

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Уральский федеральный университет имени первого Президента  
России Б. Н. Ельцина

## **ФИЗИКА**

Методические указания и контрольные задания для студентов  
заочной формы обучения  
(контрольная работа №2, двухсеместровый курс)

Екатеринбург 2023

## ВВЕДЕНИЕ

Целью настоящих методических указаний является оказание помощи студентам-заочникам инженерно-технических специальностей высших учебных заведений в изучении курса физики. Учебный материал программы курса разделен на два раздела. Каждому разделу соответствует определенная контрольная работа. По каждой теме заданий контрольной работы приведены основные формулы и законы, необходимые для решения задач, а также подробные решения типичных задач и примеры их оформления. Даны таблицы вариантов и тексты задач контрольных работ. Кроме того, здесь же приведены общие методические указания, которые необходимо учитывать при выполнении и оформлении контрольных заданий. Обязательно внимательно прочитайте указания, приведенные ниже, и учтите все рекомендации по оформлению и срокам выполнения работ!

### ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Основной формой обучения студента-заочника является самостоятельная работа над учебным материалом. Для облегчения этой работы в периоды экзаменационных сессий читаются лекции и проводятся лабораторные работы. Процесс изучения физики состоит из следующих этапов:

I. Самостоятельная работа над учебниками и учебными пособиями [1 – 8]. О правилах самостоятельной работы студентов над учебными пособиями подробно говорится на установочных лекциях, которые обычно читаются в УрФУ перед началом изучения каждой части курса физики; время проведения этих лекций сообщается студентам-заочникам деканатом заочного факультета.

II. Выполнение контрольных работ.

III. Прохождение лабораторного практикума.

IV. IV. Сдача зачетов и экзаменов.

V. Самостоятельная работа

При самостоятельной работе над учебным материалом необходимо:

1. Изучать курс физики систематически в течение всего семестра. Ознакомление с материалом курса только лишь перед экзаменом не позволит получить глубокие и прочные знания.

2. В качестве основного учебного пособия использовать один из рекомендованных учебников. В конце методических указаний приведен список литературы для самостоятельной работы над материалом курса.

3. Составлять конспект при работе над учебным материалом, в котором записывать законы и формулы, выражающие эти законы, определения основных физических величин и сущность физических явлений и методов исследования.
4. Решить контрольные работы, которые призваны закрепить теоретический материал и позволить более глубоко разобраться в материале при решении конкретных задач.
5. Прослушать курс обзорных лекций по физике для студентов-заочников, организуемый в начале каждой сессии. Пользоваться очными консультациями преподавателей.

## ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

При выполнении контрольных работ студенту необходимо руководствоваться следующим:

1. Номер варианта контрольной работы определяется последней цифрой номера студенческого. Номера задач каждого варианта определяются таблицей вариантов, приведенной в указаниях.
2. Контрольные работы выполняются в обычной школьной тетради, на обложке которой приводятся сведения по следующему образцу:

Студент заочного факультета УрФУ  
Фамилия Имя Отчество  
Институт  
Номер группы  
Шифр (номер студенческого билета)  
Адрес электронной почты для связи  
Контрольная работа № 2 по физике

3. Условия задач в контрольной работе переписываются полностью без сокращений. На страницах тетради оставляются поля для замечаний преподавателя. Каждая следующая задача должна начинаться с новой страницы.
4. В конце контрольной работы указывается, каким основным учебником или учебным пособием пользовался студент при изучении курса физики (название, автор, год издания).
5. На рецензию следует высылать одновременно не более одной работы во избежание одних и тех же ошибок. Очередную работу нужно высылать только после получения рецензии на предыдущую работу.

## 6. Указания к решению и оформлению задач:

1. Записать условие задачи полностью.
2. Выписать численные данные и перевести их в Международную систему измерения физических величин (СИ).
3. Выполнить чертеж или рисунок, поясняющий содержание задачи, показав на нем соответствующие обозначения физических величин, используемых при решении именно этой задачи.
4. Проанализировать условия задачи и указать основные законы, которые нужно применить для решения, указать, почему их можно применить, и записать их аналитическую форму. Пояснить буквенные обозначения физических величин, входящих в эти формулы. Если величины векторные, то на рисунке показать их направления и пояснить, как определяются эти направления. Если при решении задач применяется частная формула, не выражающая какой-нибудь закон или не являющаяся определением какой-либо физической величины, то ее следует вывести самостоятельно.
5. Необходимо сопровождать весь ход решения задачи краткими, но исчерпывающими пояснениями. Результатом анализа и решения задачи является составление системы уравнений, которая включает в себя все искомые величины.
6. Получить решение задачи в аналитическом виде, т. е. выразить искомые величины через заданные величины в буквенном виде и стандартные физические постоянные.
7. Подставить в полученную формулу численные значения всех величин, выраженных в системе СИ. Произвести вычисления и получить искомый результат. Записать ответ, указав единицы измерения искомой величины.
7. Для того чтобы разобраться в предложенных задачах и выполнить контрольную работу правильно, следует после изучения теории очередного раздела учебника внимательно разобрать помещенные в настоящих указаниях примеры решения типовых задач, близких по уровню сложности к задачам контрольной работы.
8. На экзамен или зачет студент должен явиться, имея при себе студенческий билет. Расписание пересдач в межсессионный период уточняется в деканате заочного факультета или на кафедре физики.

## Контрольная работа №2

### Таблица вариантов

Номер варианта	Номер задачи				
1	201	211	221	231	241
2	202	212	222	232	242
3	203	213	223	233	243
4	204	214	224	234	244
5	205	215	225	235	245
6	206	216	226	236	246
7	207	217	227	237	247
8	208	218	228	238	248
9	209	219	229	239	249
0	210	220	230	240	250

### Основные формулы для решения задач.

- Уравнение гармонических колебаний

$$x = A \cos(\omega t + \varphi),$$

где  $x$  – смещение точки от положения равновесия;

$t$  – время;

$A$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$  – соответственно: амплитуда, циклическая частота и начальная фаза колебаний.

- Скорость и ускорение при гармоническом колебании:

$$v = \dot{x} = -A \omega \sin(\omega t + \varphi),$$

$$a = \dot{v} = -A \omega^2 \cos(\omega t + \varphi).$$

- Связь периода колебаний  $T$ , частоты  $\gamma$  и циклической частоты  $\omega$ :

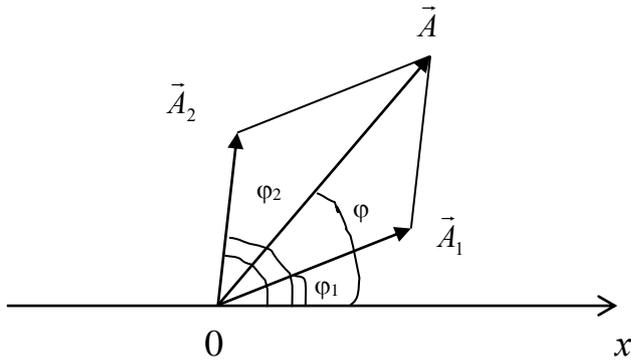
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{\gamma}.$$

- Амплитуда  $A$  и начальная фаза  $\varphi$  колебания, полученного при сложении двух колебаний с одинаковыми частотами, происходящих в одном направлении

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2},$$

где  $A_1, A_2$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  – амплитуды и начальные фазы складываемых колебаний.

- Векторная диаграмма результирующего колебания



- Уравнение траектории точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях с амплитудами  $A_1$  и  $A_2$  и начальными фазами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ :

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - 2 \frac{xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1).$$

- Дифференциальное уравнение гармонических колебаний материальной точки

$$m\ddot{x} = -kx, \text{ или } \ddot{x} + \omega_0^2 x = 0,$$

где  $m$  – масса точки;  $k$  – коэффициент квазиупругой силы,  $\omega^2 = \frac{k}{m}$ .

- Полная энергия материальной точки при гармонических колебаниях

$$E = \frac{1}{2} k A^2.$$

- Период колебаний математического маятника

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}},$$

где  $L$  – длина маятника,  $g$  – ускорение свободного падения.

- Период колебания пружинного маятника

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

- Дифференциальное уравнение гармонических колебаний материальной точки

$$m\ddot{x} = -kx - r\dot{x}, \text{ или } \ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0,$$

где  $r$  – коэффициент сопротивления;

$\beta$  – коэффициент затухания:  $\beta = \frac{r}{2m}$

- Уравнение затухающих колебаний

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega \cdot t + \varphi) = A(t) \cos(\omega t + \varphi),$$

где  $A(t) = A_0 e^{-\beta t}$  – амплитуда колебаний в момент времени  $t$ ;

$A_0$  – амплитуда в начальный момент времени,

$\omega$  - частота затухающих колебаний.

- Период затухающих колебаний

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$

- Логарифмический декремент затухания

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \lambda \cdot T,$$

где  $A(t)$  и  $A(t+T)$  – амплитуды двух последовательных колебаний, отстоящих по времени друг от друга на период.

- Резонансная частота при периодическом внешнем воздействии

$$\omega_{рез} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}.$$

- Уравнение незатухающих электромагнитных колебаний

$$q = q_0 \cos(\omega \cdot t + \varphi),$$

где  $q$  – заряд на обкладках конденсатора в колебательном контуре без активного сопротивления в момент времени  $t$ ;  $q_0$  – максимальный заряд на обкладках конденсатора.

- Частота электромагнитных колебаний в колебательном контуре без активного сопротивления

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

где  $L$  – индуктивность контура,  $C$  – емкость контура.

- Полная энергия электромагнитных колебаний в контуре

$$W = W_{маг} + W_{эл},$$

где  $W_{маг} = \frac{Li^2}{2}$  энергия магнитного поля в катушке индуктивности

( $i$ -сила тока в контуре);  $W_{эл} = \frac{q^2}{2C}$ ,  $W = \frac{q_0^2}{2C}$ .

- Сила тока в контуре без сопротивления

$$i = \dot{q} = -\omega \cdot q_0 \sin(\omega \cdot t + \varphi).$$

- Период затухающих электромагнитных колебаний в контуре, состоящем из емкости  $C$ , индуктивности  $L$  и сопротивления  $R$ :

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}.$$

- При затухающих колебаниях заряд на обкладках конденсатора с течением времени изменяется по закону

$$q = q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega \cdot t + \varphi),$$

где  $\beta = \frac{R}{2L}$  коэффициент затухания;  $\omega$  - частота затухающих электромагнитных колебаний,  $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \beta^2}$ .

- Логарифмический декремент затухания при электромагнитных колебаниях

$$\lambda = \beta \cdot T = \frac{2\pi R}{2L \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}},$$

- Уравнение плоской волны

$$\zeta(x, t) = A \cos(\omega \cdot t - kx), \text{ или } \zeta(x, t) = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{v}\right),$$

где  $\zeta(x, t)$  - смещение точек среды с координатой  $x$  в момент времени  $t$ ;  $v$  – скорость распространения колебаний в среде,  $k$  – волновое число,  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ;  $\lambda$  - длина волны.

- Длина волны связана с периодом  $T$  колебаний и частотой  $\nu$  соотношением

$$\lambda = \nu T = \frac{v}{\nu}.$$

- Разность фаз колебаний двух точек среды, расстояние между которыми равно  $\Delta x$ :

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

- Скорость света в среде

$$V = \frac{c}{n},$$

где  $c$  – скорость света в вакууме,  $n$  – абсолютный показатель преломления среды.

- Оптическая длина пути световой волны

$$L = n \cdot l,$$

где  $l$  – геометрическая длина пути световой волны в среде с показателем преломления  $n$ .

- Оптическая разность хода двух световых волн

$$\Delta = L_1 - L_2.$$

- Оптическая разность хода световых волн, отраженных от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной пластинки или пленки, находящейся в воздухе:

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

где  $d$  – толщина пластинки (пленки);  $\alpha$  - угол падения.

Второе слагаемое учитывает изменение фазы волны при отражении ее от оптически более плотной среды.

- Связь разности фаз с оптической разностью хода волн

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

- Условие максимумов интенсивности света при интерференции

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

- Условие минимумов интенсивности света при интерференции

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

- Условие минимумов интенсивности света при дифракции на одной щели

$$a \cdot \sin \varphi = \pm m\lambda \quad (m = 1,2,3,\dots),$$

где  $a$  – ширина щели;  $\varphi$  - угол дифракции;  $m$  – номер минимума;  $\lambda$  - длина волны.

- Условие главных максимумов интенсивности при дифракции света на дифракционной решетке

$$d \cdot \sin \varphi = \pm m\lambda, \quad (m = 0,1,2,3,\dots),$$

где  $d$  – период решетки;  $\varphi$  - угол между нормалью к поверхности решетки и направлением дифрагированных волн.

- Закон Стефана – Больцмана

$$R_{\text{э}} = \sigma T^4,$$

где  $R_{\text{э}}$  – интегральная энергетическая светимость абсолютно черного тела,  $\sigma$  - постоянная Стефана – Больцмана ( $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$ ).

- Энергетическая светимость серого тела

$$R_{\text{э}} = a\sigma T^4,$$

где  $a$  – коэффициент черноты.

- Закон смещения Вина

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

где  $\lambda_m$  - длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости;  $b$  – постоянная закона смещения Вина ( $b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ ).

- Зависимость максимальной спектральной плотности энергетической светимости

$$r_{\text{max}} = cT^5,$$

где  $c$  – постоянная  $\left( c = 1,30 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}^5} \right)$ .

- Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A_b + \frac{mV_{\text{max}}^2}{2},$$

где  $\nu$  - частота излучения;  $h$  – постоянная Планка ( $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ );  $A_b$  – работа выхода электронов из металла,  $V_{\text{max}}$  – максимальная скорость фотоэлектронов.

- Красная граница фотоэффекта

$$\nu_0 = \frac{A}{h}.$$

- Энергия фотона

$$\varepsilon = h\nu.$$

- Масса и импульс фотона:

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2}, p = \frac{h}{\lambda}.$$

- Давление, производимое светом при нормальном падении:

$$p = \omega(1 + \rho),$$

где  $\omega$  - объемная плотность энергии излучения;  $\rho$  - коэффициент отражения.

- Длина волны де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{mV} = \frac{h}{p},$$

где  $p = mV$  - импульс частицы.

### Примеры решения задач.

При необходимости дополнительно к рассмотренным здесь советуем вам разобрать примеры решения задач, приведенные перед соответствующими разделами в книге: Чертов А.Г., Воробьева А.А. Задачник по физике. (издание любого года).

#### Пример 1

Материальная точка массой  $m = 10\text{г}$  совершает гармонические колебания по закону синуса с периодом  $T = 2\text{ с}$  и начальной фазой, равной нулю. Полная энергия колеблющейся точки равна  $0,1\text{ МДж}$ .

Задание: 1. найти амплитуду колебаний;

2. написать уравнение данных колебаний;

3. найти наибольшее значение силы  $F_{\max}$ , действующей на точку.

Дано:

$$m = 10\text{г} = 0,01\text{кг}$$

$$T = 2\text{ с}$$

$$E = 0,1\text{ МДж} = 0,1 \cdot 10^6\text{ Дж}$$

$$1) A - ?$$

$$2) X(t) - ?$$

$$3) F_{\max} - ?$$

Решение:

1. Уравнение гармонических колебаний имеет вид

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

По условию задачи начальная фаза равна нулю, следовательно,

$$x = A \cdot \sin \omega \cdot t.$$

Взяв первую производную смещения по времени, найдем скорость колеблющейся точки:

$$V = \frac{dx}{dt} = A \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

Кинетическая энергия колеблющейся точки

$$E_k = \frac{mV^2}{2} = \frac{mA^2\omega^2 \cos^2 \omega t}{2}.$$

Полная энергия колеблющейся точки равна максимальному значению ее кинетической энергии.

$$E = (E_K)_{\max} = \frac{mA^2\omega^2}{2}.$$

Отсюда находим следующее выражение для амплитуды колебаний

$$A = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{2E}{m}}.$$

Циклическая частота связана с периодом колебаний соотношениями

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \omega = \frac{2\pi}{2} = \pi \text{ с}^{-1}.$$

Находим значение амплитуды колебаний

$$A = \frac{1}{3,14} \sqrt{\frac{2 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-2}}} = 1,42 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

2. Запишем уравнение гармонических колебаний для данной точки

$$x = 0,00142 \cdot \sin \pi t, \text{ (м)}.$$

3. Уравнение колеблющейся точки найдем, взяв вторую производную смещения по времени (или, что то же самое, первую производную от скорости по времени)

$$a = \frac{dV}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2 \sin \omega t.$$

Отсюда максимальное ускорение

$$a_{\max} = A\omega^2$$

По второму закону Ньютона  $\vec{F} = m\vec{a}$ , поэтому

$$F_{\max} = mA\omega^2.$$

Произведем вычисления:

$$F_{\max} = 0,01 \cdot 0,00142 \cdot 3,14^2 = 1,40 \cdot 10^{-4} \text{ (Н)}.$$

### Пример 2

Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 405 \text{ нФ}$ , катушки с индуктивностью  $L = 10 \text{ мГн}$  и сопротивлением  $R = 2 \text{ Ом}$ .

Задание: 1. найдите коэффициент затухания  $\beta$ ?

2. Рассчитайте во сколько раз уменьшится разность колебаний на обкладках конденсатора за один период колебания?

3. Определите за какое время  $\tau$  энергия колебаний в контуре уменьшится в  $e$  раз?

Дано:

$$C = 405 \text{ нФ} = 4,05 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$$

$$L = 10 \text{ мГн} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Гн}$$

$$R = 200 \text{ Ом} = 2 \cdot 10^2 \text{ Ом}$$

Решение:

1. Коэффициент затухания электромагнитных колебаний

1)  $\beta$ -?

2)  $\frac{U(t)}{U(t+T)}$

3)  $\tau$ -?

$$\beta = \frac{R}{2L}, \quad \beta = \frac{2 \cdot 10^2}{2 \cdot 1 \cdot 10^{-2}} = 1 \cdot 10^4 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

2. Период затухающих электромагнитных колебаний

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \beta^2}}.$$

Произведем вычисления:

$$T = \frac{6,28}{\sqrt{\frac{1}{10^{-2} \cdot 4,05 \cdot 10^{-7}} - 1 \cdot 10^8}} = \frac{6,28}{\sqrt{2,47 \cdot 10^8 - 1 \cdot 10^8}} = 5,18 \cdot 10^{-4} \text{ (с)}$$

Уменьшение разности колебаний на обкладках конденсатора за один период колебаний равно

$$\frac{U(t)}{U(t+T)} = e^{\beta T} = e^{1 \cdot 10^4 \cdot 5,18 \cdot 10^{-4}} = e^{5,18} \approx 145.$$

3. Энергия электромагнитных колебаний в контуре пропорциональна квадрату амплитуды заряда на обкладках конденсатора

$$E(t) = \frac{q^2(t)}{2C}, \quad \text{а амплитуда заряда при затухающих колебаниях}$$

уменьшается с течением времени по закону  $q(t) = q_0 \cdot e^{-\beta t}$ .

По условию задачи

$$\frac{E(t)}{E(t+T)} = e, \quad \text{то есть} \quad \frac{q_0^2}{q_0^2 \cdot e^{-2\beta \cdot T}} = e, \quad e^{2\beta \cdot T} = e.$$

Логарифмируя обе части последнего уравнения, получаем

$$2\beta T = 1, \quad \text{откуда} \quad \tau = 1/2\beta.$$

Вычислим значение  $\tau$ :

$$\tau = \frac{1}{2 \cdot 1 \cdot 10^4} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ (с)}.$$

### Пример 3

Между стеклянной пластиной и лежащей на ней плоско-выпуклой стеклянной линзой налита жидкость, показатель преломления которой меньше показателя преломления стекла. Радиус  $r_8$  восьмого тем-

ного кольца Ньютона при наблюдении в отраженном свете ( $\lambda=700$  Нм) равен 2мм. Радиус кривизны выпуклой поверхности линзы равен 1 м.

Задание: 1. Построить ход лучей, которые образуют интерференционную картину в данном случае;

2. Найти показатель преломления жидкости  $n$ .

Дано:

$$r_g = 2\text{мм} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$m = 8(\text{min})$$

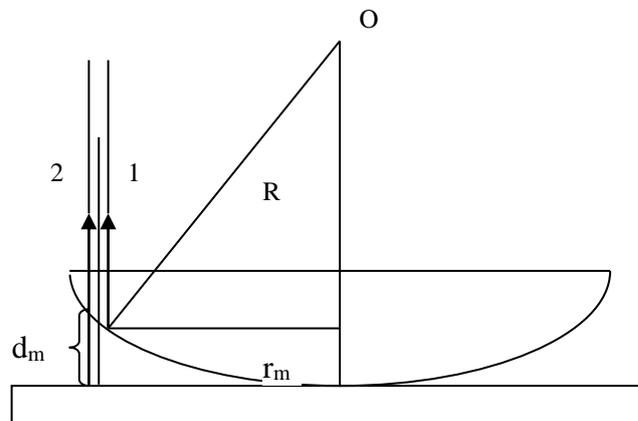
$$\lambda = 7 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$R = 1\text{м}$$

2.  $n$ -?

Решение:

1. Ход лучей в опыте Ньютона



2. В отраженном свете кольца Ньютона образуются при наложении лучей, отраженных от нижней поверхности линзы и верхней поверхности плоскопараллельной пластины. Поскольку радиус кривизны линзы велик, то лучи 1 и 2 (см. рисунок) практически параллельны.

Темные кольца видны при таких толщинах зазора между линзой и пластиной, для которых оптическая разность хода кратна нечетному числу половины длины волны:

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \text{ где } (m=0,1,2,\dots).$$

Для лучей 1 и 2 оптическая разность хода равна

$$\Delta = 2d_m \cdot n + \frac{\lambda}{2},$$

где слагаемое  $\frac{\lambda}{2}$  обусловлено изменением фазы луча 2 при отражении от оптически более плотной среды. Приравнивая правые части этих выражений, получаем

$$2d_m \cdot n + \frac{\lambda}{2} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2},$$

отсюда

$$d_m = \frac{m\lambda}{2n}.$$

Выразим радиус темного кольца  $r_m$  с толщиной зазора  $d_m$  в том месте, где это кольцо наблюдается. Для этого воспользуемся теоремой Пифагора (см. рис.):

$$R^2 = (R - d_m)^2 + r_m^2,$$

$$R^2 = R^2 - 2Rd_m + d_m^2 + r_m^2.$$

Слагаемым  $d_m^2$  можно пренебречь из-за малости его по сравнению с другими слагаемыми:

$$d_m = \frac{r_m^2}{2R}.$$

Приравнивая правые части выражений для  $d_m$ , получаем

$$\frac{r_m^2}{2R} = \frac{m\lambda}{2n}, \quad n = \frac{m\lambda R}{r_m^2}.$$

Отсюда

$$n = \frac{8 \cdot 7 \cdot 10^{-7} \cdot 1}{4 \cdot 10^{-6}} = 1,4.$$

#### Пример 4

На дифракционную решетку нормально к ее поверхности падает параллельный пучок света с длиной волны  $\lambda = 0,5$  мкм. Помещенная вблизи решетки линза проецирует дифракционную картину на плоский экран, удаленный от линзы на  $L = 1$  м. Расстояние  $L$  между двумя максимумами интенсивности первого порядка на экране равно 20,2 см.

Задание: 1. построить ход лучей в дифракционной решетке.

2. Определить: а) постоянную  $d$  дифракционной решетки; б) число  $n$  штрихов на 1 см.; в) число максимумов, которое дает дифракционная решетка; г) максимальный  $\varphi_{\max}$  угол отклонения лучей, соответствующих последнему дифракционному максимуму.

Дано:

$$\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$L = 1 \text{ м}$$

$$l = 20,2 \text{ м} = 2,02 \cdot 10^{-1} \text{ м}$$

а)  $d$ -?

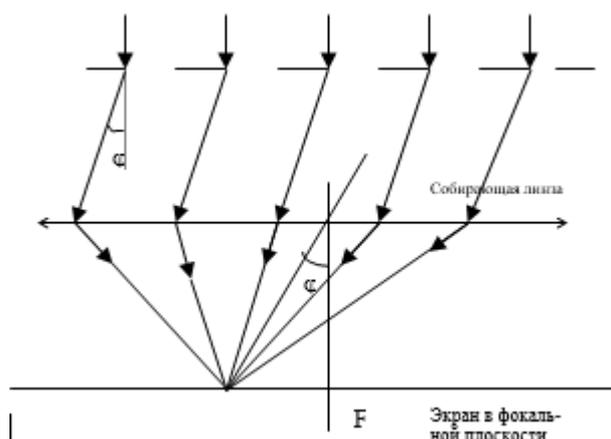
б)  $n$ -?

в)  $N$ -?

г)  $\varphi_{\max}$ -?

Решение:

1. Ход лучей в дифракционной решетке



2а. Постоянная дифракционной решетки  $d$ , длина волны  $\lambda$  и угол  $\varphi$  отклонения лучей, соответствующий максимуму с

номером  $m$ , связаны соотношением

$$d \cdot \sin \varphi = \pm m \lambda.$$

В данном случае  $m = 1$ ,  $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$  (т.к.  $\frac{l}{2} \ll L$ ),  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{l}{2L}$ . Поэтому  $d = \frac{l}{2L} = \lambda$ , откуда  $d = \frac{2L\lambda}{l}$ ;  $d = 4,95 \text{ мкм}$ .

2б. Число штрихов на единице длины связано с  $d$  соотношением:

$$n = \frac{1}{d}, n = \frac{1 \cdot 10^2}{4,95 \cdot 10^{-6}} = 2,02 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{см}}.$$

2в. Максимальный угол отклонения лучей решетки не может превышать  $90^\circ$ , поэтому из условия главных максимумов при  $\varphi = \frac{\pi}{2}$  получаем  $m = \frac{d}{\lambda}$ ;  $m = 9,9$ .

Число должно быть целым. В то же время оно не может принять значение, равное 10, т.к. при этом значении  $\sin \varphi$  будет больше единицы, что невозможно. Следовательно,  $m_{\max} = 9$ .

Общее число максимумов равно  $N = 2m_{\max} + 1$ , т.к. вправо и влево от центрального максимума наблюдается по одинаковому числу максимумов.

$$N = 2 \cdot 9 + 1 = 19.$$

2г. Максимальный угол отклонения лучей  $\varphi_{\max}$  найдем, подставив в условие главных максимумов  $m = m_{\max}$ :

$$d \cdot \sin \varphi_{\max} = m_{\max} \lambda,$$
$$\varphi_{\max} = \arcsin \frac{m_{\max} \lambda}{d} = 65,4^\circ.$$

### Задачи для самостоятельного решения.

201. Тело массой 10 г совершает гармонические колебания по закону  $x = 0,1 \cos(4\pi t + \pi/4)$  м. Определить максимальные значения возвращающей силы  $F_{\max}$  и кинетической энергии  $W_{\text{кmax}}$ .

202. Уравнение движения точки дано в виде  $x = 2 \sin(\pi t / 2 + \pi/4)$ , см. Определить период колебаний, максимальную скорость  $v_{\max}$  и максимальное ускорение  $a_{\max}$  точки.

203. Колебания материальной точки массой  $m = 0,1$  г происходят согласно закону  $x = A \cos \omega_0 t$ , где  $A = 5$  см;  $\omega = 20 \text{ с}^{-1}$ . Определить период колебаний и максимальное значение возвращающей силы  $F_{\max}$ .

204. Материальная точка совершает гармонические колебания. Наибольшее смещение точки равно  $x_{\max} = 10$  см, а наибольшая ско-

рость  $v_{\max} = 20$  см/с. Определить циклическую частоту колебаний  $\omega_0$  и максимальное ускорение  $a_{\max}$  точки.

205. Материальная точка массой  $m = 20$  г совершает гармонические колебания по закону  $x = 0,2 \cos(2\pi t + \pi/6)$  м. Определить максимальное значение скорости частицы  $v_{\max}$  и полную энергию  $W$  этой точки.

206. Колебания точки происходят по закону  $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ . В некоторый момент времени смещение  $x$  точки равно 5 см, ее скорость  $v = 20$  см/с и ускорение  $a = -80$  см/с<sup>2</sup>. Найти амплитуду  $A$  и период колебаний  $T$ .

207. Начальная фаза гармонического колебания равна нулю. При смещении точки от положения равновесия  $x_1 = 2,4$  см скорость точки равна  $v_{x1} = 3$  см/с, а при смещении  $x_2 = 2,8$  см скорость равна  $v_{x2} = 2$  см/с. Найти амплитуду  $A$  и период этого колебания  $T$ .

208. Материальная точка совершает гармонические колебания, уравнение которых имеет вид  $x = 0,05 \sin(2\pi t + \pi/4)$  м. Определить период колебаний, а также момент времени (ближайший к началу отсчета), в который потенциальная энергия точки равна  $W_p = 1 \cdot 10^{-4}$  Дж, а возвращающая сила  $F = 5 \cdot 10^{-3}$  Н.

209. Материальная точка массой  $m = 50$  г совершает гармонические колебания согласно уравнению  $x = 0,1 \cos(3\pi t/2)$ , м. Определить величину силы  $F$ , действующей на материальную точку, для момента времени  $t = 0,5$  с и полную энергию  $W$  точки.

210. Груз массой  $m = 500$  г, подвешенный на пружине жесткостью  $k = 100$  Н/м, совершает гармонические колебания с энергией  $W = 1$  Дж. Найти период колебаний, их амплитуду и максимальную скорость колебаний груза.

211. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями  $x = A_1 \sin \omega t$  и  $y = A_2 \cos \omega t$ , где  $A_1 = 2$  см,  $A_2 = 1$  см. Определить уравнение траектории точки, построить траекторию с соблюдением масштаба. Указать направление движения точки и пояснить свой ответ.

212. Точка совершает одновременно два гармонических колебания одинаковой частоты, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями  $x = A \cos \omega t$ ,  $y = B \cos \omega t$ , где  $A = 2$  см;  $B = 3$  см. Найти уравнение траектории точки и по-

строить траекторию с соблюдением масштаба. Указать направление движения точки и пояснить свой ответ.

213. Найти амплитуду  $A$  и начальную фазу  $\varphi$  гармонического колебания, полученного от сложения двух одинаково направленных колебаний, заданных уравнениями  $x_1 = 0,02 \sin(5\pi t + \pi/2)$  м,  $x_2 = 0,03 \sin(5\pi t + \pi/4)$  м. Построить с соблюдением масштаба векторную диаграмму сложения амплитуд. Определить амплитуду и начальную фазу  $\varphi_0$  результирующего колебания. Написать уравнение результирующего колебания.

214. Точка совершает одновременно два гармонических колебания, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями  $x = A_1 \cos \omega t$  и  $y = A_2 \cos[\omega(t + \tau)]$ , где  $A_1 = 4$  см;  $A_2 = 8$  см;  $\omega = \pi \text{ с}^{-1}$ ;  $\tau = 1$  с. Найти уравнение траектории точки и построить траекторию с соблюдением масштаба, указав направление движения точки. Пояснить свой ответ.

215. Точка совершает одновременно два гармонических колебания, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями  $x = A_1 \sin \omega t$  и  $y = A_2 \sin \omega t$ , где  $A_1 = 1,5$  см;  $A_2 = 2,5$  см. Записать уравнение траектории точки, построить траекторию с соблюдением масштаба, указав направление движения точки. Пояснить свой ответ.

216. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами  $T_1 = T_2 = 1,5$  с и амплитудами  $A_1 = A_2 = 2$  см. Начальные фазы колебаний  $\varphi_1 = \pi/2$  и  $\varphi_2 = \pi/3$ . Определить амплитуду  $A$  и начальную фазу  $\varphi_0$  результирующего колебания, записать его уравнение и построить с соблюдением масштаба векторную диаграмму сложения амплитуд.

217. Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях одинаковой частоты, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями  $x = A \sin(\omega t + \pi/2)$  и  $y = B \sin \omega t$ , где  $A = 3$  см;  $B = 4$  см. Определить уравнение траектории точки, построить траекторию с соблюдением масштаба, указав направление движения точки по этой траектории. Пояснить свой ответ.

218. Точка участвует в двух одинаково направленных гармонических колебаниях:  $x_1 = A_1 \sin \omega t$ ,  $x_2 = A_2 \cos \omega t$ , где  $A_1 = 1$  см;  $A_2 = 2$  см;  $\omega = 1 \text{ с}^{-1}$ . Определить амплитуду  $A$  и начальную фазу  $\varphi_0$  резуль-

тирующего колебания. Написать уравнение результирующего колебания. Построить с соблюдением масштаба векторную диаграмму сложения амплитуд.

219. Складываются два гармонических колебания одинаковой частоты и одинакового направления:  $x_1 = 1 \cdot \cos(\omega t + \pi/3)$  см и  $x_2 = 2 \cdot \cos(\omega t + 5\pi/6)$  см. Построить с соблюдением масштаба векторную диаграмму сложения амплитуд. Определить амплитуду  $A$  и начальную фазу  $\varphi_0$  результирующего колебания. Написать уравнение результирующего колебания.

220. Определить амплитуду  $A$  и начальную фазу  $\varphi_0$  результирующего колебания, которое возникает при сложении двух колебаний одинакового направления с одинаковыми периодами:  $x_1 = A_1 \sin \omega t$ ,  $x_2 = A_2 \sin[\omega(t+\tau)]$ , где  $A_1 = A_2 = 1$  см;  $\omega = \pi \text{ с}^{-1}$ ;  $\tau = 0,5$  с. Написать уравнение результирующего движения. Построить с соблюдением масштаба векторную диаграмму сложения амплитуд.

221. Какую индуктивность  $L$  надо включить в колебательный контур, чтобы при емкости  $C = 2$  мкФ получить частоту  $\nu = 1000$  Гц?

222. Катушка с индуктивностью  $L = 30$  мкГн присоединена к плоскому конденсатору с площадью пластин  $S = 0,01 \text{ м}^2$  и расстоянием между ними  $d = 0,1$  мм. Найти период колебаний  $T$  и диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$  среды, заполняющей пространство между пластинами конденсатора, если контур настроен на частоту  $\nu = 4 \cdot 10^4$  Гц.

223. Сила тока в колебательном контуре, содержащем катушку индуктивностью  $L = 0,1$  Гн и конденсатор, со временем изменяется согласно уравнению  $I = -0,1 \cdot \sin 200 \pi t$ , А. Определить максимальное значение энергии магнитного поля  $W_{\text{маг}}$  и максимальное напряжение на обкладках конденсатора  $U_{\text{макс}}$ .

224. В идеальном колебательном контуре, индуктивность которого  $L = 2 \cdot 10^{-7}$  Гн, происходят незатухающие электромагнитные колебания. Амплитуда заряда на обкладках конденсатора и силы тока в контуре соответственно равны  $q_m = 2 \cdot 10^{-8}$  Кл и  $I_m = 1$  А. Определить период  $T$  колебаний и момент времени, когда энергия  $W_{\text{эл}}$  электростатического поля в конденсаторе составляет  $n = 0,75$  полной энергии  $W$  контура:  $W_{\text{эл}}/W = n = 0,75$ .

225. Найти отношение энергии магнитного поля  $W_m$  колебательного контура к энергии его электрического поля  $W_{эл}$  ( $W_m/W_{эл}$ ) для момента  $t = T/8$ .

226. Уравнение изменения со временем разности потенциалов на обкладках конденсатора в колебательном контуре имеет вид  $U = 50 \cdot \cos 104 \pi t$ , В. Емкость конденсатора  $C = 0,1$  мкФ. Определить максимальную энергию электрического поля  $W_{эл}$  и индуктивность контура  $L$ .

227. В идеальном колебательном контуре происходят незатухающие колебания с угловой частотой  $\omega = 0,5 \cdot 10^8$  рад/с. Электроемкость конденсатора  $C = 2$  нФ, амплитуда напряжения на нем равна  $U_m = 10$  В. Определить амплитуду заряда на обкладках конденсатора  $q_m$  и силу тока  $I$  в контуре в момент, когда энергия  $W_{эл}$  электростатического поля конденсатора составляет  $n = 0,75$  полной энергии  $W$  контура:  $W_{эл} / W = n = 0,75$ .

228. Колебательный контур содержит конденсатор электроемкостью  $C = 8$  пФ и катушку индуктивностью  $L = 0,5$  мГн. Каково максимальное напряжение  $U_{max}$  на обкладках конденсатора, если максимальное значение силы тока в контуре  $I_{max} = 2$  мА.

229. В идеальном колебательном контуре происходят электромагнитные колебания с линейной частотой  $\nu_0 = 1,0$  МГц. В некоторый момент времени мгновенная сила тока в контуре равна  $I = 3,14 \cdot 10^{-2}$  А, мгновенная энергия электрического поля конденсатора  $W_{эл} = 0,375$  мкДж, напряжение на конденсаторе  $U = 86,6$  В. Определить электроемкость конденсатора  $C$  и энергию магнитного поля  $W_m$  в этот момент времени.

230. Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора емкости  $C = 2,5 \cdot 10^{-2}$  мкФ и катушки с индуктивностью  $L = 1,02$  Гн. В момент времени  $t = 0$  конденсатору сообщают заряд  $q_m = 2,5$  мкКл. Найти полную энергию контура  $W$  и силу тока  $I$  в контуре в момент времени, когда напряжение на обкладках конденсатора впервые после начала колебаний равно  $U = 70,7$  В.

231. В опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей помещалась тонкая стеклянная ( $n = 1,5$ ) пластинка, вследствие чего центральная светлая полоса смещалась в положение, первоначально занятое пятой светлой полосой ( $m = 5$ ), не считая центральной. Длина волны света  $\lambda = 600$  нм, свет падает перпендикулярно поверхности пластинки. 1) Постройте ход лучей в опыте Юнга.

2) Определите толщину пластинки. 3) Насколько изменится оптический ход луча при внесении пластинки?

232. В опыте Юнга отверстия освещались зеленым светом ( $\lambda_1 = 500 \text{ нм}$ ). Расстояние между отверстиями  $d = 1 \text{ мм}$ , расстояние от отверстий до экрана  $L = 3 \text{ м}$ . 1) Постройте ход лучей в опыте Юнга. 2) Найдите ширину светлых и темных полос на экране. 3) Как изменится ширина полос на экране при замене зеленого светофильтра на красный ( $\lambda_2 = 650 \text{ нм}$ )?

233. На мыльную пленку, показатель преломления которой  $n = 1,33$ , падает белый свет под углом  $\alpha = 45^\circ$ . При какой наименьшей толщине  $d$  пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый цвет, длина волны которого равна  $\lambda = 600 \text{ нм}$ .

234. Расстояние между пятым ( $m_1 = 5$ ) и двадцать пятым ( $m_2 = 25$ ) светлыми кольцами Ньютона в отраженном свете равно  $l = 9$ . Радиус кривизны линзы  $R = 15 \text{ м}$ . 1) Постройте ход лучей в опыте Ньютона. 2) Найдите длину волны монохроматического света. 3) Как изменится полученный результат, если между линзой и пластиной залить сероуглерод ( $n = 1,63$ )? Показатель преломления стекла  $n_1 = 1,5$ .

235. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим по нормали к поверхности пластинки. После того как пространство между линзой и пластинкой заполнили жидкостью, радиусы темных колец в отраженном свете уменьшились в  $k = 1,25$  раз. 1) Постройте ход лучей в опыте Ньютона. 2) Определите показатель преломления  $n$  жидкости. 3) Найдите длину волны света  $\lambda$ , если радиус кривизны линзы  $R = 1 \text{ м}$ .

236. На дифракционную решетку, содержащую  $n = 400$  штрихов на  $1 \text{ мм}$ , падает нормально монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$ . 1) Постройте ход лучей в дифракционной решетке. 2) Найдите общее число дифракционных максимумов, которые дает эта решетка. 3) Определите угол дифракции, соответствующий последнему максимуму.

237. На дифракционную решетку падает нормально пучок света от газоразрядной трубки, наполненной гелием. На какую линию в спектре третьего порядка накладывается красная линия гелия ( $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$ ). Максимум какого наибольшего порядка дает эта решетка?

238. Дифракционная решетка освещена нормально падающим монохроматическим светом. В дифракционной картине максимум вто-

рого порядка отклонен на угол  $\varphi_1 = 14^\circ$ . На какой угол  $\varphi_2$  отклонен максимум третьего порядка?

239. При освещении дифракционной решетки белым светом спектры второго и третьего порядков частично перекрывают друг друга. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая линия ( $\lambda = 0,4$  мкм) в спектре третьего порядка?

240. Какое число штрихов на единицу длины  $n$  имеет дифракционная решетка, если зеленая линия в спектре ртути ( $\lambda = 546,1$  нм) в спектре первого порядка наблюдается под углом  $\varphi = 19^\circ 8'$  в спектре третьего порядка?

241. Найти массу  $m$  фотона красных лучей света ( $\lambda=700$  нм).

242. С какой скоростью  $v$  должен двигаться электрон, чтобы его кинетическая энергия была равна энергии фотона с длиной волны  $\lambda=521$  нм?

243. Найти массу  $m$  фотона рентгеновских лучей ( $\lambda=25$  нм).

244. С какой скоростью  $v$  должен двигаться электрон, чтобы его импульс был равен импульсу фотона с длиной волны  $\lambda=520$  нм?

245. Найти массу  $m$  фотона гамма-лучей ( $\lambda=1,24$  нм).

246. Какую энергию  $\varepsilon$  должен иметь фотон, чтобы его масса была равна массе покоя электрона?

247. Найти энергию  $\varepsilon$  и импульс  $p$  фотона, если соответствующая ему длина волны  $\lambda=1,6$  нм.

248. При какой температуре  $T$  кинетическая энергия молекулы двухатомного газа будет равна энергии фотона с длиной волны  $\lambda=589$  нм?

249. Найти длину волны де Бройля  $\lambda$  для электронов, прошедших разность потенциалов  $U=1$  В.

250. Найти длину волны де Бройля  $\lambda$  для электрона, движущегося со скоростью  $v=10^6$  м/с;

Масса электрона  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг,

Заряд электрона  $e=1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. М. Г. Валишев. Курс общей физики: учеб. пособие / М. Г. Валишев, А. А. Повзнер. СПб.: Лань, 2009. 576 с.  
[http://kf-info.urfu.ru/fileadmin/user\\_upload/site\\_62\\_6389/pdf/dist\\_4.pdf](http://kf-info.urfu.ru/fileadmin/user_upload/site_62_6389/pdf/dist_4.pdf)
2. Л.Ф. Ромашева, А.Г. Андреева Физика: Колебания и волны. Модуль 5. Часть 1. Рабочая тетрадь для студентов, обучающихся по дистанционной технологии. Екатеринбург, 2006.  
[http://kf-info.urfu.ru/fileadmin/user\\_upload/site\\_62\\_6389/pdf/dist\\_5\\_1.pdf](http://kf-info.urfu.ru/fileadmin/user_upload/site_62_6389/pdf/dist_5_1.pdf)
3. Е.С.Левин. Физика: Волновая оптика. Модуль 6. Рабочая тетрадь для студентов, обучающихся по дистанционной технологии. Екатеринбург, 2006.  
[http://kf-info.urfu.ru/fileadmin/user\\_upload/site\\_62\\_6389/pdf/dist\\_6.pdf](http://kf-info.urfu.ru/fileadmin/user_upload/site_62_6389/pdf/dist_6.pdf)
4. Т.К. Костина, И.В. Вандышева, В.С. Черняев, З.А. Истомина, А.Д.Спектор. Физика: Квантовая оптика. Квантовая механика. Модуль 7. Рабочая тетрадь для студентов, обучающихся по дистанционной технологии. Екатеринбург, 2006.  
[http://kf-info.urfu.ru/fileadmin/user\\_upload/site\\_62\\_6389/pdf/dist\\_7.pdf](http://kf-info.urfu.ru/fileadmin/user_upload/site_62_6389/pdf/dist_7.pdf)
5. Т. И. Трофимова. Курс физики: учеб. пособие для инж.-техн. специальностей вузов / Т. И. Трофимова. 14-е изд., стер. М.: Академия, 2007. 560 с.
6. А. Г. Чертов. Задачник по физике: учеб. пособие для вузов / А. А. Чертов, А. А. Воробьев. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Физматлит, 2003. 640 с.
7. Т. И. Трофимова. Сборник задач по курсу физики с решениями / Т. И. Трофимова, З. Г. Павлова. М. : Высшая школа, 2001. 591 с.
8. В. С. Волькенштейн. Сборник задач по общему курсу физики: для студентов техн. вузов / В. С. Волькенштейн. 3-е изд., испр. и доп. СПб: Книжный мир, 2008. 328 с.