

УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

кафедра физики

**методические указания и контрольные задания
по физике**

для студентов специального заочного образования

Общие методические указания

За время изучения курса общей физики студент-заочник должен выполнить пять контрольных работ. Номера задач, которые студент должен решить в своей работе определяют по таблицам вариантов. Номер варианта соответствует последней цифре номера зачётной книжки.

Контрольные работы выполняют в школьной тетради.

Условия задач надо переписать полностью. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставляют поля.

Решения задач сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.

Решать задачи надо в общем виде, т. е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии. При таком способе решения не производятся вычисления промежуточных величин.

При подстановке в расчётную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует выражать в системе СИ и произвести проверку соответствия единиц измерения в расчётной формуле.

Ответственный редактор: доктор физ.-мат. наук,
проф. Абдурахманов К.П.

Составители: доц. Хайдаров К.Х.
доц. Хамидова Х.Х.

Ташкент – 2008

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА I

Механика.

Учебные материалы

Физические основы классической механики. Механическое движение, как простейшая форма движения материи. Представления о свойствах пространства и времени, лежащие в основе классической механики. Элементы кинематики материальной точки. Нормальное и тангенциальное ускорение. Поступательное движение твёрдого тела.

Динамика материальной точки. Динамика поступательного движения твёрдого тела. Закон инерции и инерциальные системы отсчёта. Законы динамики материальной точки и системы материальных точек. Внешние и внутренние силы. Центр масс механической системы и закон его движения. Закон сохранения импульса.

Энергия как универсальная мера различных форм движения и взаимодействия. Работа переменной силы. Кинетическая энергия механической системы и её связь с работой внешних и внутренних сил, приложенных к системе.

Поле, как форма материи, осуществляющая силовое взаимодействие между частицами вещества. Потенциальная энергия материальной точки во внешнем силовом поле и её связь с силой, действующей на материальную точку. Понятие о градиенте скалярной функции координат. Поле центральных сил. Потенциальная энергия системы. Закон сохранения механической энергии. Диссипация энергии. Применение законов сохранения энергии к столкновению упругих и неупругих тел.

Элементы кинематики вращательного движения. Угловая скорость и угловое ускорение, их связь с линейной скоростью и ускорением. Момент силы и момент импульса механической системы. Момент силы относительно оси. Момент импульса тела относительно неподвижной оси вращения. Момент инерции тела относительно оси. Уравнение динамики вращательного движения

твёрдого тела относительно неподвижной оси. Кинетическая энергия вращающегося тела. Закон сохранения момента импульса.

Неинерциальные системы отсчёта. Силы инерции. Элементы специальной (частной) теории относительности. Преобразования Галилея. Механический принцип относительности. Постулаты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца. Понятие одновременности. Относительность длин и промежутков времени. Интервал между событиями и его инвариантность по отношению к выбору инерциальной системы отсчёта, как проявление взаимосвязи пространства и времени. Релятивистский закон сложения скоростей. Релятивистский импульс. Основной закон релятивистской динамики материальной точки. Релятивистское выражение для кинетической энергии. Взаимосвязь массы и энергии. Энергия связи системы. Соотношение между полной энергией и импульсом частицы. Границы применимости классической (ньютоновской) механики.

Механические колебания. Гармонические колебания, их кинематические характеристики. Дифференциальное уравнение гармонических колебаний. Пружинный, физический и математический маятники. Энергия гармонических колебаний. Сложение колебаний одного направления и одинаковой частоты. Биения. Сложение взаимно-перпендикулярных колебаний. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение.

Апериодический процесс. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение. Амплитуда смещения и фаза вынужденных колебаний. Понятие о резонансе.

Основные формулы

Мгновенная скорость:

$$v = \frac{dS}{dt} \quad \text{или} \quad v = \frac{dx}{dt}$$

Средняя путевая скорость:

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad \text{или} \quad \langle v \rangle = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Мгновенное ускорение:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 S}{dt^2} \quad \text{или} \quad a = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}$$

Тангенциальное и нормальное ускорения:

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} \quad a_n = \frac{v^2}{R}$$

Полное ускорение:

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$$

Мгновенные угловая скорость и угловое ускорение:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}; \quad \beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$$

Связь между линейными и угловыми величинами:

$$v = \omega R; \quad a_\tau = \beta R; \quad a_n = \omega^2 R$$

Кинематическое уравнение гармонических колебаний материальной точки:

$$x = A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Скорость и ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания:

$$v = \frac{dx}{dt} = A \cdot \omega \cdot \cos(\omega t + \varphi_0); \quad \alpha = \frac{dv}{dt} = -A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты:

а) амплитуда результирующего колебания:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

б) начальная фаза результирующего колебания:

$$\varphi = \arctg \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}$$

Траектория точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях $x = A_1 \cos \omega t$, $y = A_2 \cos(\omega t + \varphi)$:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1A_2} \cos \varphi = \sin^2 \varphi$$

а) $y = \frac{A_2}{A_1} x$ (если разность фаз $\varphi = 0$)

б) $y = -\frac{A_2}{A_1} x$ (если разность фаз $\varphi = \pm\pi$)

в) $\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1$ (если разность фаз $\varphi = \pm\pi/2$)

Импульс материальной точки:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Второй закон Ньютона:

$$d\vec{P} = \vec{F}dt$$

Силы, рассматриваемые в механике:

а) сила упругости: $F = -kx$

б) сила тяжести: $P = mg$

в) сила гравитационного взаимодействия:

$$F = G \frac{M_1 M_2}{R^2} = G \frac{M_1 M_2}{(R_\phi + h)^2}$$

г) сила трения: $F = \mu N$

Закон сохранения импульса:

$$\sum_{i=1}^n \vec{P}_i = const$$

Кинетическая энергия тела, движущегося поступательно:

$$T = \frac{mv^2}{2} \quad \text{или} \quad T = \frac{P^2}{2m}$$

Потенциальная энергия:

а) упругодеформированной пружины:

$$\dot{I} = \frac{kx^2}{2},$$

где k – жёсткость пружины; x – абсолютная деформация;

б) гравитационного взаимодействия:

$$\dot{I} = -G \frac{M_1 M_2}{R},$$

где G – гравитационная постоянная; m_1 и m_2 – массы взаимодействующих тел; R – расстояние между центрами масс;

в) тела, находящегося в однородном поле силы тяжести:

$$\dot{I} = mgh,$$

где g – ускорение свободного падения; h – высота тела над уровнем, принятым за нулевой (формула справедлива при условии $h \ll R$, где R – радиус Земли)

Закон сохранения механической энергии:

$$E = T + \dot{I} = const.$$

Работа A , совершаемая внешними силами, определяется как мера изменения энергии системы:

$$A = \Delta E = E_2 - E_1.$$

Основное уравнение динамики вращательного движения относительно неподвижной оси Z :

$$M_z = J_z \cdot \beta',$$

где M_z – результирующий момент внешних сил относительно оси z , действующих на тело; β' – угловое ускорение; J_z – момент инерции тела относительно оси вращения.

Момент инерции некоторых тел массой m относительно оси z , проходящей через центр масс:

а) стержня длиной l относительно оси, перпендикулярной стержню:

$$J_z = \frac{1}{12} ml^2,$$

б) обруча (тонкостенного цилиндра) относительно оси, перпендикулярной плоскости обруча (совпадающей с осью цилиндра):

$$J_z = mR^2,$$

где R – радиус обруча (цилиндра);

в) диска радиусом R относительно оси, перпендикулярной плоскости диска:

$$J_z = \frac{1}{2} mR^2.$$

Момент импульса тела, вращающегося относительно неподвижной оси:

$$\vec{L} = J_z \vec{\omega},$$

где $\vec{\omega}$ - угловая скорость тела.

Закон сохранения момента импульса системы тел, вращающихся вокруг неподвижной оси:

$$J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2,$$

где $J_1, \omega_1, J_2, \omega_2$ – моменты инерции системы тел и угловые скорости вращения в моменты времени, принятые за начальный и конечный.

Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси Z :

$$T = \frac{J_z \omega^2}{2} \quad \text{или} \quad T = \frac{L_z^2}{2J_z}.$$

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА II

Электростатика. Постоянный электрический ток. Электромагнетизм.

Учебные материалы

Электрическое поле в вакууме. Электрические свойства тел. Элементарный заряд. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электрическая постоянная. Электрическое поле. Напряжённость поля. Принцип суперпозиции полей. Силовые линии поля. Поток вектора напряжённости. Теорема Остроградского-Гаусса. Вычисление напряжённости поля различных заряженных тел. Работа сил электрического поля при перемещении заряда. Циркуляция векторов напряжённости. Потенциал. Связь между напряжённостью электрического поля и потенциалом. Потенциал поля точечного заряда. Электрическое поле внутри заряженного проводника. Распределение зарядов в проводниках.

Проводники в электрическом поле. Энергия электрического поля. Электроёмкость проводников. Конденсаторы. Соединение конденсаторов. Энергия системы зарядов. Энергия заряженного проводника. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электростатического поля. Объёмная плотность энергии.

Электрическое поле в диэлектриках. Свободные и связанные заряды. Электрический диполь. Электрический момент диполя. Диполь в однородном электрическом поле. Полярные и неполярные молекулы. Поляризация диэлектриков. Поляризованность (вектор поляризации). Электрическое смещение.

Постоянный электрический ток, его характеристики и условия существования. Вывод закона Ома в дифференциальной форме из электронных представлений. Закон Видемана-Франца.

Закон Ома в интегральной форме. Разность потенциалов, электродвижущая сила, напряжение. Ток в газах. Плазма. Работа выхода электронов из металла. Термоэлектронная эмиссия.

Магнитное поле. Магнитная индукция. Закон Ампера. Магнитное поле тока. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчёту магнитного поля. Магнитное поле прямолинейного проводника с током. Магнитное поле кругового тока. Магнитный момент витка с током. Вихревой характер магнитного поля. Закон полного тока (циркуляция вектора магнитной индукции) для магнитного поля в вакууме и его применение к расчёту магнитного поля тороида и длинного соленоида. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Эффект Холла. Магнитный поток. Теорема Остроградского-Гаусса. Работа перемещения проводников и контура с током в магнитном поле.

Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции и его вывод из закона сохранения энергии. Явление самоиндукции. Индуктивность. Токи при замыкании и размыкании цепи. Явление взаимной индукции. Взаимная индуктивность. Энергия системы проводников с током. Объёмная плотность энергии магнитного поля.

Основы теории Максвелла для электромагнитного поля. Ток смещения. Уравнение Максвелла для электромагнитного поля в интегральной форме.

Основные формулы

Закон Кулона:

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R^2},$$

где F – сила взаимодействия точечных зарядов Q_1 и Q_2 ; R – расстояние между зарядами; ε – диэлектрическая проницаемость среды; ε_0 – электрическая постоянная.

Напряжённость электрического поля и потенциал:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_{np}}, \quad \phi = \frac{\dot{I}}{Q_{np}},$$

где Π – потенциальная энергия точечного положительного пробного заряда Q_{np} , находящегося в данной точке поля (при условии, что потенциальная энергия заряда, удалённого в бесконечность, равна нулю).

Сила, действующая на точечный заряд, находящийся в электрическом поле и потенциальная энергия этого заряда:

$$\vec{F} = \vec{E}Q_0; \quad \dot{I} = \phi Q_0$$

Напряжённость и потенциал поля, создаваемого системой точечных зарядов (принцип суперпозиции электрических полей):

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i; \quad \phi = \sum_{i=1}^n \phi_i,$$

где \vec{E}_i , ϕ_i – напряжённость и потенциал в данной точке поля, создаваемого i -м зарядом.

11

ным

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R^2}; \quad \phi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R},$$

где R – расстояние от заряда Q до точки, в которой определяются напряжённость и потенциал.

Напряжённость и потенциал поля, создаваемого проводящей заряженной сферой радиусом R_0 на расстоянии R от центра сферы:

$$\text{а) } E = 0, \quad \phi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R^2} \quad (\text{при } R < R_0)$$

$$\text{б) } E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_0^2}, \quad \phi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_0} \quad (\text{при } R = R_0)$$

$$\text{в) } E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R^2}, \quad \phi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R} \quad (\text{при } R > R_0),$$

где Q – заряд сферы.

Линейная плотность заряда:

$$\tau = \frac{Q}{l}$$

Поверхностная плотность заряда:

$$\sigma = \frac{Q}{S}$$

Напряжённость поля, создаваемого бесконечно прямой, равномерно заряженной линией или цилиндром на расстоянии R от оси:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon R}.$$

Напряжённость поля, создаваемого бесконечной равномерно

..

12

$$-\varepsilon_0\varepsilon$$

Связь потенциала с напряжённостью:

$$\text{а) } \vec{E} = \overrightarrow{\text{grad}}\phi \quad (\text{в общем случае});$$

$$\text{б) } E = \frac{\phi_1 - \phi_2}{d} \quad (\text{в случае однородного поля}).$$

Электрический момент диполя:

$$\vec{P} = |Q| \cdot \vec{l},$$

где Q – заряд; l – плечо диполя (векторная величина, направленная от отрицательного заряда к положительному и численно равная расстоянию между зарядами).

Работа сил поля по перемещению заряда из точки поля с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2 :

$$A_{12} = Q(\varphi_2 - \varphi_1)$$

Ёмкость:

$$C = \frac{Q}{\varphi} \quad \text{или} \quad C = \frac{Q}{U},$$

где φ – потенциал проводника (при условии, что в бесконечности потенциал проводника принимается равным 0); U – разность потенциалов пластин конденсатора.

Ёмкость единичной проводящей сферы радиусом R :

13

Ёмкость плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d},$$

где S – площадь пластины (одной) конденсатора; d – расстояние между пластинами.

Ёмкость батареи конденсаторов:

$$\text{а) } \frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (\text{при последовательном соединении});$$

$$\text{б) } C = \sum_{i=1}^n C_i \quad (\text{при параллельном соединении}),$$

где n – число конденсаторов в батарее.

15

Энергия заряженного конденсатора:

$$W = \frac{QU}{2}; \quad W = \frac{CU^2}{2}; \quad W = \frac{Q^2}{2C}.$$

Сила тока:

$$J = \frac{Q}{t}, \quad J = \frac{dQ}{dt}$$

где Q – заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время t .

Плотность тока:

$$j = \frac{J}{S},$$

где S – площадь поперечного сечения проводника.

Связь плотности тока со средней скоростью $\langle v \rangle$ направленного движения заряженных частиц:

14

щ.

Закон Ома:

$$\text{а) } J = \frac{U}{R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} \quad \text{для участка цепи, не содержащего}$$

ЭДС;

$$\text{б) } J = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) \pm \varepsilon}{R} \quad \text{для участка цепи, содержащего ЭДС;}$$

$$\text{в) } J = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad \text{для замкнутой цепи.}$$

Сопротивление проводника:

16

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Сопротивление системы проводников:

$$\text{а) } R = \sum_{i=1}^n R_i \quad \text{при последовательном соединении;}$$

$$\text{б) } \frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad \text{при параллельном соединении.}$$

Работа тока:

$$A = JUt; \quad A = J^2 R t; \quad A = \frac{U^2}{R} t.$$

Мощность тока:

$$P = JU; \quad P = J^2 R; \quad P = \frac{U^2}{R}.$$

Закон Джоуля-Ленца:

$$Q = J^2 R t.$$

Закон Ома в дифференциальной форме

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}.$$

Связь удельной проводимости γ с подвижностью b заряженных частиц:

$$\gamma = Qn(b_+ + b_-),$$

где n – концентрация носителей тока.

Связь магнитной индукции B с напряжённостью H магнитного поля:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H},$$

где μ – магнитная проницаемость изотропной среды; μ_0 – магнитная постоянная. В вакууме $\mu = 1$, и тогда магнитная индукция в вакууме

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}.$$

Закон Био-Савара-Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \left[\vec{dl} \vec{r} \right] \cdot \frac{J}{r^3} \quad \text{или} \quad dB = \frac{\mu_0 \mu J dl \sin \alpha}{4\pi r^2},$$

где $d\vec{B}$ – магнитная индукция поля, создаваемого элементом проводника, длиной dl с током J ; \vec{r} – радиус-вектор, направленный от элемента проводника к точке, в которой определяется магнитная индукция; α – угол между радиус-вектором и направлением тока в элементе проводника.

Магнитная индукция в центре кругового тока:

$$B = \frac{\mu_0 \mu J}{2R},$$

где R – радиус кругового витка.

Магнитная индукция на оси кругового тока

$$B = \frac{\mu_0 \mu 2\pi R^3 J}{4\pi (R^2 + h^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 \mu R^3 J}{2(R^2 + h^2)^{3/2}},$$

где h – расстояние от центра витка до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля прямого тока

$$B = \frac{\mu_0 \mu J}{r_0},$$

где r_0 – расстояние от оси проводников до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком провода с током (рис. 1, а):

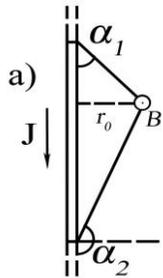


Рис.1,а

$$B = \frac{\mu_0 \mu J}{2\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2).$$

Обозначения ясны из рисунка. Направление вектора магнитной индукции \vec{B} обозначено точкой – это значит, что \vec{B} направлен перпендикулярно плоскости чертежа к нам.

При симметричном расположении концов провода относительно точки, в которой определяется магнитная индукция (рис. 1, б)

$-\cos \alpha_2 = \cos \alpha_1 = \cos \alpha$, тогда

$$B = \frac{\mu_0 \mu J}{2\pi r_0} \cos \alpha.$$

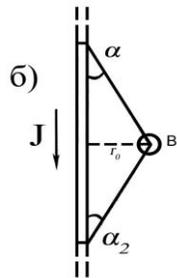


Рис.1,б

Магнитная индукция поля соленоида:

$$B = \mu_0 \mu_n J,$$

где n – отношение числа витков соленоида к его длине.

Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле (закон Ампера):

$$d\vec{F} = J [d\vec{l}, \vec{B}] \quad \text{или} \quad d\vec{F} = JBdl \sin \alpha.$$

Магнитный момент плоского контура с током:

$$\vec{P}_m = JS\vec{n} \quad \text{или} \quad P_m = JS.$$

Механический момент, действующий на контур с током в однородном магнитном поле:

$$\vec{M} = [\vec{P}_m, \vec{B}] \quad \text{или} \quad M = P_m B \sin \alpha.$$

Сила Лоренца:

$$\vec{F} = Q[\vec{v}, \vec{B}] \quad \text{или} \quad F = QvB \sin \alpha.$$

Магнитный поток:

$$\hat{O} = B_n S = BS \cos \alpha.$$

Потокоцепление:

$$\psi = N\Phi.$$

Работа по перемещению замкнутого контура в магнитном поле:

$$A = J\Delta\hat{O},$$

где $\Delta\Phi$ – изменение магнитного потока.

ЭДС индукции:

$$\varepsilon_{in} = -\frac{d\psi}{dt}.$$

Разность потенциалов на концах проводника, движущегося со скоростью v в магнитном поле:

$$U = Bvl \sin \alpha,$$

где l – длина проводника, α – угол между векторами v и B .

Заряд, протекающий по замкнутому контуру при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур:

$$Q = \frac{\Delta\Phi}{R} \quad \text{или} \quad Q = N \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{\Delta\psi}{R},$$

где R – сопротивление контура.

Индуктивность контура:

$$L = \frac{\Psi}{J}.$$

ЭДС самоиндукции:

$$\varepsilon_{ci} = -L \frac{dJ}{dt}.$$

Индуктивность соленоида:

$$L = \mu_0 \mu n^2 V,$$

где n – отношение числа витков соленоида к его длине; V – объём соленоида.

Мгновенное значение силы тока в цепи, обладающей сопротивлением R и индуктивностью L :

$$\text{а) } J = J_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) \quad (\text{при замыкании цепи}),$$

где ε – ЭДС источника тока; t – время, прошедшее после замыкания цепи.

$$\text{б) } J = J_0 e^{-\frac{R}{L}t} \quad (\text{при размыкании цепи}),$$

где J_0 – сила тока в цепи при $t_0 = 0$, t – время, прошедшее с момента размыкания цепи.

Энергия магнитного поля:

$$W = \frac{LJ^2}{2}.$$

Объёмная плотность энергии магнитного поля (отношение энергии магнитного поля соленоида к его объёму):

$$\omega = \frac{BH}{2} \quad \text{или} \quad \omega = \frac{B^2}{2\mu_0\mu} \quad \text{или} \quad \omega = \frac{\mu_0\mu H^2}{2},$$

где B – магнитная индукция; H – напряжённость магнитного поля.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА III

Физика волновых процессов. Волновая оптика. Квантовая природа излучения.

Учебные материалы

Механизм образования механических волн в упругой среде. Продольные и поперечные волны. Волновое уравнение. Фазовая скорость и дисперсия волн. Энергия волны. Принцип суперпозиции. Когерентность. Интерференция волн.

Стоячие волны. Уравнение стоячей волны. Дифференциальное уравнение электромагнитной волны. Основные свойства электромагнитных волн. Энергия электромагнитных волн. Поток энергии. Вектор Умова-Пойнтинга. Излучение диполя.

Интерференция света. Когерентность и монохроматичность световых волн. Расчёт интерференционной картины от двух когерентных источников. Оптическая длина пути. Интерференция света в тонких плёнках. Интерферометры. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Прямолинейное распространение света. Дифракция Френеля на круглом отверстии и диске. Дифракция Фраунгофера на одной щели и дифракционной решётке. Разрешающая способность оптических приборов. Дифракция на пространственной решётке. Формула Вульфа-Брэгга. Принцип голографии. Исследования структуры кристаллов. Оптически неоднородная среда. Дисперсия света. Области нормальной и аномальной дисперсии. Электронная теория дисперсии света. Эффект Доплера. Излучение Вавилова-Черенкова. Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Поляризация света при отражении. Закон Брюстера. Двойное лучепреломление. Однородные кристаллы. Поляроиды и поляризационные призмы. Закон Малюса. Законы теплового излучения. Внешний фотоэффект и его законы. Несостоятельность

классической теории. Фотоны. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Многофотонный фотоэффект.

Эффект Комптона и его теория. Давление света. Опыты Лебедева. Квантовое и волновое объяснение давления света. Диалектическое единство корпускулярных и волновых свойств электромагнитного излучения.

Основные формулы

Уравнение плоской бегущей волны:

$$y = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right),$$

где y – смещение точки среды с координатой x в момент t ; v – скорость распространения колебаний.

Связь разности фаз $\Delta\varphi$ с расстоянием Δx между точками среды

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x,$$

где λ – длина волны.

Зависимость разности фаз от разности хода световых волн:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda},$$

где λ – длина световой волны.

Условие максимального усиления света при интерференции:

$$\Delta = \pm k\lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots).$$

Условие максимального ослабления света:

$$\Delta = \pm(2k + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

Оптическая разность хода световых волн, возникающая при отражении монохроматического света от тонкой плёнки:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} + \frac{\lambda}{2},$$

или:

$$\Delta = 2dn \cos i_2 + \frac{\lambda}{2},$$

где d – толщина плёнки; n – показатель преломления плёнки; i_1 – угол падения; i_2 – угол преломления света в плёнке.

Радиус светлых колец Ньютона в отражённом свете:

$$r_k = \sqrt{\frac{(2k-1)R}{2}} \lambda \quad (k = 1, 2, 3 \dots),$$

где k – номер кольца, R – радиус кривизны линзы.

Радиус тёмных колец Ньютона в отражённом свете:

$$r_k = \sqrt{2kR\lambda}.$$

Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции на одной щели, определяется из условия:

$$a \sin \varphi = (2k+1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2 \dots),$$

где a – ширина щели, k – порядковый номер максимума.

Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции на дифракционной решётке, определяется из условия:

$$d \sin \varphi = \pm k\lambda \quad (k = 0, 1, 2 \dots),$$

где d – период дифракционной решётки.

Разрешающая способность дифракционной решётки:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN,$$

где $\Delta\lambda$ – наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ и $\lambda + \Delta\lambda$), при которой эти линии могут быть видны отдельно в спектре, полученном посредством данной решётки. N – полное число щелей решётки.

Формула Вульфа-Брэггов:

$$2d \sin \theta = k\lambda,$$

где θ – угол скольжения (угол между направлением параллельного пучка рентгеновского излучения, падающего на кристалл и атомной плоскостью в кристалле); d – расстояние между атомными плоскостями кристалла.

Закон Брюстера:

$$\operatorname{tg} i_1 = n_{21},$$

где i_1 – угол падения, при котором отразившийся от диэлектрика луч полностью поляризован; n_{21} – относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

Закон Малюса:

$$J = J_0 \cos^2 \alpha,$$

где J_0 – интенсивность плоско поляризованного света, падающего на анализатор; J – интенсивность этого света после анализатора; α – угол между оптическими осями поляризатора и анализатора.

Закон Стефана-Больцмана:

$$R_{\bar{\nu}} = GT^4,$$

где G – постоянная Стефана-Больцмана; T – абсолютная температура.

Закон смещения Вина:

$$\lambda_m = \frac{b}{T},$$

λ_m – длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения; b – постоянная Вина.

Энергия фотона:

$$\varepsilon = h\nu \quad \text{или} \quad \varepsilon = \hbar\omega,$$

где h – постоянная Планка; \hbar – постоянная Планка, делённая на 2π ; ν – частота фотона; ω – циклическая частота.

Масса фотона:

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}; \quad m = \frac{h\nu}{c^2},$$

где c – скорость света в вакууме; λ – длина волны фотона.

Импульс фотона:

$$P = mc = \frac{h\nu}{c}.$$

Формула Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + T_m = A + \frac{m \cdot V_m^2}{2},$$

где $h\nu$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла; A – работа выхода электрона; T_m – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

Красная граница фотоэффекта:

$$\nu_0 = \frac{A}{h} \quad \text{или} \quad \lambda_0 = \frac{hc}{A},$$

где ν_0 – минимальная частота света, при которой ещё возможен фотоэффект; λ_0 – максимальная длина волны света, при которой ещё возможен фотоэффект; h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме.

Формула Комптона:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta)$$

или

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} \sin^2 \frac{\theta}{2} = \lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

где λ – длина волны фотона, встретившегося со свободным или слабо связанным электроном; λ' – длина волны фотона, рассеянного на угол θ после столкновения с электроном; m_0 – масса покоящегося электрона.

Комптоновская длина волны:

$$\lambda = \frac{h}{m_0c} \quad (\lambda = 2,436 \text{ пм}).$$

Давление света при нормальном падении на поверхность:

$$P = E_c (1 + \rho) / c = \omega (1 + \rho),$$

где E_c – энергетическая освещённость (облучённость); ω – объёмная плотность энергии излучения; ρ – коэффициент отражения.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА IV

Элементы атомной физики и квантовой механики. Элементы физики атомного ядра и элементарных частиц.

Учебные материалы

Опытное обоснование корпускулярно-волнового дуализма. Формула де-Бройля. Соотношение неопределённостей, как проявление корпускулярно-волнового дуализма свойств материи. Волновая функция, её статистический смысл. Ограниченность механического детерминизма. Принцип причинности в квантовой механике. Стационарные состояния. Уравнение Шредингера для стационарных состояний. Свободная частица. Туннельный эффект. Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной яме». Квантование энергии и импульса частицы. Понятие о линейном гармоническом осцилляторе. Атом водорода. Главное, орбитальное и магнитное квантовые числа.

Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона. Спиновое квантовое число. Фермионы и бозоны. Принцип Паули. Распределение электронов в атоме по состояниям. Понятие об энергетических уровнях молекул. Спектры атомов и молекул. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучения. Понятие о лазере.

Заряд, размер и масса атомного ядра. Массовое и зарядовое числа. Момент импульса ядра и его магнитный момент. Состав ядра. Работа Иваненко и Гезенберга. Нуклоны. Взаимодействие нуклонов и понятие о свойствах и природе ядерных сил. Дефект массы и энергия связи ядра. Закономерности и происхождение альфа-, бета- и гамма-излучения атомных ядер. Ядерные реакции и законы сохранения. Реакции деления ядер. Цепная реакция. Понятие о ядерной энергетике. Реакция синтеза ядер. Проблема управляемых термоядерных реакций. Элементарные частицы. Их классификация и взаимная превращаемость. 4 типа

фундаментальных взаимодействий: сильные, электромагнитные, слабые и гравитационные.

Основные формулы

Боровская теория.

$$\varepsilon = E_m - E_n.$$

Момент импульса электрона (2-й постулат Бора):

$$L_n = \hbar n \quad \text{или} \quad m v_n r_n = \hbar n,$$

где m – масса электрона; V_n – скорость его на n -й орбите; r_n – радиус n -й стационарной орбиты; \hbar – постоянная Планка; n – главное квантовое число.

Радиус n -й стационарной орбиты:

$$r_n = a_0 n^2,$$

где a_0 – радиус Бора.

Энергия электрона в атоме водорода:

$$E_n = -\frac{E_i}{n^2},$$

где E_i – энергия ионизации атома водорода.

Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода

$$\varepsilon = \hbar \omega = E_m - E_n \quad \text{или} \quad \varepsilon = E_i \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где m и n – квантовые числа, соответствующие энергетическим уровням, между которыми совершается переход электрона в атоме.

Спектроскопическое волновое число:

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

где λ – длина волны излучения или поглощения атомом; R – постоянная Ридберга.

Волновые свойства частиц.

Длина волны де Бройля:

$$\lambda = 2\pi\hbar/P; \quad \lambda = \frac{h}{P},$$

где P – импульс частицы.

Импульс частицы, его связь с кинетической энергией:

$$\text{а) } P = m_0v; \quad P = \sqrt{2mT};$$

$$\text{б) } P = mv; \quad P = \frac{m_0v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}; \quad P = \frac{1}{c} \sqrt{(2E_0 + T)T},$$

где m_0 – масса покоя частицы; m – релятивистская масса; v – скорость частицы; c – скорость света в вакууме; E_0 – энергия покоя частицы ($E_0 = m_0c^2$), T – релятивистская кинетическая энергия частицы.

Соотношение неопределённостей:

$$\text{а) } \Delta p_x \Delta x \geq \hbar \quad (\text{для координаты и импульса}),$$

где ΔP_x – неопределённость проекции импульса на ось X; ΔX – неопределённость координаты;

$$\text{б) } \Delta E \Delta t \geq \hbar \quad (\text{для энергии и времени}),$$

где ΔE – неопределённость энергии; Δt – время жизни квантовой системы в данном энергетическом состоянии.

Одномерное уравнение Шредингера для стационарных состояний:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U)\psi(x) = 0,$$

где $\Psi_{(x)}$ – волновая функция, описывающая состояние частицы; m – масса частицы; E – полная энергия; $U = U(x)$ – потенциальная энергия частицы.

Плотность вероятностей:

$$\frac{d\omega(x)}{dx} = |\psi(x)|^2,$$

где $d\omega_{(x)}$ – вероятность того, что частица может быть обнаружена вблизи точки с координатой x на участке dx .

Вероятность обнаружения частицы в интервале от x_1 до x_2 :

$$\omega = \int_{x_1}^{x_2} |\psi(x)|^2 dx.$$

Решение уравнения Шредингера для одномерного, бесконечно глубокого, прямоугольного потенциального ящика:

$$\text{а) } \psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{\pi n}{l} x \quad (\text{собственная нормированная волновая функция});$$

$$\text{б) } E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ml} \quad (\text{собственное значение энергии}),$$

где n – квантовое число ($n = 1, 2, 3, \dots$); l – ширина ящика, h – постоянная Планка, делённая на $\pi/2$.

В области $0 \leq x \leq l$, $U = \infty$, $\Psi(x) = 0$.

Атомное ядро. Радиоактивность.

Массовое число ядра (число нуклонов в ядре):

$$A = Z + N,$$

где Z – зарядовое число (число протонов); N – число нейтронов.

Закон радиоактивного распада:

$$dN = \lambda N dt \quad \text{или} \quad N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где dN – число ядер, распадающихся за интервал времени dt ; N – число ядер, не распавшихся к моменту времени t ; N_0 – число ядер в начальный момент ($t = 0$); λ – постоянная радиоактивного распада.

Число ядер, распавшихся за время t :

$$\Delta N = N_0 - N = N_0(1 - e^{-\lambda t}).$$

В случае, если интервал времени Δt , за который определяется число распавшихся ядер, много меньше периода распада T , то число распавшихся ядер можно определить по формуле:

$$\Delta N = \lambda n \Delta t.$$

Зависимость периода полураспада от постоянной радиоактивного распада:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Среднее время τ жизни радиоактивного ядра, т. е. интервал времени, за который число нераспавшихся ядер уменьшается в e раз:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

Число N атомов, содержащихся в радиоактивном изотопе:

$$N = \frac{m N_A}{M},$$

где m – масса изотопа; M – молярная масса; N_A – постоянная Авогадро.

Активность A радиоактивного изотопа:

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N \quad \text{или} \quad A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t},$$

где dN – число ядер, распадающихся за интервал времени dt ; A_0 – активность изотопа в начальный момент времени.

Удельная активность изотопа:

$$a = \frac{A}{m}.$$

Дефект массы ядра:

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - m_\beta,$$

где Z – зарядовое число (число протонов в ядре); A – массовое число (число нуклонов в ядре); $(A - Z)$ – число нейтронов в ядре; m_p – масса протона; m_n – масса нейтрона; m_β – масса ядра.

Энергия связи ядра:

$$\Delta E_{CB} = \Delta m c^2,$$

где Δm – дефект массы ядра; c – скорость света в вакууме.

Во внесистемных единицах энергия связи ядра равна $\Delta E_{CB} = 931 \Delta m$, где дефект массы Δm в а. е. м.; 931 – коэффициент пропорциональности (1 а. е. м. ~ 931 МэВ).

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА V

Статистическая физика. Термодинамика. Конденсированное состояние вещества.

Учебные материалы

Динамические и статистические закономерности в физике. Статистический и термодинамический методы. Микроскопические состояния. Тепловое движение. Равновесное состояние. Термодинамические параметры состояния. Интенсивные и экстенсивные параметры. Уравнение состояния идеального газа. Давление и температура с точки зрения молекулярно-кинетической теории.

Распределение молекул газа по скоростям. Функция распределения (распределение Максвелла). Скорости теплового движения молекул.

Барометрическая формула. Распределение молекул в поле сил. Распределение Больцмана. Распределение Гиббса. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы. Внутренняя энергия идеального газа. Классическая теория теплоёмкости газов, её недостатки. Метод термодинамики. Основные законы термодинамики. Первое начало термодинамики. Изопроцессы. Работа газа при различных процессах. Второе начало термодинамики. Тепловой двигатель. Круговые процессы. Цикл Карно. КПД цикла Карно. Приведённая теплота. Энтропия. Вычисление энтропии. Изменение Энтропии при необратимых процессах. Статистический смысл второго начала термодинамики. Связь энтропии и вероятности состояния. Флуктуация параметров состояния. Тепловая теорема Нернста.

Столкновения между молекулами. Эффективный диаметр молекулы. Средняя длина свободного пробега. Тепловое движение и связанный с ним перенос массы, импульса энергии.

Экспериментальный закон диффузии, вязкости и теплопроводности; молекулярно-кинетическая теория этих явлений. Условие равновесия фаз. Фазовые диаграммы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Критическая точка, метастабильные состояния. Тройная точка. Уравнение Ван-дер-Ваальса и его анализ. Фазовые переходы второго рода.

Кристаллические и аморфные тела. Виды межатомной связи в твёрдых телах. Кристаллические решётки. Точечные дефекты в кристаллах. Вакансии, примеси внедрения и примеси замещения. Краевые и винтовые дислокации. Акустические и оптические колебания кристаллической решётки. Понятие о фононах как квазичастицах. Теплоёмкость кристаллов при низких и высоких температурах. Решёточная теплопроводность. Классическая электронная теория проводимости и её недостаточность.

Элементы зонной теории кристаллов. Уровень Ферми, поверхность Ферми. Число электронных состояний в зоне. Заполнение зон: металлы, диэлектрики, полупроводники. Понятие дырочной проводимости. Собственная и примесная. Классификация магнетиков: парамагнетики, диамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики. Природа парамагнетизма и диамагнетизма. Спиновая природа ферромагнетизма. Доменная структура ферромагнетика. Кривая намагничивания. Петля Гистерезиса.

Основные формулы

Количество вещества однородного газа (в молях)

$$\nu = \frac{N}{N_A} \quad \text{или} \quad \nu = \frac{m}{M},$$

где N – число молекул газа; N_A – постоянная Авогадро; m – масса газа; M – молярная масса газа.

Если система представляет смесь нескольких газов, то количество вещества системы:

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n = \frac{N_1}{N_A} + \frac{N_2}{N_A} + \dots + \frac{N_n}{N_A}$$

или

$$\nu = \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \dots + \frac{m_n}{M_n},$$

где ν , i , m_i , M_i – соответственно количество вещества, число молекул, масса, молярная масса i -го компоненты смеси.

Уравнение Менделеева-Клапейрона (уравнение состояния идеального газа):

$$PV = \frac{m}{M} RT = \nu RT,$$

где m – масса газа; M – молярная масса газа; R – молярная газовая постоянная; ν – количество вещества; T – термодинамическая температура.

Опытные газовые законы, являющиеся частными случаями уравнений Менделеева-Клапейрона для изопроцессов:

а) закон Бойля-Мариотта (изотермический процесс – $T = const$, $m = const$):

$$PV = const$$

или для двух состояний газа:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2.$$

б) закон Гей-Люссака (изобарный процесс – $P = const$, $m = const$):

$$\frac{V}{T} = const$$

или для двух состояний:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}.$$

в) закон Шарля (изохорный процесс – $V = const$, $m = const$):

$$\frac{P}{T} = const$$

или для двух состояний:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}.$$

г) объединённый газовый закон ($m = const$):

$$\frac{PV}{T} = const \quad \text{или} \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \dots = \frac{P_n V_n}{T_n},$$

где P_1 , V_1 , T_1 – давление, объём и температура газа в первоначальном состоянии; P_2 , V_2 , T_2 – те же величины в конечном состоянии.

Закон Дальтона, определяющий давление смеси газов:

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n,$$

где P_i – парциальные давления компонентов смеси; n – число компонентов смеси.

Парциальным давлением называется давление газа которое производил бы этот газ, если бы только он один находился в сосуде, занятом смесью.

Молярная масса смеси газов:

$$M = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n},$$

где m_i – масса i -го компонента смеси; ν – количество вещества i -го компонента смеси.

Концентрация молекул:

$$n = \frac{N}{V} = \rho \frac{N_A}{M}.$$

Основное уравнение кинетической теории газов:

$$P = \frac{2}{3} n \langle E_k \rangle,$$

где $\langle E_k \rangle$ - средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы.

Средняя полная кинетическая энергия молекулы:

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT,$$

где i - число степеней свободы молекулы.

Скорости молекул:

$$\langle v_{\text{ср}} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

$$v_B = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

где m - масса одной молекулы.

Удельные теплоёмкости газа при постоянном объёме (C_V) и при постоянном давлении (C_P):

$$C_V = \frac{iR}{2M}; \quad C_P = \frac{(i+2)R}{2M}.$$

Связь между удельной c_V и молярной c_P теплоёмкостями:

$$c_V = \frac{C_V}{M}; \quad c_P = \frac{C_P}{M}.$$

Уравнение Майера:

$$C_V - C_P = R.$$

Внутренняя энергия идеального газа:

$$U = \frac{ml}{2m} RT = \frac{m}{M} C_V T.$$

Первое начало термодинамики:

$$Q = \Delta U + A,$$

где Q - теплота, сообщённая системе (газу); ΔU - изменение внутренней энергии системы; A - работа, совершённая системой против внешних сил.

Работа расширения газа:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (\text{в общем случае});$$

$$A = p(V_2 - V_1) \quad (\text{при изобарическом процессе});$$

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (\text{при изотермическом процессе});$$

$$A = -\Delta U = \frac{m}{M} C_V \Delta T$$

или

$$A = \frac{RTm}{(\gamma-1)M} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] \quad (\text{при адиабатическом процессе}),$$

где $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ - показатель адиабаты.

Уравнение Пуассона, связывающее параметры идеального газа при адиабатическом процессе:

$$PV^\gamma = const; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1};$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^\gamma; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}.$$

Термический КПД цикла:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

где Q_1 – теплота, полученная рабочим телом от теплоотдатчика; Q_2 – теплота, переданная рабочим телом теплоприёмнику.

Термический КПД цикла Карно:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где T_1, T_2 – температуры теплоотдатчика и теплоприёмника.

Пространственная решётка кристалла

Молярный объём кристалла:

$$V_m = \frac{M}{\rho},$$

где M – молярная масса; ρ – плотность кристалла.

Объём элементарной ячейки для решётки кубической сингонии:

$$V_{y\ddot{e}} = a^3,$$

где a – параметр решётки.

Число элементарных ячеек в одном моле кристалла:

$$Z_m = \frac{V_m}{V_{y\ddot{e}}},$$

если кристалл состоит из одинаковых атомов, то

$$Z_m = \frac{N_A}{n},$$

где n – число элементарных атомов, приходящихся на элементарную ячейку; N_A – постоянная Авогадро.

Отношение числа элементарных ячеек к объёму кристалла:

$$Z = \frac{Z_m}{V_m},$$

если кристалл состоит из одинаковых атомов, то

$$Z = \frac{\rho N_A}{nM}.$$

Параметр кубической решётки из одинаковых атомов:

$$a = \sqrt{\frac{nM}{\rho N_A}}.$$

Расстояние между соседними атомами в кубической решётке:

а) $d = \frac{a}{\sqrt{2}}$ (гранцентрированной);

б) $d = \sqrt{\frac{3}{2}}a$ (объёмно-центрированной).

Теплоёмкость кристалла

Средняя энергия квантового одномерного осциллятора:

$$\langle \varepsilon \rangle = \varepsilon_0 + \frac{\hbar \omega}{e^{kT} - 1},$$

где ε_0 – нулевая энергия ($\varepsilon_0 = \frac{1}{2} \hbar \omega$; \hbar – постоянная Планка; ω

круговая частота колебаний осциллятора; k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура).

Молярная теплоёмкость кристаллического твёрдого тела по Дебаю:

$$C_m = 3R \left[12 \left(\frac{T}{\Theta_D} \right)^3 \int_0^{\Theta_D/T} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} - \frac{3 \left(\frac{\Theta_D}{T} \right)}{e^{\Theta_D/T} - 1} \right],$$

где θ_D – характеристическая температура Дебая (предельный закон Дебая при $T \ll \Theta_D$).

В области низких температур (предельный закон Дебая при $T \ll \Theta_D$):

$$C_m = \frac{12\pi^4}{5} R \left(\frac{T}{\Theta_D} \right)^2 = 234R \left(\frac{T}{\Theta_D} \right)^2.$$

Теплота, необходимая для нагревания тела:

$$Q = \frac{m}{M} \int_{T_1}^{T_2} C_m dT.$$

Элементы квантовой статистики

Энергия Ферми в металле при $T = 0 K$:

$$\varepsilon_p = \frac{\hbar^2}{2m} (3\pi^2 n)^{\frac{2}{3}},$$

где n – концентрация электронов в металле.

Полупроводники

Удельная проводимость собственных полупроводников:

$$\sigma = en(b_n + b_p),$$

где e – элементарный заряд; b_n и b_p – подвижности электронов и дырок.

Холловская разность потенциалов:

$$U_H = R_H B j a,$$

где R_H – постоянная Холла; B – магнитная индукция; j – плотность тока; a – ширина образца.

Постоянная Холла для полупроводников типа алмаз, германий, кремний, обладающих носителями заряда одного вида:

$$R_H = \frac{3\pi}{8en}.$$

Магнетики

Намагниченность \vec{j} – величина, численно равная магнитному моменту единицы объёма магнетика по определению:

$$\vec{j} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^N \vec{P}_{mi},$$

где \vec{P}_{mi} – магнитный момент отдельной (i -й) молекулы, N – число молекул в объёме ΔV .

Намагниченность \vec{j} , пропорциональная напряжённости магнитного поля \vec{H} :

$$\vec{j} = \chi \vec{H},$$

где χ – магнитная восприимчивость (безразмерна).

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

$$\chi_{\text{уд}} = \frac{\chi}{\rho},$$

где ρ – плотность вещества.

Киломолярная (килоатомная) магнитная восприимчивость χ_{km} связана с магнитной восприимчивостью χ соотношением:

$$\chi_{km} = \frac{M}{\rho} \chi \quad \text{или} \quad \chi_{km} = \frac{A}{\rho} \chi$$

Связь между магнитной индукцией B , напряжённостью H и намагниченностью выражается формулой:

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{j})$$

Магнетон Бора μ_B – элементарный магнитный момент - определяется формулой:

$$\mu_A = \frac{eh}{4\pi m}$$

Магнитная восприимчивость парамагнитных веществ при $P_m B \ll kT$:

$$\chi = \mu_0 \frac{nP_m^2}{3kT},$$

где n – концентрация молекул; P_m – магнитный момент отдельной молекулы.

ТАБЛИЦА ВАРИАНТОВ ЗАДАНИЙ

	мех.	эл. ст.	эл. ток	магн. поле	э/м инд.	кол.	волн. опт.	квант. опт	мол. и т. д.	атом Н ₂
1	1	7	13	19	25	31	38	44	50	56
2	2	8	14	20	26	32	39	45	51	57
3	3	9	15	21	27	33	40	46	52	58
4	4	10	16	22	28	34	41	47	53	59
5	5	11	17	23	29	35	42	48	54	60
6	6	12	18	24	30	36	43	49	55	61
7	3	10	14	22	25	34	39	44	53	56
8	5	7	16	20	27	35	40	46	51	58
9	2	12	18	23	29	36	41	47	54	60
10	6	8	13	19	26	37	43	48	55	57

ЗАДАЧИ

1. Из пружинного пистолета с пружинной жёсткостью $k = 150$ Н/м, был произведён выстрел пулей массой $m = 8$ г. Определить скорость v пули при вылете её из пистолета, если пружина была сжата на $\Delta x = 4$ см.

2. Налетев на пружинный буфер, вагон массой $m = 16$ т, двигавшийся со скоростью $v = 0,6$ м/с, остановился, сжав пружину на $\Delta l = 8$ см. Найти общую жёсткость k пружин буфера.

3. Определить скорость поступательного движения сплошного цилиндра, скатившегося с наклонной плоскости высотой $h = 20$ см.

4. Сплошной цилиндр массой $m = 4$ кг катится без скольжения по горизонтальной поверхности. Линейная скорость v оси цилиндра равна 1 м/с. Определить полную кинетическую энергию T цилиндра.

5. Обруч и сплошной цилиндр, имеющие одинаковую массу $m = 2$ кг, катятся без скольжения с одинаковой скоростью $v = 5$ м/с. Найти кинетические энергии T_1 и T_2 этих тел.

6. На краю платформы в виде диска, вращающегося по инерции вокруг вертикальной оси с частотой $\nu_1 = 8$ мин⁻¹, стоит человек массой $m_1 = 70$ кг. Когда человек перешёл в центр платформы, она стала вращаться с частотой $\nu_2 = 10$ мин⁻¹. Определить массу m_2 платформы. Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.

7. Точечные заряды $Q_1 = 20$ мкКл, $Q_2 = -10$ мкКл находятся на расстоянии $r = 5$ см друг от друга. Определить напряжённость поля в точке, удалённой на $l_1 = 3$ см от первого и $l_2 = 4$ см от второго заряда. Определить также силу F , действующую в этой точке на точечный заряд $Q_0 = 1$ мкКл.

8. Три одинаковых точечных заряда $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 2$ нКл находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной

$d = 10$ см. Определить модуль и направление силы F , действующей на один из зарядов со стороны двух других.

9. Тонкий длинный стержень равномерно заряжен с линейной плотностью $\tau = 1,5$ нКл/см. На продолжении оси стержня на расстоянии $l = 12$ см от его конца находится точечный заряд $Q = 0,2$ мкКл. Определить силу взаимодействия заряжённого стержня и точечного заряда.

10. Длинная прямая тонкая проволока несёт равномерно распределённый заряд. Вычислить линейную плотность τ заряда, если напряжённость поля на расстоянии $l = 0,5$ м от проволоки против её середины. $E = 2$ В/см.

11. Пылинка массой $m = 200$ мкг, несущая на себе заряд $Q = 40$ нКл, влетела в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов $\Delta\varphi = 200$ В пылинка имела скорость $v = 10$ м/с. Определить скорость v_0 пылинки до того, как она влетела в поле.

12. Два металлических шарика радиусами $R_1 = 5$ см и $R_2 = 10$ см имеют заряды $Q_1 = 40$ нКл и $Q_2 = -20$ нКл соответственно. Найти энергию W , которая выделится при разряде, если шары соединить проводником.

13. ЭДС батареи $\varepsilon = 80$ В, внутреннее сопротивление $r = 5$ Ом. Внешняя цепь потребляет мощность $P = 100$ Вт. Определить силу тока J в цепи, напряжение U , под которым находится внешняя цепь, и её сопротивление R .

14. Определить число электронов, проходящих за время $t = 1$ с через поперечное сечение площадью $S = 1$ мм² железной проволоки длиной $l = 20$ м при напряжении на её концах $U = 16$ В.

15. ЭДС батареи $\varepsilon = 24$ В. Наибольшая сила тока, которую может дать батарея, $J_m = 10$ А. Определить максимальную мощность P_m , которая может выделиться во внешней цепи.

16. За время $t = 20$ с при равномерно возрастающей силе тока от нуля до некоторого максимума в проводнике сопротивлением $R = 5$ Ом выделилось количество теплоты $Q = 4$ кДж. Определить

скорость нарастания силы тока, если сопротивление проводника $R = 5 \text{ Ом}$.

17. Посередине между электродами ионизационной камеры пролетела α -частица, двигаясь параллельно электродам, и образовала на своём пути цепочку ионов. Спустя какое время τ после пролёта α -частицы ионы дойдут до электродов, если расстояние между электродами $d = 2 \text{ см}$, разность потенциалов $U = 6 \text{ кВ}$ и подвижность b ионов обоих знаков в среднем равна $1,5 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$?

18. Найти сопротивление трубки длиной $l = 0,5 \text{ м}$ и площадью поперечного сечения $S = 5 \text{ мм}^2$, если она наполнена азотом, ионизированным так, что в объёме $V = 1 \text{ см}^3$ его находится при равновесии $N = 10^8$ пар ионов. Ионы одновалентны.

19. Алюминиевый провод длиной 5 м и диаметром 1 мм покрыт изоляцией толщиной 1 см . Провод согнут пополам, причём обе половины прилегают друг к другу. С какой силой действует одна половина на другую, если при пропускании тока на концах провода создаётся разность потенциалов 1 В ?

20. Ток силой 5 А обтекает прямоугольную рамку со сторонами 4 и 6 см . Определить индукцию магнитного поля в центре рамки.

21. Витки двухслойного длинного соленоида намотаны на проволоки радиусом $0,2 \text{ мм}$. В первом слое течёт ток силой $0,3 \text{ А}$, во втором – 1 А . определить напряжённость магнитного поля внутри соленоида. Рассмотреть два случая: токи текут в одном и в противоположных направлениях.

22. Напряжённость H магнитного поля в центре круглого витка равна 500 А/м . Магнитный момент витка $P_m = 6 \text{ А}\cdot\text{м}^2$. Вычислить силу тока J в витке и радиус R витка.

23. Короткая катушка площадью поперечного сечения $S = 250 \text{ см}^2$, содержащая $N = 500$ витков провода, по которому течёт ток силой $J = 5 \text{ А}$, помещена в однородное магнитное поле напряжённостью $H = 1000 \text{ А/м}$. Найти: 1) магнитный момент P_m

катушки; 2) вращающий момент M , действующий на катушку, если ось катушки составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с линиями поля.

24. Электрон движется в магнитном поле с индукцией $B = 0,02 \text{ Тл}$ по окружности радиусом $R = 1 \text{ см}$. Определить кинетическую энергию электрона (в Джоулях и электрон-вольтах).

25. В однородном магнитном поле ($B = 0,1 \text{ Тл}$) равномерно с частотой $\nu = 5 \text{ с}^{-1}$ вращается стержень длиной $l = 50 \text{ см}$ так, что плоскость его вращения перпендикулярна линиям напряжённости, а ось вращения проходит через один из его концов. Определить индуцируемую на концах стержня разность потенциалов U .

26. Индуктивность соленоида, намотанного в один слой на магнитный каркас, $L = 0,5 \text{ мГн}$. Длина соленоида $l = 0,6 \text{ м}$, диаметр $d = 2 \text{ см}$. Определить отношение n числа витков соленоида к его длине.

27. Соленоид содержит $N = 600$ витков. При силе тока $J = 10 \text{ А}$ магнитный поток $\Phi = 80 \text{ мкВб}$. Определить индуктивность соленоида.

28. Соленоид имеет стальной полностью разряженный сердечник объёмом $V = 500 \text{ см}^3$. Напряжённость H магнитного поля соленоида при силе тока $J = 0,6 \text{ А}$ равна 1000 А/м . Определить индуктивность L соленоида.

29. В электрической цепи, содержащей сопротивление $R = 20 \text{ Ом}$ и индуктивность $L = 0,06 \text{ Гн}$, течёт ток силой $J_\phi = 20 \text{ А}$. Определить силу тока в цепи через $t = 0,2 \text{ мс}$ после её размыкания.

30. По замкнутой цепи с сопротивлением $R = 20 \text{ Ом}$ течёт ток. Через время $t = 8 \text{ мс}$ после размыкания цепи сила тока в ней уменьшилась в 20 раз. Определить индуктивность L цепи.

31. Материальная точка участвует одновременно в двух колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях, уравнения которых имеют вид: $x = \cos(\pi t + \frac{\pi}{2})$ и $y = \cos \pi t$. Определить траекторию движения точки и начертить

её с соблюдением масштаба. Покажите направление результирующего движения.

32. Материальная точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, проходящих вдоль одной прямой и имеющих одинаковые амплитуды и частоты, но отличающиеся по фазе на $\pi/3$. Уравнение смещения результирующего колебания в системе имеет вид: $x = 0,01 \cos \omega t$. Определить амплитуды и начальные фазы слагаемых колебаний и написать уравнение этих колебаний.

33. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, уравнения которых имеют вид: $x = \cos 2\pi t$ см и $y = 2 \cos \pi t$ см. Определить траекторию движения точки начертить её с соблюдением масштаба. Указать направление движения.

34. Найти смещение x от положения равновесия точки, отстоящей от источника колебаний на расстоянии $l = \lambda/12$, для момента времени $t = 1/6 T$. Амплитуда колебаний $A = 0,05$ м.

35. Уравнение незатухающих колебаний имеет вид:
 $x = \sin 2,5\pi t$.

Найти смещение x от положения равновесия, скорость v и ускорение a точки, находящейся на расстоянии $l = 20$ м от источника колебаний, для момента времени $t = 1$ с после начала колебаний. Скорость распространения колебаний $u = 100$ в/с/

36. Поперечная волна распространяется вдоль упругого шнура со скоростью $v = 15$ м/с. Период колебаний точек шнура $T = 1,2$ с. Определить разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний двух точек, лежащих на луче и отстоящих от источника волн на расстояниях $x_1 = 20$ м и $x_2 = 30$ м.

37. На каком расстоянии от центра Земли находится точка, в которой напряжённость суммарного гравитационного поля Земли и Луны равна нулю? Принять, что масса Земли в 81 раз больше массы Луны и что расстояние от центра Земли до центра Луны равно 60 радиусам Земли.

38. На мыльную плёнку падает белый свет под углом $i = 45^\circ$ к поверхности плёнки. При какой наименьшей толщине d плёнки отражённые лучи будут окрашены в жёлтый цвет ($\lambda = 600$ нм)? Показатель преломления мыльной воды $n = 1,33$.

39. Плосковыпуклая линза с фокусным расстоянием $F = 1$ м лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. Радиус пятого тёмного кольца Ньютона в отражённом свете $r_5 = 11,1$ мм. Определить длину световой волны.

40. Постоянная дифракционной решётки в $n = 4$ раза больше длины световой волны монохроматического света, нормально падающего на её поверхность. Определить угол α между двумя первыми симметричными дифракционными максимумами.

41. Расстояние между штрихами дифракционной решётки $d = 4$ мкм. На решётку падает нормально свет с длиной волны $\lambda = 0,58$ мкм. Максимум какого наибольшего порядка даёт эта решётка?

42. Интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор, уменьшилась в 4,5 раза. Во сколько раз она уменьшится, если второй такой же поляризатор поставить за первым так, чтобы угол между плоскостями поляризации их был 50° ? Коэффициент поглощения света в обоих поляризаторах одинаковый.

43. Найти угол между плоскостями поляризации двух поляризаторов, если интенсивность света, прошедшего оба поляризатора, уменьшилась в 6,5 раз. Коэффициент поглощения света в поляризаторах 0,3.

44. Определить установившуюся температуру абсолютно чёрной пластины, находящейся в вакууме перпендикулярно потоку лучистой энергии, равному $1,4 \cdot 10^3$ Вт/м². Определить, на какую длину волны приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости при данной температуре.

45. Какая энергия излучается за 1 мин. С 1 см² абсолютно чёрного тела, если максимум спектральной плотности энергетической светимости приходится на длину волны 0,6 мкм?

46. Красная граница фотоэффекта для цинка $\lambda_{кр} = 310$ нм. Определить максимальную кинетическую энергию T_{max} фотоэлектронов в электрон-вольтах, если на цинк падает свет с длиной волны $\lambda = 200$ нм.

47. На поверхность калия падает свет с длиной волны $\lambda = 150$ нм. Определить максимальную кинетическую энергию T_{max} фотоэлектронов.

48. В результате рассеяния фотона с длиной волны 2 нм на свободном электроны комptonовское смещение оказалось равным 1,2 пм. Найти угол рассеяния. Какая часть энергии фотона передана при этом электрону?

49. Определить изменение длины волны и угол рассеяния фотона при эффекте Комптона, если скорость электрона отдачи 0,4 с. Энергия первичного фотона 0,42 МэВ.

56. Сколько молекул азота находится в сосуде ёмкостью 1 л, если средняя квадратичная скорость движения молекул азота 500 м/с, а давление на стенки сосуда 1 кПа?

57. Два сосуда одинакового объёма содержат кислород. В одном сосуде давление $P_1 = 2$ МПа и температура $T_1 = 800$ К, в другом $P_2 = 2$ МПа, $T_2 = 800$ К. Сосуды соединили трубкой и охладил находящийся в них кислород до температуры $T = 200$ К. Определить установившееся в сосудах давление P .

58. Кислород массой $m = 200$ г занимает объём $V_1 = 100$ л и находится под давлением $P_1 = 200$ кПа. При нагревании газ расширился при постоянном давлении до объёма $V_2 = 300$ л, а затем его давление возросло до $P_2 = 500$ кПа при неизменном объёме. Найти изменение внутренней энергии ΔU газа, совершённую им работу A и теплоту Q , переданную газу. Построить график процесса.

59. Во сколько раз увеличится объём водорода, содержащий количество вещества $\nu = 0,4$ моль при изотермическом расширении, если при этом газ получит теплоту $Q = 800$ Дж? Температура водорода $T = 300$ К.

60. Во сколько раз увеличится коэффициент полезного действия цикла Карно при повышении температуры теплоотдатчика от $T_{n1} = 380$ К до $T_{n2} = 560$ К? Температура теплоприёмника $T_{np} = 280$ К.

61. Стронций имеет гранецентрированную кубическую решётку. Определить расстояние d между ближайшими соседними атомами, если параметр решётки $a = 0,605$ нм.

Список литературы

1. Савельев И. В. Курс общей физики: учебное пособие. Т. 1, 2, 3 – М.: «Наука», 1986.
2. Зисман Г. А., Годес О. М. Курс общей физики: учебное пособие. Т. 1, 2, 3 – М.: «Наука», 1964.
3. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики: учебное пособие. М: «Высшая школа», 1989.
4. Трофимова Т. И. Курс физики. - М: «Высшая школа», 1990.

Содержание

1. Общие методические указания.....	2
2. Контрольная работа I. Механика.....	3
3. Контрольная работа II. Электростатика. Постоянный электрический ток. Электромагнетизм.....	10
4. Контрольная работа III. Физика волновых процессов. Волновая оптика. Квантовая природа излучения.....	22
5. Контрольная работа IV. Элементы атомной физики и квантовой механики. Элементы физики атомного ядра и элементарных частиц.....	28
6. Контрольная работа V. Статистическая физика. Термодинамика. Конденсированное состояние вещества....	34
7. Таблица вариантов заданий.....	45
8. Задачи.....	46

Методические указания и контрольные задания по физике для студентов специального заочного образования

Ответственный редактор: доктор физ.-мат. наук,
проф. Абдурахманов К.П.

Составители: доц. Хайдаров К.Х.
доц. Хамидова Х.Х.