анализ раздела «Основы Механики»: основные понятия и законы, изучаемые в разделе, идея относительности в механике, координатно-векторный способ описания движения.

Научно-методический анализ и методика формирования понятий: система отсчета, перемещение, скорость, ускорение, масса, сила, импульс, работа, энергия, колебательный процесс, амплитуда, период, частота, фаза колебания.

Научно-методический анализ и методика изучения уравнений движения, законов Ньютона, законов сохранения, механических колебаний и волн.

Методика изучения раздела «Основы МКТ и термодинамики»

Научно-методический анализ раздела «Основы молекулярно-кинетической теории и термодинамики»: основные понятия и законы, изучаемые в разделе; термодинамический и статистический методы изучения тепловых явлений, их единство; отражение молекулярно-кинетической теории строения вещества в содержании раздела.

Научно-методический анализ и методика формирования у учащихся понятий теплового равновесия, температуры, внутренней энергии, необратимости. Методика формирования у учащихся статистических представлений при изучении молекулярной физики.

Научно-методический анализ и методика изучения основных положений молекулярно-кинетической теории строения вещества, молекулярно-кинетической теории идеального газа, строения и свойств жидкостей и твердых тел, принципов работы тепловых двигателей, законов термодинамики.

Методика изучения раздела «Электричество и магнетизм»

Научно-методический анализ раздела «Электричество и магнетизм»: основные понятия и законы, изучаемые в разделе, возможные подходы к формированию понятия электромагнитного поля, отражение теории Максвелла в содержании раздела, вопросы классической электронной теории проводимости.

Научно-методический анализ методика формирования понятий: электрический заряд, электромагнитное поле, напряженность, потенциал, разность потенциалов, напряжение, ЭДС, емкость, магнитная индукция, индуктивность, магнитный поток, ЭДС индукции.

Научно-методический анализ и методика изучения электростатики, законов постоянного тока, магнитного поля, электрического тока в

различных средах, электромагнитной индукции, элементов специальной теории относительности, электромагнитных колебаний и волн, волновых свойств света.

Методика изучения раздела «Оптика. Квантовая природа излучения»

Научно-методический анализ раздела «Оптика. Квантовая природа излучения»: основные понятия и законы, изучаемые в разделе, элементы квантовой теории в содержании раздела.

Научно-методический анализ и методика изучения явления фотоэффекта, постулатов Бора, неравенства Гейзенберга, строения атома и атомного ядра, элементарных частиц.

Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

Важной формой самостоятельной работы студента является систематическая и планомерная подготовка к практическому занятию. После лекции студент должен познакомиться с планом практических занятий и списком обязательной и дополнительной литературы, которую необходимо прочитать, изучить и законспектировать. Разъяснение по вопросам новой темы студенты получают у преподавателя в конце предыдущего практического занятия.

Подготовка к практическому занятию требует, прежде всего, чтения рекомендуемых источников и монографических работ, их реферирования, подготовки докладов и сообщений. Важным этапом в самостоятельной работе студента является повторение материала по конспекту лекции. Одна из главных составляющих внеаудиторной подготовки – работа с книгой. Она предполагает: внимательное прочтение, критическое осмысление содержания, обоснование собственной позиции по дискуссионным моментам, постановки интересующих вопросов, которые могут стать предметом обсуждения на семинаре.

Методические рекомендации для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Целями лабораторных работ являются изучение специальных понятий и терминов в области физики, устройства и принципа действия приборов, требований стандартов к показателям качества материалов,

освоение стандартных методик определения основных параметров и показателей качества материалов, расчетных формул и методов обработки результатов, а также методов неразрушающих испытаний.

2. Приступая к лабораторным занятиям, студент должен изучить методические указания к лабораторной работе.

3. Каждая лабораторная работа содержит основные сведения и задание студенту для самостоятельной подготовки.

4. В основных сведениях даны определения специальных понятий, описание приборов и методов испытаний, методические рекомендации по выполнению работы в лаборатории, порядок расчета показателей и их значение при оценке качества материалов.

5. Готовясь к выполнению работы, студент в журнале лабораторных работ должен сформулировать цель работы и ее основные задачи.

6. Готовность студента к выполнению работы проверяется в собеседовании с преподавателем, после представления предварительно оформленной лабораторной работы в журнале. Студенты, допущенные к лабораторным занятиям, получают задание на выполнение лабораторной работы.

7. На лабораторных занятиях в соответствии с заданием и дополнительными указаниями, полученными от преподавателя, студент производит различные экспериментальные измерения, результаты которых студент заносит в журнал лабораторных работ. После обсуждения полученных результатов с преподавателем студент окончательно оформляет отчет. Оформленная лабораторная работа представляется преподавателю для проверки и повторного собеседования для получения зачета по выполненной работе.

Оформление отчета по лабораторной работе

Отчет о лабораторной работе содержит пять разделов.

1. **Цель работы** формулируется студентом исходя из темы лабораторной работы, данных, приводимых в лабораторном практикуме или методических указаниях. Цель работы должна быть изложена кратко и отражать существо рассматриваемого вопроса.

2. **Приборы и материалы.** Приводится перечень всех необходимых материалов и оборудования для выполнения лабораторной работы.

3. **Основные сведения.** Приводятся основные понятия из области методов испытания, физико-механических свойств материалов, которые необходимы в данной лабораторной работе.

4. **Методика проведения работы.** В журнале выполняются схемы приборов и установок для определения соответствующих показателей свойств или параметров материалов с полной спецификацией деталей и узлов. Приводятся описание приборов или установок и кратко принцип их работы, а

также методика отбора и подготовки образцов испытуемых материалов с обязательной ссылкой на соответствующие государственные стандарты. Затем приводятся методики испытаний и расчета показателей с указанием размерности в СИ.

5. **Экспериментальная часть.** После испытаний студент заносит в журнал первичные результаты (например, массу до и после намокания образца). Имея первичные результаты, студент по формулам рассчитывает соответствующие показатели, заносит результаты в сводную таблицу.

6. **Выводы.** По результатам лабораторной работы студент обязан сделать выводы, которые основываются на сравнении показателей использованных материалов, оценке тенденций изменений показателей свойств под действием различных факторов, а также на соответствии полученных результатов требованиям государственных стандартов или другой научно-технической документации.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНАМ Изучение каждой дисциплины заканчивается определенными методами контроля, к которым относятся: текущая аттестация, зачеты и экзамены. Требования к организации подготовки к экзаменам те же, что и при занятиях в течение семестра, но соблюдаться они должны более строго. При подготовке к экзаменам у студента должен быть хороший учебник или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра. Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения, используя при этом опорные конспекты лекций. Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний. Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

САМОПРОВЕРКА

После изучения определенной темы по записям в конспекте и учебнику, а также решения достаточного количества соответствующих задач на практических занятиях и самостоятельно студенту рекомендуется, используя

лист опорных сигналов, воспроизвести по памяти определения, выводы формул, формулировки основных положений и доказательств. В случае необходимости нужно еще раз внимательно разобраться в материале. Иногда недостаточность усвоения того или иного вопроса выясняется только при изучении дальнейшего материала. В этом случае надо вернуться назад и повторить плохо усвоенный материал. Важный критерий усвоения теоретического материала - умение решать задачи или пройти тестирование по пройденному материалу. Однако следует помнить, что правильное решение задачи может получиться в результате применения механически заученных формул без понимания сущности теоретических положений.

КОНСУЛЬТАЦИИ

Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения.

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы :

1. Физика для инженеров : учебник для вузов / А. В. Благин, Т. С. Беликова, Т. П. Жданова [и др.] ; под редакцией А. В. Благин. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2026. — 544 с. — ISBN 978-5-507-51545-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/451841> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
 2. Аганов, А. В. Медицинская физика. Часть 1. Механика. Молекулярная физика : учебное пособие для вузов / А. В. Аганов. — 4-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 220 с. — ISBN 978-5-507-48335-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/380648> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
- Медицинская физика : учебник / В. А. Федоров, А. В. Яковлев, Т. Н. Плужникова [и др.]. — Тамбов : ТГУ им. Г.Р.Державина, 2023. — 221 с. — ISBN 978-5-00078-755-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-

библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/451676> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. Пользователей

Перечень дополнительной литературы :

1. Купо, А. Н. Общая физика. Молекулярная физика: тестовые задания : учебное пособие / А. Н. Купо, С. А. Лукашевич, Е. Б. Шершневу. — Гомель : ГГУ имени Ф. Скорины, 2023. — 33 с. — ISBN 978-985-577-928-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/360983> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Горяев, М. А. Атомная физика : учебно-методическое пособие / М. А. Горяев, И. О. Попова. — Санкт-Петербург : РГПУ им. А. И. Герцена, 2023. — 36 с. — ISBN 978-5-8064-3334-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/355361> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Дырдин, В. В. Физика. Механика. Молекулярная физика и термодинамика : учебное пособие / В. В. Дырдин, С. А. Шепелева, Т. Л. Ким. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2022. — 246 с. — ISBN 978-5-00137-294-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/257552> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Пауткина, А. В. Физика : учебно-методическое пособие / А. В. Пауткина ; под редакцией С. М. Кокина. — Москва : РУТ (МИИТ), 2020. — 61 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/175886> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Лячин, А. В. Физика : учебно-методическое пособие / А. В. Лячин ; под редакцией А. В. Лячина. — Москва : ТУСУР, 2023 — Часть 2 — 2023. — 48 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/394283> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Шершневу, Е. Б. Общая физика. Физические основы механики, молекулярная физика и термодинамика, электростатика : учебное пособие / Е. Б. Шершневу, А. Н. Купо, С. А. Лукашевич. — Гомель : ГГУ имени Ф. Скорины, 2024. — 39 с. — ISBN 978-985-577-973-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/393983> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. Пользователей
7. Физика для инженеров : учебник для вузов / А. В. Благин, Т. С. Беликова, Т. П. Жданова [и др.] ; под редакцией А. В. Благин. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2026. — 544 с. — ISBN 978-5-507-51545-5. — Текст :

электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/451841> (дата обращения: 31.01.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей