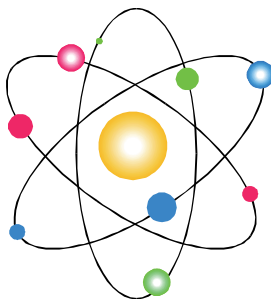


ФИЗИКА

ЧАСТЬ 2

Рабочая тетрадь для практической индивидуальной
работы студентов I курса дневного отделения



НОВОСИБИРСК
2017

УДК 53(076.5)
Ф 503

Составитель *Н.Ю. Березин*

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент *В.В. Христофоров*,
д-р техн. наук, профессор *А.А. Величко*

Работа подготовлена на кафедре общей физики

© Новосибирский государственный
технический университет, 2017

*Дорога к мудрости не неисповедима.
Наоборот, ее простой я вижу:
Ошибка, промах, мимо, мимо, мимо,
Но с каждым разом ближе, ближе, ближе.*

Пит Хейн. Груки

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс лекций «Физика» играет важную роль в формировании профессионального мышления будущих инженеров. Он закладывает тот фундамент исходных знаний по физике, отталкиваясь от которого студенты могут осваивать впоследствии дисциплины общего профессионального и специального профиля.

В курсе лекций студенты получают общее представление о физике как науке, об истории ее развития, своей будущей практической профессиональной деятельности, о теоретических направлениях в физике, учатся ориентироваться в этой системе знаний.

В разработке преследовались следующие цели.

1. Помощь студентам в усвоении лекционного материала:

- выделение и проработка наиболее важных вопросов, рассматриваемых в лекционном курсе;
- структурирование пройденного материала.

2. Помощь преподавателю в контроле за усвоением данной дисциплины.

КОНТРОЛЬ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Каждый студент должен выполнить определенное количество заданий в рабочей тетради и сдать ее преподавателю к контрольным неделям. Результат работы влияет на количество баллов, полученных студентом на контрольной неделе.

Успешность выполнения студентом заданий рабочей тетради учитывается в отметке о зачете по окончании лекционного курса.

Оценочный лист студента

Вид деятельности	Количество баллов
Практика № 1	
Практика № 2	
Практика № 3	
Практика № 4	
Практика № 5	
Практика № 6	
Практика № 7	
Практика № 8	
Практика № 9	
Лабораторная работа № 14	
Лабораторная работа № 23	
Лабораторная работа № 32	
Лабораторная работа ТК	
Контрольная работа (тест)	
РГЗ задача № 1	
РГЗ задача № 2	
РГЗ задача № 3	
РГЗ задача № 4	

Окончание таблицы

Вид деятельности	Количество баллов
РГЗ задача № 5	
РГЗ задача № 6	
РГЗ задача № 7	
РГЗ задача № 8	
Суммарный балл в семестре	
ЭКЗАМЕН	
ИТОГО	

До экзамена допускается студент, набравший по каждому виду деятельности минимальный балл:

- контрольная работа (тест) – 16 баллов;
- практика (одно занятие) – 50 баллов;
- лабораторная работа – 100 баллов;
- расчетно-графическое задание (одна задача) – 5 баллов.

Критерии оценки при выполнении контрольной работы (тест)

Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если студент ответит на 16 вопросов правильно.

Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если студент ответит правильно на 33 вопроса.

Критерии оценки работы студента на практическом занятии

Студент выполнил работу в полном объеме (решение 10 задач) с соблюдением необходимой последовательности действий; в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно выполняет анализ ошибок – 100 баллов.

Студент выполнил работу в неполном объеме (решение 5 задач) с соблюдением необходимой последовательности действий; в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно выполняет анализ ошибок – 50 баллов.

Критерии оценки при выполнении лабораторных работ

Каждая лабораторная работа оценивается в 200 баллов с дискретизацией в 10 баллов: **max 100 баллов – защита работы и 100 баллов – протокол.**

Защита – минимум 50 баллов (вопросы первого уровня), максимум 100 баллов (вопросы третьего уровня). Защита лабораторной работы включает в себя устные ответы на вопросы из методических пособий с вопросами для защиты.

Оценка протокола:

- 1) общее оформление,
- 2) таблица измерений,
- 3) обработка результатов,
- 4) графики,
- 5) вывод.

Каждый пункт оценивается в 20 баллов. **Протокол сдан, если по каждому из пунктов студент набрал не менее 10 баллов.**

Сдать протокол измерений и защитить лабораторную работу допускается до следующего занятия включительно, иначе студент получает **минимальный балл по каждому из видов контроля.**

Оформление протокола

Формат – А4. Заготовка может быть выполнена в печатной форме. **Экспериментальные данные, графики, расчеты и выводы допускаются оформлять только в рукописной форме!**

Критерии оценки при выполнении расчетно-графического задания

Расчетно-графическая работа выполняется на стандартных листах формата А4 (210 × 297 мм), пишется от руки (крупным разборчивым подчерком) или печатается на компьютере. Листы должны быть скреплены в отдельную папку и пронумерованы. Сокращения слов, кроме общепринятых (кг, м²) не допускается. Изложение каждой задачи расчетно-графической работы начинается с новой страницы, обязательно приводится текст задачи, заголовки выделяются. Шрифт – Times New Roman, размер – 14, интервал – 1,5.

Работу следует оформить аккуратно. Для замечаний преподавателя в работе на каждой пронумерованной странице следует оставить поля.

Титульный лист должен быть оформлен стандартным образом (см. образец).

Образец оформления титульного листа расчетно-графической работы

Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФГБОУ ВО

Кафедра общей физики

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА
по дисциплине «Общая физика»

Номер варианта _____

Номера заданий _____

Выполнил: Ф.И.О. студента _____

Форма обучения (дневная / заочная) _____

Факультет _____

Специальность _____

Группа _____

Проверил: Ф.И.О. преподавателя _____

Оценка _____

НОВОСИБИРСК

20__

Общая оценка по защите расчетно-графической работы студента (8 задач) определяется с учетом его теоретической подготовки, качества выполнения и оформления работы.

Защита расчетно-графической работы оценивается по 80-балльной системе. Оценка выставляется после положительной оценки, полученной в результате проверки преподавателем, и устной защиты.

Результат 80 баллов выставляется студенту, который знает общие положения основного материала, грамотно его излагает и правильно применяет теоретические сведения.

Результат 40 баллов выставляется студенту, который не знает значительной части теоретического материала, допускает существенные ошибки.

Критерии оценки при сдаче экзамена по билетам

Оценка «отлично» (40 баллов) ставится, когда решена правильно задача, студентом даны правильные исчерпывающие ответы на теоретические вопросы и приведены соответствующие выводы формул, он отвечает на дополнительные вопросы.

Оценка «хорошо» (30 баллов) ставится, когда решена правильно задача, в ответах на теоретические вопросы есть неточности, ошибки в выводах формул, студент отвечает не на все дополнительные вопросы.

Оценка «удовлетворительно» (20 баллов) ставится, когда решена правильно задача или указан правильный ход решения задачи, в ответах на теоретические вопросы есть неточности, приведены конечные формулы без выводов, студент отвечает не на все дополнительные вопросы.

Оценка «неудовлетворительно» (10 баллов) ставится, если не решена физическая задача.

Удачные обозначения обладают
 утонченностью и будят мысль,
 порой делая это, кажется,
 почти так же, как искусный учитель.

Бертран Рассел

ОБОЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН, ИСПОЛЗУЕМЫХ В РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ, И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ.

<i>Основные физические величины</i>			
Длина	l , м	Сила света	J , кд (кандела)
Масса	m , кг	Сила электрического тока	I , А
Время	t , с	Количество вещества	ν , моль
Термодинамическая температура	T , К		
<i>Дополнительные физические величины</i>			
Плоский угол	α , ф, рад	Телесный угол	Ω , ср (стерадиан)
<i>Производные физические величины</i>			
Давление	P , Па	Скорость	v , м · с ⁻¹
Импульс	p , кг · м · с ⁻¹	Скорость угловая	ω , рад · с ⁻¹
Коэффициент жесткости	k , Н · м ⁻¹	Скорость центра инерции	v_c , м · с ⁻¹
Коэффициент трения	μ	Ускорение	a , м · с ⁻²
Модуль Юнга	E , Па	Ускорение нормальное	a_n , м · с ⁻²
Момент импульса	L , кг · м ² · с ⁻¹	Ускорение свободного падения	g , м · с ⁻²

Окончание таблицы

Момент инерции	$J, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	Ускорение тангенциальное	$a_t, \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$
Момент силы	$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	Ускорение угловое	$\varepsilon, \text{рад} \cdot \text{с}^{-2}$
Мощность	$N, \text{Вт}$	Частота	$\nu, \text{Гц}$
Напряжение упругое	$\sigma, \text{Па}$	Частота круговая	$\omega, \text{с}^{-1}$
Период колебаний	$T, \text{с}$	Энергия кинетическая	$E_k, \text{Дж}$
Плотность	$\rho, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	Энергия покоя	$E_0, \text{Дж}$
Площадь	$S, \text{м}^2$	Энергия полная	$E, \text{Дж}$
Работа	$A, \text{Дж}$	Энергия потенциальная	$E_{\text{п}}, \text{Дж}$
Сила	$F, \text{Н}$	Объемная плотность энергии	$w, \text{Дж} \cdot \text{м}^{-3}$

Греческий алфавит

А α – альфа	Н η – эта	Ν ν – ню	Τ τ – тау
Β β – бета	Θ θ – тэта	Ξ ξ – кси	Υ υ – ипсилон
Γ γ – гамма	Ι ι – йота	Ο \omicron – омикрон	Φ ϕ – фи
Δ δ – дельта	Κ κ – каппа	Π π – пи	Χ χ – хи
ε ϵ – эпсилон	Λ λ – ламбда	Ρ ρ – ро	Ψ ψ – пси
Z ζ – дзета	Μ μ – мю	Σ σ – сигма	Ω ω – омега

Приставки и множители десятичных кратных и дольных единиц международной системы СИ

экса	Э	10^{18}	деци	д	10^{-1}
пета	П	10^{15}	санتي	с	10^{-2}
тера	Т	10^{12}	милли	м	10^{-3}
гига	Г	10^9	микро	мк	10^{-6}
мега	М	10^6	нано	н	10^{-9}
кило	к	10^3	пико	п	10^{-12}
гекто	г	10^2	фемто	ф	10^{-15}
дека	да	10^1	атто	а	10^{-18}

Фундаментальные физические константы

Абсолютный ноль температуры	$t = -273,15^{\circ}\text{C}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Гравитационная постоянная	$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
Заряд α -частицы	$q = 2e = 3,204 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Комптоновская длина волны электрона	$\lambda_c = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 12,5663706144 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Магнитный момент протона	$\mu_p = 1,4106171 \cdot 10^{-26} \text{ Дж/Тл}$
Магнитный момент электрона	$\mu_e = 9,28483 \cdot 10^{-24} \text{ Дж/Тл}$
Масса α -частицы	$m_\alpha = 6,644 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя протона	$m_p = 1,6726485 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Постоянная Ридберга	$R_H = 1,097 \cdot 10^7 \text{ 1/м}$
Объем одного моля идеального газа при нормальных условиях	$V_0 = 22,41383 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Ускорение свободного падения	$g = 9,81 \text{ м/с}^2$
Нормальные условия:	
Атмосферное давление	$p_0 = 101325 \text{ Н/м}^2$
Температура	$T \cong 273 \text{ К}$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Постоянная Вина	$b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Планка	$h = 6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Стефана–Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная Фарадея	$F = 96,48456 \cdot 10^3 \text{ Кл/моль}$
Скорость света в вакууме	$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,31441 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Элементарный заряд	$e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Удельный заряд электрона	$e/m = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Электрическая постоянная	$\varepsilon_0 = 8,85418783 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$

Окончание таблицы

Электрон-вольт	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
Удельная теплоёмкость воды	$c = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
Удельная теплота плавления льда	$\lambda = 333,7 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$
Удельная теплота парообразования воды	$r = 2,256 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$
Масса Земли	$M_3 = 5,976 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радиус Земли	$R_3 = 6,371 \cdot 10^6 \text{ м}$
Масса Солнца	$M_C = 1,9891 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
Радиус Солнца	$R_C = 6,955 \cdot 10^8 \text{ м}$
Масса Луны	$M_L = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$
Радиус Луны	$R_L = 1,74 \cdot 10^6 \text{ м}$

**ФОРМУЛЫ ПО РАЗДЕЛУ «ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ.
КОЛЕБАНИЯ. ВОЛНЫ. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА.
КВАНТОВАЯ ФИЗИКА»**

Связь магнитной индукции и напряженности магнитного поля

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

где \vec{B} – вектор магнитной индукции; μ – магнитная проницаемость изотропной среды (для вакуума $\mu = 1$); μ_0 – магнитная постоянная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн}/\text{м}$; \vec{H} – напряженность магнитного поля.

Магнитная индукция (индукция магнитного поля):

- *в центре кругового тока*

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

где R – радиус кругового тока;

- *в точке, находящейся на расстоянии от бесконечно длинного прямого тока,*

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r},$$

где r – кратчайшее расстояние от оси проводника до исследуемой точки;

- в точке, находящейся на расстоянии от прямолинейного отрезка проводника конечной длины с током,

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2),$$

где α_1 и α_2 – углы между направлением тока в проводнике и радиусом-вектором, соединяющим концы отрезка с точкой поля; r – кратчайшее расстояние от оси проводника до исследуемой точки;

- поля внутри бесконечно длинного соленоида

$$B = \mu\mu_0 n I,$$

где n – число витков на единицу длины соленоида.

Сила Лоренца

$$\vec{F} = q [\vec{v}, \vec{B}].$$

По модулю

$$F = qvB \sin \alpha,$$

где F – сила, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле; v – скорость заряда q ; α – угол между векторами \vec{v} и \vec{B} .

Поток вектора магнитной индукции (магнитный поток через площадку S):

- для однородного магнитного поля

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

где α – угол между вектором \vec{B} и нормалью к площадке;

- для неоднородного поля

$$\Phi = \int_S B \cos \alpha dS.$$

Потокосцепление (полный поток)

$$\Psi = N\Phi,$$

где N – число витков катушки.

Закон Фарадея–Ленца

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Psi}{dt}, \text{ или } \varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} \text{ (для } N = 1),$$

где ε_i – ЭДС индукции.

ЭДС самоиндукции

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt},$$

где L – индуктивность контура ($L = \text{const}$).

Индуктивность бесконечного соленоида

$$L = \mu\mu_0 n^2 V, \quad n = \frac{N}{l},$$

где n – число витков на единицу длины соленоида; V – объем соленоида.

Энергия магнитного поля

$$W = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} V.$$

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

$$q = \frac{\Delta\Phi}{R},$$

где $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ – приращение магнитного потока; R – сопротивление контура.

Работа по перемещению замкнутого контура с постоянным током I в магнитном поле

$$A = I\Delta\Phi.$$

Уравнение гармонических колебаний

$$x = A\cos(\omega t + \alpha), \text{ или } x = A\sin(\omega t + \alpha),$$

где x – смещение (отклонение) колеблющейся величины от положения равновесия; A – амплитуда; ω – круговая (циклическая) частота; t – время; $\omega t + \alpha$ – фаза, α – начальная фаза.

Связь между периодом и круговой (циклической) частотой

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

Частота

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

Связь круговой (циклической) частоты с частотой

$$\omega = 2\pi\nu.$$

Периоды собственных незатухающих колебаний:

- *пружинного маятника*

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

где k – жесткость пружины;

- *математического маятника*

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

где l – длина маятника; g – ускорение свободного падения;

- *колебательного контура*

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC},$$

где L – индуктивность контура; C – емкость конденсатора.

Циклическая частота собственных колебаний

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}.$$

Сложение двух косинусоидальных гармонических колебаний одинаковой частоты и направления:

- амплитуда результирующего колебания

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\alpha_1 - \alpha_2)},$$

где A_1 и A_2 – амплитуды складываемых колебаний; α_1 и α_2 – начальные фазы складываемых колебаний.

- начальная фаза результирующего колебания

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{A_1 \sin \alpha_1 + A_2 \sin \alpha_2}{A_1 \cos \alpha_1 + A_2 \cos \alpha_2}.$$

Биения:

- период биений

$$T_6 = \frac{2\pi}{|\omega_2 - \omega_1|} = \frac{1}{|v_2 - v_1|},$$

где ω_2, ω_1 – циклические частоты складываемых колебаний; v_2, v_1 – частоты складываемых колебаний;

- уравнение биений

$$x = 2A \cos\left(\frac{|\omega_2 - \omega_1|}{2}t\right) \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t\right).$$

Уравнение затухающих колебаний (при условии, что $\beta < \omega_0$)

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

где β – коэффициент затухания; ω_0 – циклическая частота собственных колебаний.

Амплитуда затухающих колебаний

$$A = A_0 e^{-\beta t},$$

где A_0 – амплитуда в начальный момент времени; β – коэффициент затухания; t – время.

Коэффициент затухания:

- *колеблющегося тела*

$$\beta = \frac{r}{2m},$$

где r – коэффициент сопротивления среды; m – масса тела;

- *колебательного контура*

$$\beta = \frac{R}{2L},$$

где R – активное сопротивление; L – индуктивность контура.

Частота затухающих колебаний

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

Период затухающих колебаний

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

Логарифмический декремент затухания

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

Связь логарифмического декремента λ и коэффициента затухания β

$$\lambda = \beta T.$$

Добротность

$$Q = \frac{\pi}{\lambda}.$$

Амплитуда вынужденных колебаний

$$A = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2\omega^2}},$$

где ω – частота вынужденных колебаний; f_0 – приведенная амплитуда вынуждающей силы:

- при механических колебаниях

$$f_0 = \frac{F_0}{m},$$

- при электромагнитных колебаниях

$$f_0 = \frac{U_m}{L}.$$

Резонансная частота

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

Резонансная амплитуда

$$A_p = \frac{f_0}{2\beta\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}.$$

Полная энергия колебаний

$$W = \frac{1}{2}mA^2\omega^2.$$

Уравнение плоской волны

$$\xi = A\cos(\omega t - kx), \text{ или } \xi = A\sin(\omega t - kx),$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; ξ – смещение точек среды с координатой x в момент времени t (k – волновое число).

Длина волны

$$\lambda = vT,$$

где v – фазовая скорость распространения колебаний в среде; T – период колебаний.

Связь разности фаз $\Delta\varphi$ колебаний двух точек среды, с расстоянием Δx между точками среды,

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

Координаты пучностей (точек, в которых амплитуда максимальна) стоячей волны

$$x_{\text{пучн}} = \pm n \frac{\lambda}{2}, n = 0, 1, 2, \dots$$

Координаты узлов (точек, в которых амплитуда равна нулю) стоячей волны

$$x_{\text{узла}} = \pm \left(n + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2}, n = 0, 1, 2, \dots$$

Собственные частоты натянутой струны (частоты нормальных колебаний), концы которой жестко закреплены,

$$\nu_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{v}{2l} n,$$

где v – скорость распространения волн; $l = n \frac{\lambda}{2}$ – длина струны; n – целое число укладываемых половин длин волн.

Абсолютный показатель преломления среды

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

где c – скорость света в вакууме,

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

v – фазовая скорость распространения света в среде.

Относительный показатель преломления

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1},$$

где n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления второй и первой среды.

Оптическая длина пути

$$L = n r,$$

где n – показатель преломления среды; r – геометрическая длина пути световой волны.

Оптическая разность хода

$$\Delta = L_2 - L_1,$$

где L_1 и L_2 – оптические пути двух световых волн.

Условие интерференционного (для синфазных источников):

- *максимума*

$$\Delta = \pm m \lambda_0, \quad m = 0, 1, 2, \dots;$$

- *минимума*

$$\Delta = \pm (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots,$$

где λ_0 – длина световой волны в вакууме; m – порядок интерференционного максимума или минимума.

Оптическая разность хода волн в тонких пленках (показатель преломления окружающей среды $n_0 = 1$):

- *в отраженном свете*

$$\Delta = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2};$$

- в проходящем свете

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i},$$

где d – толщина пленки; i – угол падения света; n – показатель преломления пленки.

Ширина интерференционных полос в опыте Юнга

$$\Delta x = \frac{\lambda L}{d},$$

где d – расстояние между когерентными источниками света; L – расстояние от источника до экрана.

Радиус внешней границы m -й зоны Френеля для сферической волны

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b} m\lambda},$$

где m – номер зоны Френеля; λ – длина волны; a, b – соответственно расстояния диафрагмы с круглым отверстием от точечного источника и от экрана, на котором дифракционная картина наблюдается.

Дифракция Фраунгофера на щели

Условие минимума

$$b \sin \varphi = \pm m\lambda, \quad m = 1, 2, \dots$$

Условие максимума

$$b \sin \varphi = \pm \left(m\lambda + \frac{\lambda}{2} \right), \quad m = 1, 2, 3, \dots,$$

где b – ширина щели; φ – угол дифракции

Условие главных максимумов дифракционной решетки

$$d \sin \varphi = \pm m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots,$$

где d – постоянная дифракционной решетки; φ – угол дифракции.

Разрешающая способность дифракционной решетки

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

где $\Delta\lambda$ – минимальная разность длин волн двух спектральных линий, разрешаемых решеткой; m – порядок спектра; N – общее число щелей решетки.

Закон Малюса

$$I = I_0 \cos^2 \alpha,$$

где I_0 – интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; I – интенсивность света, прошедшего через анализатор; α – угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора.

Связь интенсивности естественного света $I_{\text{ест}}$ с интенсивностью света, прошедшего поляризатор (и падающего на анализатор):

$$I_0 = \frac{1}{2} I_{\text{ест}} (1 - k),$$

где k – относительная потеря интенсивности (на отражение и поглощение) света в поляризаторе и анализаторе.

Дисперсия вещества

$$D = \frac{dn}{d\lambda}.$$

Средняя дисперсия

$$\langle D \rangle = \frac{n_2 - n_1}{\lambda_2 - \lambda_1}.$$

Групповая скорость света

$$u = \frac{c}{n} \left(1 + \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda} \right).$$

Фазовая скорость света

$$v = \frac{c}{n}.$$

Закон Стефана–Больцмана

$$R_e = \sigma T^4,$$

где R_e – энергетическая светимость (излучательность) черного тела;
 T – термодинамическая температура; $\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8}$ (Дж/с · м²)/К⁴ – постоянная Стефана–Больцмана.

Связь энергетической светимости R_e и спектральной плотности энергетической светимости $r_{\nu, T}(\nu, T)$ черного тела

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

Энергетическая светимость серого тела

$$R_T^c = A_T \sigma T^4,$$

где A_T – поглощательная способность серого тела.

Закон смещения Вина

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},$$

где λ_{\max} – длина волны, соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости черного тела; b – постоянная Вина,

$$b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}.$$

Зависимость максимальной спектральной плотности энергетической светимости черного тела от температуры

$$(r_{\lambda, T}) = CT^5,$$

где $C = 1,3 \cdot 10^{-5}$ Вт/(м³ · К⁵).

Формула Рэлея–Джинса для спектральной плотности энергетической светимости черного тела

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT,$$

где k – постоянная Больцмана.

Энергия кванта

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

где $h = 6.62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме.

Формула Планка

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{\frac{h\nu}{e^{kT}} - 1}; \quad r_{\lambda, T} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{h\nu}{\frac{hc}{e^{kT\lambda}} - 1}.$$

Связь радиационной T_p и истинной T температур

$$T_p = \sqrt[4]{A_T T},$$

где A_T – поглощательная способность серого тела.

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

$$\varepsilon = h\nu = A + T_{\max},$$

где $\varepsilon = h\nu$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла; A – работа выхода электрона из металла; $T_{\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

«Красная граница» фотоэффекта для данного металла

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

где λ_0 – максимальная длина волны излучения (ν_0 – соответственно минимальная частота), при которой фотоэффект еще возможен.

Масса и импульс фотона

$$m_\gamma = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}; \quad p_\gamma = \frac{h\nu}{c},$$

где $h\nu$ – энергия фотона.

Изменение длины волны рентгеновского излучения при комптоновском рассеянии

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta) = \frac{2h}{m_0c} \sin^2 \frac{\theta}{2} = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

где λ и λ' – длины волн падающего и рассеянного излучения; m_0 – масса электрона; θ – угол рассеяния, $\lambda_c = \frac{h}{m_0c}$ – комптоновская длина волны.

Длина волны де Бройля

Для нерелятивистской частицы

$$\lambda_B = \frac{2\pi\hbar}{p} = \frac{2\pi\hbar}{mV},$$

где p – импульс нерелятивистской частицы

$$\lambda_B = \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2mE}},$$

где E – кинетическая энергия нерелятивистской частицы; m – масса частицы

<i>Для нерелятивистской частицы</i>
$\lambda_B = \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{3mkT}},$
где m – масса частицы; k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура
$\lambda_B = \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2mqU}},$
где q – заряд частицы; U – разность потенциалов
$\lambda_B = \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2E_{\text{кин}}m_0 + \frac{E_K^2}{c^2}}},$
где m_0 – масса покоя частицы; $E_{\text{кин}}$ – кинетическая энергия релятивистской частицы, $E_{\text{кин}} = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2$; p – импульс,
$p = \frac{m_0V}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \frac{1}{c} \sqrt{E_{\text{кин}}(E_{\text{кин}} + 2m_0c^2)}$

Соотношения неопределенностей Гейзенберга

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar; \quad \Delta y \Delta p_y \geq \hbar;$$

$$\Delta z \Delta p_z \geq \hbar; \quad \Delta E \Delta t \geq \hbar,$$

где $\Delta p_x, \Delta p_y, \Delta p_z$ – неопределенности проекции импульса частицы на оси x, y, z , а $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – неопределенности ее координат; ΔE – неопределенность энергии состояния частицы; Δt – время пребывания частицы в данном квантовом состоянии.

**УРАВНЕНИЕ ШРЁДИНГЕРА.
ОДНОМЕРНЫЙ БЕСКОНЕЧНО ГЛУБОКИЙ
ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ЯЩИК. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ БАРЬЕР.
АТОМ ВОДОРОДА. МОЛЕКУЛЫ**

Волновая функция ψ (или пси-функция)

Вероятность dP того, что частица в момент времени t будет обнаружена в пределах объема dV :

$$dP = |\psi|^2 dV = \psi\psi^* dV ,$$

$\int \psi\psi^* dV = 1$ – условие нормировки.

Общее уравнение Шрёдингера (уравнение Шрёдингера, зависящее от времени)

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\psi + U(x, y, z, t)\psi = i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t} ,$$

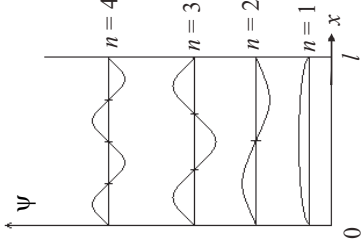
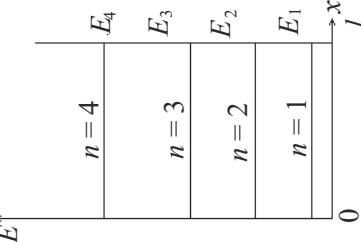
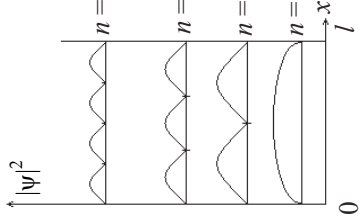
где m – масса частицы; i – мнимая единица; $U(x, y, z, t)$ – потенциальная функция частицы в силовом поле, в котором она движется; Δ – оператор Лапласа $\left(\Delta\psi = \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} \right)$; $\psi(x, y, z, t)$ – волновая функция частицы.

Стационарное уравнение Шрёдингера

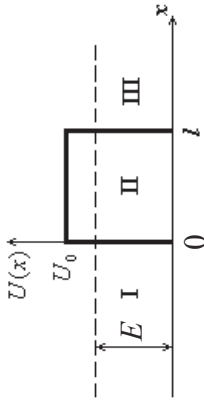
$$\Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\psi = 0 ,$$

где E – полная энергия частицы; U – потенциальная энергия частицы в силовом поле, в котором она движется.

Частица в одномерном бесконечно глубоком потенциальном «ящике»

Собственные ψ -функции	Собственные значения энергии электрона	Расстояние между энергетическими уровнями
$\psi_n = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{n\pi x}{l},$ $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ 	$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2},$ $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ 	$\Delta E_n = E_{n+1} - E_n =$ $= \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} (2n+1) \approx \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} n$ 

Прохождение частицы сквозь потенциальный барьер. Туннельный эффект



Области	Уравнение Шрёдингера	Решение уравнения Шрёдингера	Значения коэффициентов k_1, k_2 и β	Коэффициент отражения R	Коэффициент прозрачности D
I и III	$1. \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E\psi = 0$	3. $\psi_1 = A_1 e^{ik_1 x} + B_1 e^{-ik_1 x}$ 4. $\psi_3 = A_3 e^{ik_1 x} + B_3 e^{-ik_1 x}$, или $\psi_3 = A_3 e^{ik_1 x}$	7. $k_1 = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$		
II	$2. \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U_0)\psi = 0$	5. $\psi_2 = A_2 e^{ik_2 x} + B_2 e^{-ik_2 x}$ 6. $\psi_2 = A_2 e^{-\beta x} + B_2 e^{\beta x}$	8. $k_2 = \frac{\sqrt{2m(E - U_0)}}{\hbar}$ 9. $\beta = \frac{\sqrt{2m(U_0 - E)}}{\hbar}$	$R = \frac{ B_1 ^2}{ A_1 ^2} = \frac{ k_1 - k_2 ^2}{ k_1 + k_2 ^2} = \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{U_0}{E}}}{1 + \sqrt{1 - \frac{U_0}{E}}}$	$D = \frac{ A_3 ^2}{ A_1 ^2} = \frac{4k_1 k_2}{(k_1 + k_2)^2} \approx e^{-\frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(U_0 - E)} l}$ $D = 1 - R$

Атом водорода

Энергия электрона

$$E_n = -\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \frac{me^4}{2\hbar^2 n^2} \text{ (Дж)},$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$

Состояние, в котором находится электрон с минимальным значением энергии, называется *основным* ($E_1 = -13,6$ эВ). Все остальные состояния (E_2, E_3, \dots) – возбужденными.

КВАНТОВЫЕ ЧИСЛА

Главное квантовое число n определяет энергию электрона в атоме ($n = 1, 2, 3, 4, \dots$).

Орбитальное квантовое число l определяет момент импульса электрона в атоме. При заданном значении n квантовое число l может принимать значения $l = 0, 1, 2, 3, \dots, n - 1$. Момент импульса (механический орбитальный момент) электрона квантуется (принимает дискретные значения) и рассчитывается по формуле

$$L_l = \hbar\sqrt{l(l+1)}.$$

Магнитное квантовое число m_l определяет проекцию момента импульса L_{l_z} электрона на физически заданное направление. При заданном l число m_l может принимать значения $m_l = -l, -(l-1), -(l-2), \dots, 0, 1, \dots, l$, всего $(2l+1)$ значений.

Проекция момента импульса L_{l_z} принимает квантованные значения

$$L_{l_z} = m_l \hbar.$$

Спиновое квантовое число s принимает у электрона значения $s = +\frac{1}{2}$. Спин электрона – квантовая величина, у нее нет классического аналога; это внутреннее неотъемлемое свойство электрона, подобно его заряду.

Собственный механический момент импульса (спин) L_s квантуется:

$$L_s = \hbar \sqrt{s(s+1)}.$$

Проекция спина L_{s_z} на направление внешнего магнитного поля – величина квантованная:

$$L_{s_z} = m_s \hbar,$$

где m_s – спиновое магнитное квантовое число.

Оно может иметь только два значения: $m_s = \pm \frac{1}{2}$.

Спектры испускания и поглощения атома водорода. В квантовой механике вводятся *правила отбора*, ограничивающие число возможных переходов электронов в атоме, связанных с испусканием и поглощением света.

Изменение орбитального квантового числа Δl удовлетворяет условию

$$\Delta l = \pm 1.$$

Изменение магнитного квантового числа Δm_l удовлетворяет условию

$$\Delta m_l = \pm 1.$$

При переходе электрона в атоме водорода с одного энергетического уровня на другой испускается или поглощается квант энергии с частотой ω :

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

где n определяет серию ($n = 1, 2, 3, \dots$); m – отдельные линии соответствующей серии ($n = m + 1, n = m + 2, n = m + 3, \dots$); R – постоянная

Ридберга $\left(R = 2,07 \cdot 10^{16} \frac{1}{c} \right)$.

Молекулы. Молекулярные спектры

Энергия молекулы, имеющей момент инерции I и вращающейся с угловой скоростью ω_r , равна

$$E_r = \frac{I\omega_r^2}{2} = \frac{I^2\omega_r^2}{2I} = \frac{L^2}{2I} = \frac{\hbar^2 J(J+1)}{2I},$$

где $L = I\omega_r$ – момент импульса молекулы.

Момент импульса молекулы – величина квантованная:

$$L = \hbar\sqrt{J(J+1)},$$

где J – вращательное квантовое число. Оно может принимать значения $J = 0, 1, 2, \dots$

Для вращательного квантового числа имеется правило отбора

$$\Delta J = \pm 1.$$

Вращательные полосы

Наименьшей энергией обладают фотоны, соответствующие переходам молекулы из одного вращательного состояния в другое:

$$\hbar\omega = \Delta E_r = \frac{\hbar^2(J+1)(J+2)}{2I} - \frac{\hbar^2 J(J+1)}{2I} = \frac{\hbar^2 \cdot 2(J+1)}{2I}.$$

Частоты линий, испускаемых при переходах между вращательными уровнями, могут иметь значения:

$$\omega = \frac{\Delta E_r}{\hbar} = \frac{\hbar}{2I} 2(J+1) = 2B(J+1) = \omega_1(J+1),$$

где $B = \frac{\hbar}{2I}$; J – квантовое число уровня, на который совершается переход.

Приведенная масса двухатомной молекулы

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2},$$

где m_1 и m_2 – массы атомов, входящих в состав молекулы.

Собственная круговая частота двухатомной молекулы

$$\omega = \sqrt{\frac{\beta}{\mu}},$$

где β – коэффициент квазиупругой силы.

Энергия колебания квантового гармонического осциллятора

$$E_n = \hbar\omega \left(n + \frac{1}{2} \right),$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$

Нулевая энергия

$$E_0 = \frac{\hbar\omega}{2}.$$

Энергия диссоциации двухатомной молекулы

$$E_d = \frac{\hbar\omega}{4\gamma} (1 - 2\gamma),$$

где γ – коэффициент ангармоничности.

Момент инерции двухатомной молекулы относительно оси, проходящей через ее центр инерции перпендикулярно прямой, соединяющей ядра атомов:

$$I = \mu d^2,$$

где μ – приведенная масса молекулы; d – межъядерное расстояние.

Энергия вращательного движения двухатомной молекулы

$$E_J = BJ(J+1),$$

где J – вращательное квантовое число; B – вращательная постоянная,

$$B = \frac{\hbar^2}{2I}.$$

ПОРЯДОК РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Записать все данные (с их единицами) и искомые в задаче величины.

2. Записать все данные задачи в СИ.

3. Сделать чертеж, схему или рисунок с обозначением данных задачи (в зависимости от условий задачи).

4. Установить, какие физические законы отвечают содержанию данной задачи.

5. Решить задачу в общем виде (получить «рабочую формулу»), т. е. выразить искомую величину через заданные в задаче. При изучении движения точки (поступательного движения твердого тела) необходимо:

а) выбрать систему отсчета, относительно которой изучается движение;

б) связать с ней систему координат;

в) записать закон движения точки в векторном виде;

г) перейти к скалярной записи уравнений движения в проекциях на выбранные оси;

д) записать начальные данные и дополнительные условия рассматриваемого движения;

е) решить полученную систему уравнений и проанализировать ответ;

ж) если в движении участвует несколько тел, то удобно выбрать общие для всех начала отсчета перемещения и времени.

При изучении вращения тела вокруг неподвижной оси надо перейти к угловым характеристикам движения (угловому перемещению, угловой скорости, угловому ускорению), так как они одинаковы для всех точек тела, в то время как линейные характеристики различны.

6. Произвести вычисления.

7. Желательно произвести проверку единиц величин, подставив их в «рабочую формулу». Полученная единица должна совпадать с единицей искомой в задаче величины.

КОНСПЕКТЫ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ, ЗАПОЛНЯЮТСЯ СТУДЕНТАМИ ВМЕСТЕ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ НА ЗАНЯТИЯХ

Занятие 1 «Магнитное поле постоянного тока. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле. Сила, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле».

Занятие 2 «Закон полного тока. Магнитный поток. Магнитные цепи».

Занятие 3 «Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле. Электромагнитная индукция. Индуктивность. Энергия магнитного поля».

Занятие 4 «Механические колебания».

Занятие 5 «Геометрическая оптика».

Занятие 6 «Интерференция света. Дифракция света. Поляризация света».

Занятие 7 «Законы теплового излучения. Фотоэлектрический эффект».

Занятие 8 «Давление света. Фотоны. Эффект Комптона».

Занятие 9 «Волновые свойства микрочастиц».

ЗАНЯТИЕ 1

**«Магнитное поле постоянного тока. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле.
Сила, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле»**

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 2

«Закон полного тока. Магнитный поток. Магнитные цепи»

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 3

**«Работа по перемещению проводника с током
в магнитном поле. Электромагнитная индукция.
Индуктивность. Энергия магнитного поля»**

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 4

«Механические колебания»

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 5

«Геометрическая оптика»

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 6

**«Интерференция света. Дифракция света.
Поляризация света»**

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 7

«Законы теплового излучения. Фотоэлектрический эффект»

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 8

«Давление света. Фотоны. Эффект Комптона»

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

ЗАНЯТИЕ 9

«Волновые свойства микрочастиц»

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

**Рейтинг – лист
ФБ (физика – 2 часть)**

Название модуля	Вид контроля	Сроки контроля	Максимальное число баллов	Минимальное число баллов	Экзамен
Электромагнетизм	РГЗ «5–10»	семестр	$3 \cdot 10 = 30$	$3 \cdot 5 = 15$	1 вопрос – 10 баллов
	Практическое занятие «50–100»	семестр	$3 \cdot 100 = 300$	$3 \cdot 50 = 150$	
	Лабораторные работы «100–200»	семестр	$1 \cdot 200 = 200$	$1 \cdot 100 = 100$	
	Тест	семестр	33	16	
Колебания и волны	Практическое занятие «50–100»	семестр	$1 \cdot 100 = 100$	$1 \cdot 50 = 50$	2 вопрос – 10 баллов
	Лабораторные работы «100–200»	семестр	$1 \cdot 200 = 200$	$1 \cdot 100 = 100$	
	РГЗ «5–10»	семестр	$5 \cdot 10 = 50$	$5 \cdot 5 = 25$	
	Практическое занятие «50–100»	семестр	$5 \cdot 100 = 500$	$5 \cdot 50 = 250$	
Геометрическая оптика. Волновая оптика. Квантовая оптика	Лабораторные работы «100–200»	семестр	$2 \cdot 200 = 400$	$2 \cdot 100 = 200$	Задача – 20 баллов
			$1813 \cdot 0,033 = 60$ баллов	$906 \cdot 0,033 = 30$ баллов	
					40 баллов

СОДЕРЖАНИЕ РГЗ ПО ФИЗИКЕ, 2 СЕМЕСТР

Содержание		Номера задач
1	Магнитное поле. Магнитная индукция. Закон Био–Савара–Лапласа. Принцип суперпозиции	201–210
2	Сила Лоренца. Сила Ампера	211–220
3	Магнитный поток. Закон электромагнитной индукции. ЭДС самоиндукции	221–230
4	Интерференция света от двух когерентных источников. Интерференция в тонких пластинках и пленках, в клиновидных пластинках	231–240
5	Дифракция света на одной щели. Зоны Френеля. Дифракционная решетка	241–250
6	Поляризация света	251–260
7	Тепловое излучение. Внешний фотоэффект	261–270
8	Волны де Бройля. Принцип неопределенности	271–280

Таблица вариантов задач
к РГЗ по физике, 2 семестр

Вариант	Номера задач							
	210	220	230	240	250	260	270	280
0	210	220	230	240	250	260	270	280
1	201	211	221	231	241	251	261	271
2	202	212	222	232	242	252	262	272
3	203	213	223	233	243	253	263	273
4	204	214	224	234	244	254	264	274
5	205	215	225	235	245	255	265	275
6	206	216	226	236	246	256	266	276
7	207	217	227	237	247	257	267	277
8	208	218	228	238	248	258	268	278
9	209	219	229	239	249	259	269	279

ЗАДАЧИ

201. Два круговых витка расположены в двух взаимно перпендикулярных плоскостях так, что центры этих витков совпадают. Радиус каждого витка $R = 2,0$ см, а токи в витках $I_1 = I_2 = 5,0$ А. Найти напряженность магнитного поля в центре этих витков.

202. По квадратной рамке со стороной $a = 5,0$ см течет ток $I = 10,0$ А. Какова магнитная индукция в точке пересечения диагоналей квадрата?

203. Два круговых витка расположены в двух взаимно перпендикулярных плоскостях так, что центры этих витков совпадают. Радиусы витков $R_1 = 2,5$ см, $R_2 = 4,0$ см а токи в витках $I_1 = 3,0$ А и $I_2 = 5,0$ А. Найти индукцию магнитного поля в центре этих витков.

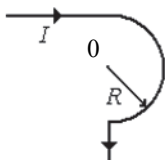
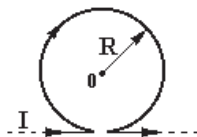
204. По проводнику, изогнутому в виде окружности, течет ток. Напряженность магнитного поля в центре окружности $H_1 = 50$ А/м. Не изменяя силы тока в проводнике, ему придали форму квадрата. Определить напряженность магнитного поля в центре этого квадрата.

205. Два бесконечно длинных прямых проводника располагаются под прямым углом в параллельных плоскостях, расстояние между которыми $d = 20$ см. Найти индукцию магнитного поля в точке, лежащей на середине общего перпендикуляра к проводникам, если $I_1 = 100$ А, а $I_2 = 50$ А, .

206. Бесконечно длинный прямой провод согнут под прямым углом. По проводу течет ток $I = 100$ А. Вычислить напряженность магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе угла и удаленной от вершины угла на расстояние $d = 100$ см.

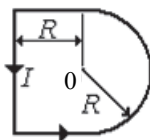
207. По двум бесконечно длинным параллельным проводам текут токи $I_1 = 50 \text{ А}$ и $I_2 = 100 \text{ А}$ в противоположных направлениях. Расстояние между проводами $d = 50 \text{ см}$. Определить магнитную индукцию B в точке, удаленной на расстояние $r_1 = 30 \text{ см}$ от первого и $r_2 = 40 \text{ см}$ – от второго провода.

208. Бесконечно длинный тонкий проводник с током $I = 100 \text{ А}$ имеет изгиб (плоскую петлю) радиусом $R = 20,0 \text{ см}$. Определить магнитную индукцию поля, создаваемого этим током в точке O .



209. Проводник с током $I = 40 \text{ А}$ лежит в плоскости и имеет форму, показанную на рисунке. Радиус изогнутой части проводника $R = 20 \text{ см}$. Определить магнитную индукцию B поля, создаваемого этим током в точке O .

210. Проводник с током $I = 20 \text{ А}$ лежит в плоскости и имеет форму, показанную на рисунке. Радиус изогнутой части проводника $R = 40 \text{ см}$. Определить напряженность и магнитную индукцию поля, создаваемого этим током в точке O .



211. Между полюсами электромагнита создается однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,10 \text{ Тл}$. По проводнику длиной $L = 70 \text{ см}$, расположенному под углом $\alpha = 60^\circ$ к силовым линиям магнитного поля, течет ток $I = 70 \text{ А}$. Найти силу, действующую на проводник.

212. Прямоугольная проволочная рамка со сторонами $l_1 = 10,0 \text{ см}$ и $l_2 = 5,0 \text{ см}$ расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что ее ближайшая сторона l_1 , параллельная проводу, находится на расстоянии $d = 2,0 \text{ см}$ от него. Определить силу, действующую на рамку, если токи, текущие по проводу и рамке, соответственно равны $I_1 = 100 \text{ А}$, $I_2 = 1,0 \text{ А}$.

213. Квадратная рамка со стороной $a = 15$ см, по которой течет ток $I = 50$ А, расположена в магнитном поле с индукцией $B = 0,10$ Тл так, что силовые линии поля перпендикулярны плоскости рамки. Найти силу, действующую на одну сторону рамки.

214. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две ее стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи $I = 200$ А. Определить силу F , действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии, равном ее длине.

215. Шины генератора представляют собой две параллельные медные полосы длиной $L = 2,00$ м каждая, отстоящие друг от друга на $d = 20$ см. Определить силу взаимного отталкивания шин в случае короткого замыкания, когда по ним течет ток $I = 10$ кА.

216. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов $U = 600$ В, влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,30$ Тл и начал двигаться по окружности. Вычислить ее радиус.

217. Ион, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 645$ В, влетел в скрещенные под прямым углом однородные магнитное $B = 1,5 \cdot 10^{-1}$ Тл и электрическое $E = 200$ кВ/м поля перпендикулярно к ним. Определить отношение заряда иона к его массе, если ион в этих полях движется прямолинейно.

218. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 300$ В, движется параллельно прямолинейному длинному проводу на расстоянии $d = 4,0$ мм от него. Какая по величине сила действует на электрон, если по проводнику пустить ток $I = 5,0$ А?

219. Протон и α -частица, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям. Во сколько раз радиус кривизны R_1 траектории α -частицы больше радиуса кривизны R_2 траектории протона?

220. Перпендикулярно магнитному полю с индукцией $B = 0,10$ Тл возбуждено электрическое поле напряженностью $E = 100$ кВ/м. Заряженная частица движется перпендикулярно обоим полям, не отклоняясь от прямолинейной траектории. Определить скорость частицы.

221. Квадратная проволочная рамка со стороной $a = 5,0$ см и сопротивлением $R = 10$ мОм находится в однородном магнитном поле $B = 40$ мТл. Нормаль к плоскости рамки составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с линиями магнитной индукции. Определить заряд Q , который пройдет по рамке, если магнитное поле выключить.

222. Медный провод диаметром $d = 1,0$ мм согнут в виде квадрата со стороной $a = 4,0$ см, и концы его замкнуты. Эта рамка помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,20$ Тл так, что ее плоскость перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить заряд, который потечет по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянуть в линию. Удельное сопротивление меди $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

223. Прямой провод длиной $l = 40$ см движется в однородном магнитном поле со скоростью $v = 5,0$ м/с перпендикулярно линиям поля и оси провода. Появившаяся при этом разность потенциалов на концах провода равна $U = 0,60$ В. Определить индукцию магнитного поля.

224. В магнитное поле с индукцией $B = 0,01$ Тл помещен круговой виток из медной проволоки. Площадь витка $S = 16$ см², а полное сопротивление проволоки $R = 250$ Ом. Магнитное поле направлено перпендикулярно плоскости витка. Какой заряд Q пройдет по витку при исчезновении магнитного поля?

225. На соленоид длиной $L = 20$ см и площадью поперечного сечения $S = 30$ см² надет проволочный виток того же сечения. Соленоид имеет $N = 320$ витков, и по нему идет ток $I = 3,0$ А. Какая средняя

ЭДС индуцируется в надетом на соленоид витке при уменьшении тока в соленоиде в течение $\Delta t = 1,0$ мс?

226. Катушка, состоящая из $N = 400$ витков проволоки, помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,02$ Тл. Ось катушки параллельна силовым линиям магнитного поля. Какой заряд пройдет по катушке при исчезновении магнитного поля? Сопротивление катушки $R = 15$ Ом, диаметр витка $d = 5,0$ см.

227. Соленоид содержит $N = 800$ витков. Сечение сердечника (из немагнитного материала) $S = 10$ см². По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией $B = 8,0$ мТл. Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, которая возникает на зажимах соленоида, если сила тока уменьшается практически до нуля за время $\Delta t = 0,8$ мс.

228. Короткая катушка, содержащая $N = 10$ витков диаметром $d = 4,0$ см, помещена в однородное магнитное поле, индукция которого $B = 0,020$ Тл. Ось катушки параллельна линиям поля. Сопротивление катушки $R = 10,0$ Ом. Какой заряд пройдет по катушке при повороте ее на $\delta = 90^\circ$?

229. По обмотке тороида течет ток $I = 0,60$ А, создающий в стальном сердечнике магнитную индукцию $B = 1,22$ Тл. Витки провода диаметром $d = 0,40$ мм плотно прилегают друг к другу. Найти энергию W магнитного поля тороида, если площадь сечения его $S = 4,0$ см², диаметр средней линии $D = 30$ см.

230. В соленоиде сечением $S = 5,0$ см² создан магнитный поток $\Phi = 20$ мкВб. Определить объемную плотность ω энергии магнитного поля соленоида. Сердечник отсутствует.

231. Пучок параллельных лучей ($\lambda = 0,60$ мкм) падает под углом $\alpha = 30^\circ$ на мыльную пленку ($n = 1,3$). При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут максимально ослаблены интерференцией? Максимально усилены?

232. На мыльную пленку ($n = 1,3$), находящуюся в воздухе, падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,52$ мкм под углом $\alpha = 30^\circ$. При какой наименьшей толщине пленки она будет казаться темной в проходящем свете?

233. Какова наименьшая возможная толщина плоскопараллельной пластинки с показателем преломления $n = 1,5$, если при освещении белым светом под углом $i_1 = 45^\circ$ и $i_2 = 60^\circ$ в отраженном свете она кажется красной ($\lambda_k = 0,74$ мкм)?

234. На тонкую мыльную пленку ($n_1 = 1,33$) толщиной $d = 1,25$ мкм падает нормально монохроматический свет. В отраженном свете пленка кажется светлой. Какой минимальной толщины надо взять тонкую пленку скипидара ($n_2 = 1,48$), чтобы она в этих же условиях казалась темной?

235. Интенсивность света, попадающего на пленку в фотоаппарате, снижается из-за потерь при отражении света от объектива. Эти потери уменьшают нанесением на объектив «просветляющей» пленки (лучи, отраженные от ее поверхностей, интерферируют в противофазе). Рассчитать показатель преломления пленки $n_{пл}$, если толщина ее $d = 0,20$ мкм, показатель преломления воздуха $n_0 \approx 1,0$, а стекла объектива $n_{ст} = 1,48$. Пленка предназначена для фотографирования в синем свете ($\lambda = 5,4 \cdot 10^{-7}$ м).

236. На тонкий стеклянный клин ($n = 1,52$) с углом $1'$ падает нормально к поверхности клина пучок монохроматического света длиной волны $\lambda = 0,591$ мкм. Сколько темных полос приходится на 1 см клина?

237. Мыльная пленка, расположенная вертикально, образует клин. Интерференция наблюдается в отраженном свете через красное стекло ($\lambda_k = 6,31 \cdot 10^{-5}$ см). Расстояние между соседними красными полосами при этом равно $\Delta x = 3,0$ мм. Затем эта же пленка наблюдается через синее стекло ($\lambda_c = 4,0 \cdot 10^{-5}$ см). Найти расстояние между соседними

синими полосами, если в обоих случаях свет падает нормально к поверхности пленки.

238. Воздушный клин образован двумя стеклянными пластинками, скрепленными под углом α . На клин нормально падает свет длиной волны $\lambda = 0,533$ мкм. В отраженном свете на поверхности клина видны интерференционные полосы. Ширина полосы $\Delta x = 2,0$ мм. Как изменится интерференционная картина, если пространство между пластинками заполнить водой? Чему будет равна ширина полосы? Показатели преломления воздуха, воды и стекла соответственно: $n_0 = 1,0$, $n_{\text{в}} = 1,33$, $n_{\text{ст}} = 1,87$.

239. На пути одного из интерферирующих лучей в опыте Юнга помещается стеклянная пластинка толщиной $d = 12$ мкм. Определить, на сколько полос сместится интерференционная картина, если показатель преломления стекла $n_{\text{ст}} = 1,5$, длина волны света $\lambda = 0,75$ мкм и свет падает на пластинку нормально.

240. В опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей помещалась тонкая стеклянная пластинка, вследствие чего центральная светлая полоса смещалась в положение, первоначально занятое пятой светлой полоской (не считая центральной). Луч падает на пластинку перпендикулярно. Показатель преломления пластинки $n = 1,5$. Толщина пластинки $d = 6,0$ мкм. Какова длина волны?

241. На круглое отверстие радиусом $d = 1,0$ мм в непрозрачном экране падает нормально параллельный пучок света с длиной волны $\lambda = 0,50$ мкм. На пути лучей, прошедших через отверстие, помещают экран. Определить максимальное расстояние от отверстия до экрана, при котором в центре дифракционной картины еще будет наблюдаться темное пятно.

242. Монохроматический свет ($\lambda = 0,50$ мкм) падает нормально на круглое отверстие диаметром $d = 1,0$ см. На каком расстоянии от отверстия должна находиться точка наблюдения, чтобы в отверстии помещалась одна зона Френеля, две зоны Френеля?

243. На щель шириной $a = 0,10$ мм нормально падает параллельный пучок света от монохроматического источника ($\lambda = 0,60$ мкм). Определить ширину центрального максимума в дифракционной картине, проектируемой при помощи линзы, находящейся непосредственно за щелью, на экран, отстоящий от линзы на расстоянии $L = 1,00$ м.

244. Какой должна быть ширина щели, чтобы первый дифракционный максимум наблюдался под углом $\varphi = 90^\circ$ при освещении: красным светом ($\lambda_1 = 0,760$ мкм), синим светом ($\lambda_2 = 0,440$ мкм)? Под каким углом наблюдается минимум для λ_1 и для λ_2 ?

245. На щель шириной $a = 0,10$ мм падает нормально параллельный пучок белого света ($0,40 \dots 0,80$ мкм). Найти ширину третьего максимума на экране, отстоящем от щели на расстояние $L = 2,00$ м.

246. На щель падает нормально параллельный пучок монохроматического света. Длина волны укладывается в щели 4 раза. Под каким углом будет наблюдаться второй дифракционный минимум интенсивности света?

247. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной гелием. На какую линию в спектре третьего порядка накладывается красная линия гелия ($\lambda = 6,7 \cdot 10^{-5}$ см) спектра второго порядка?

248. На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Красная линия ($\lambda = 6,3 \cdot 10^{-7}$ м) видна в спектре третьего порядка под углом $\varphi = 60^\circ$. Какая спектральная линия видна под этим же углом в спектре четвертого порядка? Чему равна постоянная дифракционной решетки?

249. Определить наибольший порядок дифракционного спектра для спектральной линии с длиной волны $\lambda = 0,405$ мкм при наблюдении с помощью решетки, имеющей 500 штрихов на 1 мм.

250. На дифракционную решетку, содержащую 400 штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,600$ мкм. Найти общее число главных дифракционных максимумов на экране, которые дает эта решетка.

251. Угол максимальной поляризации при отражении света от кристалла каменной соли равен $\varphi = 57^\circ$. Определить скорость распространения света в этом кристалле.

252. Предельный угол полного внутреннего отражения для некоторого вещества равен $\varphi = 45^\circ$. Чему равен угол полной поляризации для этого вещества?

253. Под каким углом к горизонту должно находиться Солнце, чтобы его лучи, отраженные от поверхности озера, были максимально поляризованы? Показатель преломления воды $n = 1,33$.

254. Чему равен показатель преломления стекла, если отраженный от него луч будет полностью поляризован при угле преломления $\beta = 30^\circ$?

255. Угол максимальной поляризации при отражении света от некоторого кристалла равен $\varphi = 60^\circ$. Определить угол полного внутреннего отражения для этого вещества.

256. Определить показатель преломления вещества, для которого угол полной поляризации отраженного луча равен углу полного внутреннего отражения.

257. Чему равен угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, прошедшего через них, уменьшилась в 4 раза? Поглощением света пренебречь.

258. Частично поляризованный свет рассматривается через поляризатор. При повороте анализатора на угол $\alpha = 45^\circ$ по отношению к положению, обеспечивающему максимальную яркость выходящего пуч-

ка, яркость света уменьшилась в 1,5 раза. Определить отношение естественной и поляризованной составляющей в падающем световом потоке.

259. Чему равен угол между главными плоскостями поляризаторов, если световой поток, выходящий из анализатора, составляет 25 % от светового потока, прошедшего через поляризатор?

260. Между двумя скрещенными поляризаторами поместили третий, плоскость главного сечения которого составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с первым поляризатором. Какая часть естественного света проходит через такую систему? Потери, связанные с поглощением света, отсутствуют.

261. Вычислить энергию, излучаемую с поверхности Солнца, площадью 1 м^2 за одну секунду, приняв температуру его поверхности 5800 К. Считать, что Солнце излучает как абсолютно черное тело.

262. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения черного тела, равна 580 нм. Определить энергетическую светимость (излучательность) поверхности тела.

263. Найти длины волн, соответствующие максимуму спектральной плотности излучения, и диапазон электромагнитного спектра, к которому они относятся, для следующих случаев: 1) $T = 3 \text{ К}$ (приближенное значение температуры реликтового излучения, заполняющего Вселенную); 2) $T = 5800 \text{ К}$ (температура поверхности Солнца); 3) $T = 310 \text{ К}$ (температура человеческого тела). Сравнить излучательные способности в этих случаях.

264. Температура поверхности звезды 12 000 К. Можно ли определить эту температуру по закону смещения Вина, если не пользоваться спектральными приборами космических спутников? Земная атмосфера поглощает все лучи с длиной волны короче 290 нм.

265. Температура абсолютно черного тела изменилась при нагревании от 1300 до 1700 К. Насколько изменилась при этом длина волны, на которую приходится максимум излучательной способности, и во сколько раз увеличилась максимальная излучательная способность?

266. Определить постоянную Планка h , если известно, что фотоэлектроны, вырываемые с поверхности металла светом с частотой $\nu_1 = 2,2 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$, полностью задерживаются потенциалом $U_1 = 6,6 \text{ В}$, а вырываемые светом с частотой $\nu_1 = 4,4 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$, – потенциалом $U_1 = 16,5 \text{ В}$.

267. При освещении катода светом с длинами волн сначала $\lambda_1 = 440 \text{ нм}$, а затем $\lambda_2 = 680 \text{ нм}$ обнаружили, что запирающее напряжение уменьшилось в 3,3 раза. Определить работу выхода электронов.

268. Определить максимальные длины световых волн, при которых еще возможен фотоэффект из платины и цезия, если работы выхода электронов из этих металлов соответственно равны $A_1 = 6,3 \text{ эВ}$, $A_2 = 1,88 \text{ эВ}$.

269. На поверхность металла падает свет с длиной волны $\lambda = 0,10 \text{ мкм}$. Красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 0,30 \text{ мкм}$. Какая доля энергии падающего фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?

270. На поверхность лития падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 3,100 \cdot 10^{-7} \text{ м}$. Определить работу выхода электронов из лития, если задерживающая разность потенциалов $U_3 = 1,7 \text{ В}$.

271. Найти длину волны де Бройля для электрона, летящего со скоростью $1,0 \cdot 10^8 \text{ см/с}$, и шарика массой $1,0 \text{ г}$, движущегося со скоростью $1,0 \text{ см/с}$. Нужно ли учитывать волновые свойства электрона и шарика при анализе их взаимодействия с кристаллом? Расстояние между атомами в кристалле принять равным $d = 0,70 \text{ нм}$. Масса покоя электрона $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$.

272. Какую энергию нужно сообщить электрону, чтобы его дебройлевская длина волны уменьшилась от $\lambda_1 = 100 \text{ нм}$ до $\lambda_1 = 50 \text{ нм}$?

273. Определить энергию и импульс электрона, имеющего длину волны де Бройля $\lambda = 0{,}10$ нм. Масса покоя электрона $m_0 = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг.

274. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов $U = 200$ В, имеет длину волны де Бройля, равную $\lambda = 0{,}0020$ нм. Найти массу этой частицы, если известно, что заряд ее численно равен заряду электрона.

275. Определить длину волны де Бройля для протона, кинетическая энергия которого равна энергии покоя электрона.

276. Свободный электрон в начальный момент времени локализован в области пространства с линейными размерами $\Delta x_0 = 0{,}1$ нм (порядок размера атома). Оценить область локализации Δx этого электрона спустя время $\Delta t = 1$ с.

277. Используя соотношение неопределенностей, оценить ширину Δl одномерной потенциальной ямы, в которой минимальная энергия электрона $E_{\min} = 10$ эВ.

278. Импульсный рубиновый лазер с выходной мощностью $N = 2{,}0$ ГВт создает импульс длительностью $\tau = 10$ нс. Оценить наибольшую точность $\Delta E/E$, с которой может быть определена энергия излучателя.

279. Время жизни τ возбужденного ядра порядка 1 нс, длина волны излучения $\lambda = 0{,}1$ нм. С какой наибольшей точностью $\Delta E/E$ может быть определена энергия излучения?

280. Радиолокатор посылает импульс длительностью τ . Расстояние до удаленного объекта должно быть измерено с точностью до $\Delta x = 800$ м. Чему должна быть равна длительность импульса и какова должна быть ширина полосы частот $\Delta \omega$, которую должен пропускать усилитель приемника?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблицы некоторых физических величин

1. Работа выхода электронов из металла

Металл	$A_{\text{вых}}, \text{эВ}$
Калий	2,2
Литий	2,4
Натрий	2,5
Цезий	1,9
Цинк	4,0
Рубидий	1,5
Платина	6,3

Примечание. $1 \text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

2. Заряд, масса и энергия покоя некоторых элементарных частиц и легких ядер

Частица	$m_0, \text{кг}$	$E_0, \text{МэВ}$	$q, \text{Кл}$
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,511	$1,6 \cdot 10^{-19}$
Протон	$1,67 \cdot 10^{-27}$	938	$1,6 \cdot 10^{-19}$
Нейтрон	$1,68 \cdot 10^{-27}$	939	0
α -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	3733	$3,2 \cdot 10^{-19}$

Кроме семинарских занятий студенты выполняют лабораторные работы. Методические указания к выполнению лабораторных работ студенты берут в библиотеке или в лабораториях в электронном виде на занятиях, или на сайте кафедры общей физики. Формы отчета работ приведены в лабораториях на стендах. Далее приводятся рекомендуемые таблицы измерений при выполнении лабораторных работ (студент вправе использовать и свои таблицы).

Лабораторная работа № 14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА МЕТОДОМ МАГНЕТРОНА

$R_a, \text{ м}$	$R_k, \text{ м}$	$U_a, \text{ В}$	$B_{кр}, \text{ Тл}$	$\text{tg } \alpha$	$\frac{e}{m}, \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$

Лабораторная работа № 23

СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

$C, \text{ Ф}$	Формула	$R, \text{ Ом}$	График	$\sqrt{C}, \text{ Ф}^{1/2}$
	$T, \text{ с}$		$T, \text{ с}$	
		0		

$C_1, \text{ Ф}$	$R, \text{ Ом}$	λ	$R_L + R_\Gamma, \text{ Ом}$	$R', \text{ Ом}$	$R_{кр}, \text{ Ом}$	$R_{кр}, \text{ Ом}$	Q

Лабораторная работа № 32

ДИФРАКЦИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Объект	n	$\Delta x_0, \text{ м}$	$x_n, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	k	$x_k, \text{ м}$	$d, 0^\circ, \text{ м}$	$d, 30^\circ, \text{ м}$	$d, 60^\circ, \text{ м}$	k	$x_k, \text{ м}$	$d, 0^\circ, \text{ м}$	$d, 30^\circ, \text{ м}$	$d, 60^\circ, \text{ м}$
Одночная щель	1													
Пластина с двумя щелями					1									

ФБ 1 (ТПШ)

<i>1 занятие</i>	<i>2 занятие</i>	<i>3 занятие</i>	<i>4 занятие</i>
Лабораторная работа № 14	Лабораторная работа № 23	Лабораторная работа № 32	Лабораторная работа ТК
Определение удельного заряда электрона методом магнетрона	Свободные электромагнитные колебания	Дифракция лазерного излучения	Дифракция микрочастиц (компьютерное моделирование)

Литература

- Электричество и магнетизм, Новосибирск 2002, № 2383 шифр 53 Э 454 (Л.р. № 14-теория)
- Электричество и магнетизм, Новосибирск 2008, № 3453 шифр 53 Э 454 (вопросы для защиты лабораторных работ. Л.р. № 14)
- Электричество и магнетизм, Новосибирск 2012, № 4215 шифр 53 Э 454 (вопросы для защиты лабораторных работ. Л.р. № 14)
- Колебания и волны, Новосибирск 2006, № 3247 шифр 53 Э 602 (Л.р. № 23)
- Колебания и волны, Новосибирск 2008, № 3584 шифр 53 К 602 (вопросы для защиты лабораторных работ (Л.р. № 23))
- Оптика, Новосибирск 2007, № 3446 шифр 53 О 627 (Л.р. № 32)
- Оптика, Новосибирск 2014, № 4341 шифр 53 О 627 (Л.р. № 32)
- Оптика, Новосибирск 2009, № 3739 шифр 53 О 627 (вопросы для защиты лабораторных работ (Л.р. № 32))

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

Семестр 2

1. Магнитное поле. Инвариантность электрического заряда. Электрическое поле в различных системах отсчета.
2. Взаимодействие движущихся зарядов. Магнитное поле движущегося заряда.
3. Закон Био–Савара–Лапласа.
4. Расчет магнитных полей на основе закона Био–Савара–Лапласа.
5. Сила Лоренца. Движение заряженной частицы в магнитном поле.
6. Закон Ампера.
7. Контур с током в магнитном поле.
8. Закон полного тока для магнитного поля в вакууме.
9. Применение теоремы о циркуляции вектора магнитной индукции B .
10. Работа перемещения проводника с током в постоянном магнитном поле.
11. Магнитные моменты электронов и атомов.
12. Диа- и парамагнетизм.
13. Намагниченность. Магнитное поле в веществе.
14. Ферромагнетики.
15. Закон Фарадея. Правило Ленца.
16. Индуктивность контура. Самоиндукция.
17. Взаимная индукция.
18. Энергия магнитного поля.
19. Первое уравнение Максвелла.
20. Ток смещения. Второе уравнение Максвелла.
21. Теорема Гаусса для магнитного поля. Третье и четвертое уравнения Максвелла.
22. Когерентность и монохроматичность световых волн.

23. Интерференция света от двух источников.
 24. Интерференция света от плоскопараллельной пластинки.
 25. Интерференция света от пластинки переменной толщины. Кольца Ньютона.
 26. Принцип Гюйгенса–Френеля. Метод зон Френеля.
 27. Дифракция Френеля на круглом отверстии и на диске.
 28. Дифракция Фраунгофера на одной щели.
 29. Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке.
 30. Дифракция рентгеновских лучей.
 31. Поляризация света. Естественный и поляризованный свет.
 32. Поляризация света при отражении и преломлении.
 33. Поляризация при двойном лучепреломлении.
 34. Поляризационные призмы. Анализ поляризованного света.
 35. Характеристики теплового излучения. Абсолютно черное тело.
- Закон Кирхгофа.
36. Законы Стефана–Больцмана, Вина. Формулы Рэлея–Джинса и Планка.
 37. Виды фотоэффекта. Законы внешнего фотоэффекта.
 38. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Фотоны.
 39. Эффект Комптона. Корпускулярно-волновые свойства электромагнитного излучения.
 40. Корпускулярно-волновой дуализм вещества. Свойства микрочастиц.
 41. Соотношение неопределенностей.
 42. Волновая функция и ее статистический смысл.
 43. Общее уравнение Шрёдингера. Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний.
 44. Движение свободной квантовой частицы.
 45. Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной яме» с бесконечно высокими «стенками».
 46. Прохождение частицы через «потенциальный барьер». Туннельный эффект.
 47. Гармонический осциллятор.
 48. Атом водорода по Бору.
 49. Атом водорода в квантовой механике.
 50. Волновые функции для электрона в атоме водорода. Спин электрона. Спиновое квантовое число.

51. Принцип неразличимости тождественных частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции.
52. Принцип Паули. Распределение электронов в атоме по состояниям.
53. Электронные состояния в многоэлектронных атомах.
54. Химические связи.
55. Энергия молекулы. Молекулярные спектры.
56. Лазеры.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Листы Опорного Сигнала (ЛОС) (продолжение)

VIII. Магнитные явления

1. **Магнитное поле** — особая материя, возникающая вокруг любых движущихся электрических зарядов (токов).
действующая магнитными силами на движущиеся заряды (токи).

Сила Лоренца — сила, действующая со стороны магнитного поля на отдельные движущиеся заряды

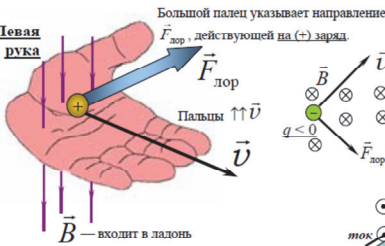
$$F_{\text{Лор}} = |q| v B \cdot \sin \alpha$$

α — угол между \vec{v} и \vec{B}

модуль вектора \vec{B} — вектора магнитной индукции

$$\vec{F}_{\text{Лор}} \perp \vec{v}, \vec{F}_{\text{Лор}} \perp \vec{B}$$

Левая рука



Если заряд летит параллельно \vec{B} , то $\vec{F}_{\text{Лор}} = 0$

Единица измерения магнитной индукции в СИ: 1Тл
1Тл = 1Н·с/(Кл·м) — индукция такого магнитного поля, в котором на единицу заряда, движущегося со скоростью 1м/с действует максимальная сила Лоренца 1Н. (Сила максимальна при $\alpha = 90^\circ$)

Сила Ампера — сила, действующая со стороны магнитного поля на провод с током

$$F_A = I l B \cdot \sin \alpha$$

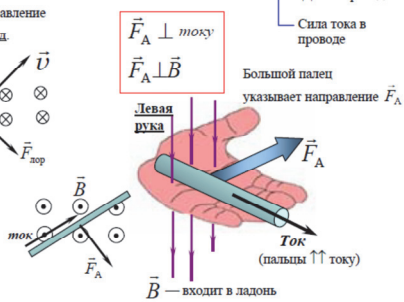
α — угол между током и \vec{B}

Провод **прямолинейный**, находится в **однородном магнитном поле**.

Длина провода

Сила тока в проводе

Левая рука



Если провод с током параллелен \vec{B} , то $\vec{F}_A = 0$

1Тл = 1Н/(А·м) — индукция такого однородного магнитного поля, в котором на прямой провод длиной 1 м с током силой 1А действует максимальная сила Ампера 1Н. (Сила максимальна при $\alpha = 90^\circ$)

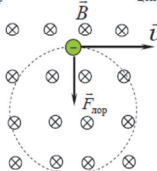
2. Движение зарядов в магнитном поле

2.1 Если скорость заряда $\vec{v} \perp \vec{B}$, то его траектория — **окружность**.

По II закону Ньютона: $m\vec{a} = \vec{F}_{\text{Лор}}$ (массы частиц обычно так малы, что силой тяжести можно пренебречь по сравнению с $F_{\text{Лор}}$)

$$\vec{F}_{\text{Лор}} \perp \vec{v} \Rightarrow \vec{a} \perp \vec{v} \Rightarrow a = a_{\text{центр}} = v^2/R$$

— центростремительное ускорение.



Радиус **окружности** по которой движется частица массой m , зарядом q в однородном магнитном поле индукцией B .

$$R = \frac{mv}{|q|B}$$

$$m \frac{v^2}{R} = |q|vB \cdot \sin 90^\circ$$

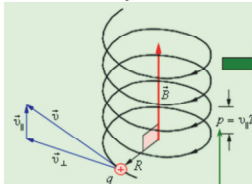
$$T = \frac{s}{v} = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

Период обращения частицы массой m , зарядом q в однородном магнитном поле индукцией B

$$T = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

! не зависит от скорости!

2.2 Если скорость заряда \vec{v} образует с \vec{B} произвольный угол (не равный $90^\circ, 0^\circ, 180^\circ$), то его траектория — **спираль**.



Скорость частицы v представляют как сумму двух векторов v_\perp и v_\parallel (перпендикулярная и параллельная \vec{B} составляющие скорости). В системе отсчета K' , движущейся со скоростью v_\parallel , частица будет иметь скорость v_\perp и двигаться по окружности радиуса $R = \frac{mv_\perp}{|q|B}$ (п. 2.1). К этому

вращению добавляется поступательное движение K' -системы в результате получается движение по спирали (см. рис.)

Шаг **спирали** — расстояние, на которое смещается частица вдоль направления \vec{B} за один полный оборот, т. е. за время $T = \frac{2\pi m}{|q|B}$

3. Рамка с током в магнитном поле

Силы Ампера разворачивают рамку с током так, что создаваемое внутри рамки собственное магнитное поле $\vec{B}_{\text{собст}}$ оказывается сопранвлено с внешним магнитным полем. (Поле $\vec{B}_{\text{собст}}$ создает ток, текущий в рамке).

Вращающий момент, действующий на рамку в произвольном положении равен:

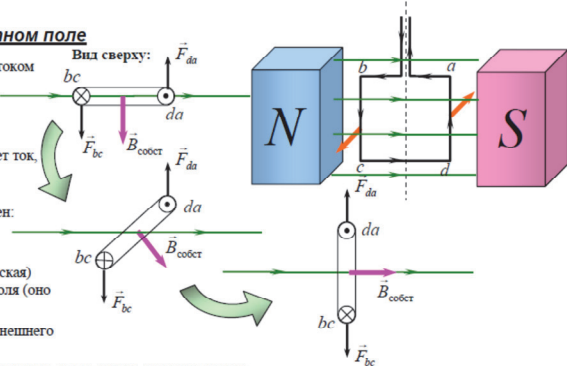
$$M = ISB \sin \alpha$$

I — сила тока в рамке

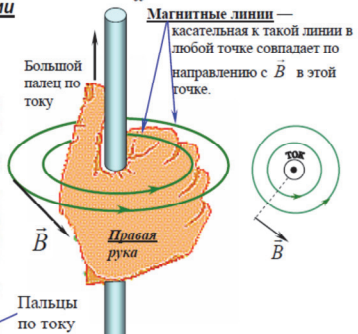
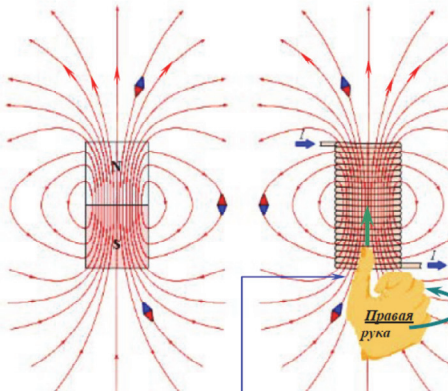
S — площадь внутри рамки (рамка плоская)

B — индукция внешнего магнитного поля (оно должно быть однородно)

α — угол между вектором индукции внешнего поля и перпендикуляром к

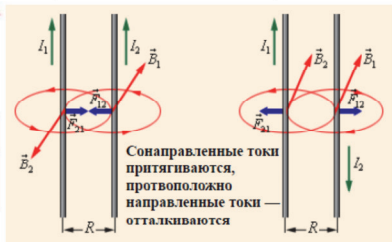


4. Магнитные поля, создаваемые различными токами



Большой палец указывает направление \vec{B} в центре катушки

5. Взаимодействие токов



6. Явление электромагнитной индукции

Если в замкнутом проводящем контуре изменяется магнитный поток, то это приводит к появлению в этом контуре ЭДС (ЭДС индукции).

Единица измерения магнитного потока в СИ: $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тлм}^2$

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\Phi'(t)$$

Если Φ меняется равномерно

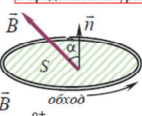
$$\mathcal{E}_i = v \cdot l \cdot B$$

$$W_{\text{кат}} = \frac{LI^2}{2}$$

Энергия магнитного поля катушки индуктивности L , по которой течет ток I .

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Контур плоский, поле \vec{B} однородно в пределах контура.



7. Явление самоиндукции

— возникновение ЭДС в контуре вследствие изменения собственного магнитного потока через этот контур.

$$\Phi_{\text{собст}} = LI$$

Индуктивность контура — коэффициент пропорциональности между силой тока в контуре и собственным магнитным потоком.

$\Phi_{\text{собст}}$ — магнитный поток, создаваемый магнитным полем, которое породил ток, текущий в контуре.

$$\mathcal{E}_{\text{сам}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Если I меняется равномерно

$$\mathcal{E}_{\text{сам}} = -L \frac{dI}{dt} = -LI'(t)$$

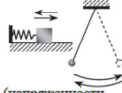
ЭДС самоиндукции

IX. Колебания и волны

1. Колебаниями называется точное или приближенное повторение какого-либо процесса с течением времени (обычно повторение бывает многократным).

В зависимости от физической природы повторяющегося процесса различают:

- а) **Механические колебания** — повторяющийся процесс представляет собой механическое движение.
- б) **Электромагнитные колебания** — повторяющийся процесс представляет собой изменение силы тока, напряжения, заряда конденсатора в электрической цепи, вектора \vec{E} (напряженности электрического поля), вектора \vec{B} (индукции магнитного поля).
- в) **Другие колебания** — повторяться могут и другие процессы, например, изменение температуры и пр.



Колеблющимися величинами называются физические величины, описывающие процесс, повторяющийся при колебаниях, (или систему, с которой этот процесс происходит) и сами испытывающие повторяющиеся изменения. В механических колебаниях колеблющимися величинами могут быть: координата, скорость, ускорение и другие величины, описывающие механическое движение.

В электромагнитных колебаниях колеблющимися величинами могут быть: сила тока, напряжение, заряд конденсатора, \vec{E} , \vec{B} и другие величины, описывающие электрический ток и электромагнитное поле.

Периодическими называются колебания, при которых происходит точное повторение процесса через равные промежутки времени.

Периодом периодических колебаний называется минимальное время, через которое система возвращается в первоначальное состояние и начинается повторение процесса.

Процесс, происходящий за один период колебаний, называется «одно полное колебание».

Частотой периодических колебаний называется число полных колебаний за единицу времени (1 секунду) — это может быть не целое число.



$$\nu = \frac{1}{T}$$

Период — время одного полного колебания.

Чтобы вычислить частоту ν , надо разделить 1 секунду на время T одного колебания (в секундах) и получить число колебаний за 1 секунду.

2. Гармоническими колебаниями называются колебания, в которых колеблющиеся величины зависят от времени по закону синуса, или косинуса.

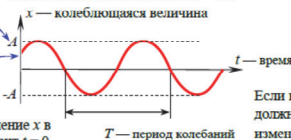
Колеблющаяся величина (координата точки, сила тока, напряженность поля, или иная величина)

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

Начальная фаза — значение фазы φ в момент $t = 0$.
Изменяя значение φ_0 , можно получать различные значения x в момент $t = 0$.

Амплитуда колебаний — максимальное отклонение колеблющейся величины от среднего за период значения.

Если среднее за период значение колеблющейся величины равно 0, то амплитуда равна максимальному значению колеблющейся величины: $A = x_{\text{m}}$



Значение x в момент $t = 0$ определяется величиной φ_0 .

Фаза колебаний — аргумент функции синус или косинус в уравнении зависимости колеблющейся величины от времени.

$$\varphi = \omega t + \varphi_0$$

Циклическая частота колебаний — скорость изменения фазы с течением времени

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

Изменение фазы, произошедшее за время Δt .

Если время Δt равно периоду колебаний T , то изменение фазы $\Delta\varphi$ за это время (T) должно быть равно 2π (т. к. функции \sin и \cos повторяют свои значения при изменении аргумента (φ) на 2π , а через время T значение колеблющейся величины как раз должно повториться).

Таким образом, при $\Delta t = T$ будет $\Delta\varphi = 2\pi \Rightarrow \omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T}$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

подставлено $1/T = \nu$

Если колебания гармонические,

т. е. колеблющаяся величина x равна $x = A \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$, то вторая производная колеблющейся величины по времени x'' будет пропорциональна самой колеблющейся величине (x):

$$x'(t) = -\omega A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$x''(t) = -\omega^2 \cdot x$$

$$x''(t) = -\omega^2 A \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x$$

Если x — координата точки, движущейся вдоль оси Ox , то:
 $x'(t) = v_x$ — проекция скорости $\Rightarrow v_{\text{max}} = \omega A$ — максимальная скорость.
 $x''(t) = a_x$ — проекция ускорения $\Rightarrow a_{\text{max}} = \omega^2 A$ — максимальное ускорение.

Это уравнение называется **дифференциальным уравнением гармонических колебаний**. Если какая-либо физическая величина x подчиняется уравнению такого вида, то можно утверждать, что она зависит от времени по гармоническому закону (\sin и \cos), а процесс, который описывает величина x , представляет собой гармонические колебания.

3. Простейшие колебательные системы

Пружинный маятник

Период свободных колебаний: $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

Жесткость пружины: k

Масса колеблющегося груза: m

в отсутствие трения: $\frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \text{const} = \frac{kA^2}{2} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$

$x = \Delta l$ — удлинение пружины
 $A = x_{\text{max}} = \Delta l_{\text{max}}$ — амплитуда колебаний (максимальное удлинение пружины)
 v_{max} — максимальная скорость груза

$x = x_m \sin \omega t$
 $x_{m0} \omega = v_{\text{max}}$
 $x = x_m \cos \omega t$
 $v = v_{\text{max}}$ в момент, когда $x = 0$
 $x = \pm A$ в момент, когда $v = 0$

Математический маятник

Период свободных колебаний: $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

Длина нити: l

Ускорение свободного падения — ускорение, создаваемое силой тяжести

Если кроме силы тяжести на маятник действуют другие постоянные активные силы, то вместо g в формулу подставляют модуль ускорения, создаваемого суммой всех активных сил:

$$\ddot{a}_{\text{акт}} = \frac{\sum \vec{F}_{\text{акт}}}{m}$$
 (активными называются силы, имеющие ненулевой вращающий момент относительно точки подвеса маятника)

Маятник в лифте:

$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g + a_{\text{лифта}}}}$ если $\ddot{a}_{\text{лифта}}$ — вверх

$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g - a_{\text{лифта}}}}$ если $\ddot{a}_{\text{лифта}}$ — вниз

Колебательный контур

Период свободных колебаний электромагнитных колебаний: $T = 2\pi \sqrt{LC}$

Индуктивность катушки: L

Емкость конденсатора: C

Электростатическая энергия: $W_{\text{конд}}^{\text{эл}} = \frac{q^2}{2C}$

Магнитная энергия: $W_{\text{катуш}}^{\text{маг}} = \frac{LI^2}{2}$

$W_{\text{конд}}^{\text{эл}} + W_{\text{катуш}}^{\text{маг}} = \text{const} = \frac{q_{\text{max}}^2}{2C}$

$\frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \text{const} = \frac{CU_{\text{max}}^2}{2} = \frac{LI_{\text{max}}^2}{2}$

$q^2 U$ — напряжение на конденсаторе q -его заряд
 I — сила тока в катушке
 $q_{\text{max}}, U_{\text{max}}$ и I_{max} — максимальные (амплитудные) значения заряда, напряжения и силы тока.

$I = \pm I_{\text{max}}$ в момент, когда $q = 0$
 $q = \pm q_{\text{max}}$ в момент, когда $I = 0$

4. Волна — распространение колебательного процесса в пространстве с течением времени. (Если в какой-то области пространства происходит колебательный процесс, то это может породить аналогичные колебания в соседних областях пространства.

Например, если какая-либо точка упругой среды совершает механические колебания, то при этом она, как правило, заставляет колебаться соседние, прилегающие к ней точки среды. То, в свою очередь, передатывает колебательное движение следующим точкам и т. д.

Пример: на гладкой горизонтальной поверхности лежит шпур и в некоторый момент его крайнюю точку a начинают двигать вдоль оси Ox по закону $x = A \sin \omega t$

ВИД СВЕРХУ:

Точка a начинает двигаться, при этом ее скорость меняется по закону $v_x = x' = A\omega \cos \omega t$, так что в момент $t = 0$ скорость максимальна $v_m = A\omega$.
 К моменту $t = T/4$ точка a смещается в положение $x = A$. Соседние точки шпура движутся за ней, повторяют ее движение, заставляя двигаться следующие точки. В момент $t = T/4$ волна дошла до точки b и она начала двигаться (ее состояние в момент $t = T/4$ совпадает с состоянием точки a в момент $t = 0$). В дальнейшем все новые и новые точки будут вовлекаться в колебательное движение, аналогичное движению источника — точка a .

Таким образом, в колебательный процесс вовлекаются все новые и новые области пространства. Другой пример — электромагнитные колебания. Если в какой-то точке пространства (эту точку назовем источником) происходят колебания индукции магнитного поля \vec{B} , то это порождает в окружающем пространстве колебания напряженности электрического поля \vec{E} , которые, в свою очередь, порождают новые колебания \vec{B} и т. д. Электромагнитные колебания распространяются от источника, т. е. начинают происходить во все новых и новых областях пространства)

Фронт волны — поверхность отделяющая область пространства, в которой уже начались колебания, от области, где колебания еще не происходят. Фронт волны перемещается по мере распространения волны. (В рассмотренном примере со шпуром фронтом волны в момент $t = T/4$ является точка b , в момент $t = T/2$ — точка c , и т. д.)

Скорость распространения волны ($v_{\text{волн}}$) — скорость движения волнового фронта, а также любой другой поверхности постоянной фазы (любого «горба» волны, или «впадины»).

Механическая волна называется **поперечной**, если направление движения колеблющихся точек к ней перпендикулярно направлению $\vec{v}_{\text{волн}}$. Если же колеблющиеся точки движутся параллельно $\vec{v}_{\text{волн}}$, то волна называется **продольной**. (Рассмотренная в примере волна в шпуре — поперечная, а звук — продольная волна.) Электромагнитные волны являются поперечными, т. к.

перпендикулярно направлению $\vec{v}_{\text{волн}}$.
 направление колеблющихся векторов \vec{E} и \vec{B} в этих волнах перпендикулярно $\vec{v}_{\text{волн}}$.

$x(r, t) = A \cdot \cos(\omega t - (2\pi/\lambda)r + \phi_0)$

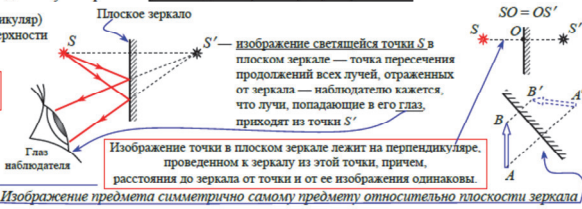
λ — расстояние до источника

Длина волны (λ) — минимальное расстояние между точками, колебания в которых происходят с разностью фаз 2π . (При такой разности фаз колеблющиеся величины в этих точках имеют одно и то же значение, так что λ — расстояние между соседними «горбами», или соседними «впадинами» волны)

$\lambda = v_{\text{волн}} \cdot T = v_{\text{волн}} / \nu$

Х. Оптика

1. Закон отражения Луч падающий и луч отраженный лежат в одной плоскости с нормалью, проведенной к отражающей поверхности в точке падения луча. При этом **угол падения равен углу отражения**.



2. Закон преломления

При переходе из одной прозрачной среды в другую световой луч частично отражается от границы раздела сред, а частично проходит в следующую среду, причем, в новой среде направление луча может измениться. Такой луч, изменивший свое направление при переходе в новую среду, называется **ПРЕЛОМЛЕННЫМ** лучом.



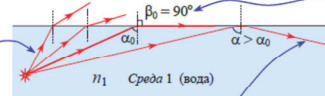
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} = \frac{v_{\text{света 1}}}{v_{\text{света 2}}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Абсолютный показатель преломления второй среды
 Абсолютный показатель преломления первой среды
 Абсолютный показатель преломления — показатель преломления среды относительно вакуума:
 $n_{\text{среды}} = \frac{c}{v_{\text{света в среде}}}$
 Скорость света в вакууме $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
 $v_{\text{света в воздухе}} \approx c$, т.е. $n_{\text{воздуха}} \approx 1$

$n_2 > n_1$; $\alpha > \beta$ Среда 1 (воздух) n_1 Среда 2 (вода) n_2 При переходе луча в оптически более плотную среду ($n_2 > n_1$) луч приближается к нормали	$n_2 < n_1$; $\alpha < \beta$ Среда 1 (стекло) n_1 Среда 2 (воздух) n_2 При переходе луча в оптически менее плотную среду ($n_2 < n_1$) луч отдаляется от нормали
--	---

Относительный показатель преломления (показатель преломления второй среды относительно первой)

При переходе луча в оптически менее плотную среду ($n_2 < n_1$) может произойти **ПОЛНОЕ ОТРАЖЕНИЕ** луча от границы раздела сред, если угол падения слишком велик: $\alpha \geq \alpha_0$
 Среда 2 (воздух) $n_2 < n_1 \Rightarrow \alpha < \beta$
 α_0 — **угол полного внутреннего отражения** при угле падения $\alpha = \alpha_0$ угол преломления $\beta_0 = 90^\circ \Rightarrow \sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$



При углах падения меньших, чем α_0 , луч отражается от границы раздела сред лишь частично (с ростом α доля отраженной энергии растет)
 При $\alpha \geq \alpha_0$ луч полностью отражается от границы раздела сред и не выходит во вторую среду

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}$$

если луч выходит в воздух или вакуум из среды с показателем преломления n

$$n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2 = \dots = \text{const}$$

проведение показателя преломления среды на синус угла между лучом и нормалью в этой среде остается неизменным при переходе из одной среды в другую

4. Линза — прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями.

Линза считается **тонкой**, если ее толщина AB мала по сравнению с радиусами R_1 и R_2 сферических поверхностей, ограничивающих линзу, а также по сравнению с расстояниями d и f от линзы до предмета и от линзы до изображения.

Линза называется **собирающей**, если лучи, падающие на нее параллельно друг другу, после преломления сходятся.
 Линза называется **рассеивающей**, если лучи, падающие на нее параллельно друг другу, после преломления расходятся.

Фокусом линзы называется точка, в которой после преломления пересекаются лучи, упавшие на линзу параллельно ее главной оптической оси (или продолжения преломленных лучей, если линза рассеивающая).

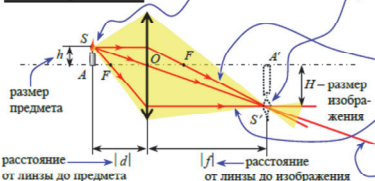
Оптическая сила линзы измеряется в **диоптриях**.
 $1 \text{ дптр} = 1/\text{м} = 1\text{м}^{-1}$

$$D = \frac{1}{F} = \left(\frac{n_{\text{линзы}}}{n_{\text{среды}}} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{\pm R_1} + \frac{1}{\pm R_2} \right)$$



5. Изображение

точки S в линзе — это такая точка S' , в которой лучи, вышедшие из точки S , пересекаются после преломления в линзе.



Чтобы построить изображение S' точки S , надо знать ход двух лучей, вышедших из S и преломленных в линзе (где пересекутся эти лучи, там пересекутся и все остальные). Всегда известен ход следующих лучей:
 луч, падающий на линзу параллельно главной оптической оси преломившись, проходит через фокус (если линза собирающая) или идет так, что его продолжение проходит через фокус (если линза рассеивающая)
 луч, падающий на собирающую линзу, по прямой, проходящий через фокус (луч, падающий на рассеивающую линзу вдоль прямой, проходящий через фокус, расположенный с другой стороны линзы) преломившись, идет параллельно главной оптической оси
 луч, проходящий через оптический центр тонкой линзы, после преломления практически не отклоняется от прямой, вдоль которой он упал на линзу. Если показатели преломления среды одинаковы с обеих сторон линзы, то оптический центр (точка O на рисунке) — пересечение главной оптической оси с плоскостью тонкой линзы.

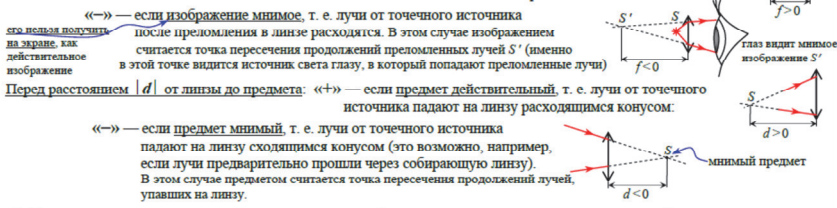
$$\frac{1}{\pm d} + \frac{1}{\pm f} = \frac{1}{\pm d'}$$

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$$

Формула тонкой линзы **Линейное (поперечное) увеличение** — отношение размера изображения (H) к размеру предмета (h), Расстановка знаков в формуле тонкой линзы когда предмет — отрезок, перпендикулярный главной оптической оси.

Перед фокусным расстоянием $|F|$: «+» — если линза собирающая, «-» — если линза рассеивающая

Перед расстоянием $|d|$ от линзы до изображения: «+» — если изображение действительное, т. е. лучи от точечного источника после преломления в линзе сходятся, «-» — если изображение мнимое, т. е. лучи от точечного источника после преломления в линзе расходятся.

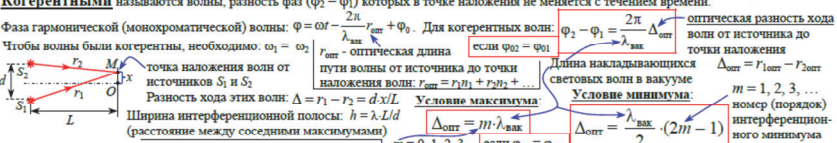


6. Возможные случаи расположения предмета:

- 6.1. $d \rightarrow \infty$ (т. е. $d \gg |F|$) В этом случае лучи от точечного источника идут практически параллельно друг другу. $f = F$ — изображение точечного источника находится в фокальной плоскости.
- 6.2. $d \in (2F; \infty)$ Изображение: действительное ($f > 0$), перевернутое, уменьшенное ($|d| > |f| \Rightarrow \Gamma < 1$) (фотография)
- 6.3. $d = 2F; f = 2F$ Изображение: действительное ($f > 0$), перевернутое, увеличенное ($|d| < |f| \Rightarrow \Gamma > 1$) (кино, диафильм)
- 6.4. $d \in (F; 2F)$ Изображение: действительное ($f > 0$), перевернутое, увеличенное ($|d| < |f| \Rightarrow \Gamma > 1$) (кино, диафильм)
- 6.5. $d = F; f \rightarrow \infty$ — лучи от источника, лежащего в фокальной плоскости, преломившись, идут параллельно.
- 6.6. $d \in (0; F)$ Изображение: мнимое ($f < 0$), прямое, увеличенное ($|d| < |f| \Rightarrow \Gamma > 1$) (лупа)
- 6.7. Рассеивающая линза: Изображение: мнимое ($f < 0$), прямое, уменьшенное ($|d| > |f| \Rightarrow \Gamma < 1$)

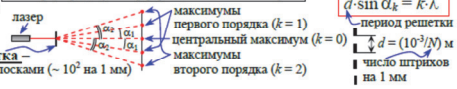
7. Интерференция

— наложение волн, при котором эти волны в одних точках усиливают друг друга, а в других — ослабляют друг друга, так, что интенсивность результирующей волны не равна сумме интенсивностей складывающихся волн ($I \neq I_1 + I_2$) Наблюдать интерференцию можно только при наложении когерентных волн.



8. Дифракция

— отклонение от прямолинейного распространения волн при огибании препятствий (прохождение отверстий). В результате дифракции света возникает картина чередования светлых и темных полос, причем свет может попасть в зону геометрической тени. Дифракционная решетка — пластина с чередующимися прозрачными и непрозрачными полосками ($\sim 10^3$ на 1 мм)



ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Контроль самостоятельной работы студента	4
Критерии оценки при выполнении контрольной работы (тест)	5
Критерии оценки работы студента на практическом занятии	5
Критерии оценки при выполнении лабораторных работ	6
Критерии оценки при выполнении расчетно-графического задания	6
Критерии оценки при сдаче экзамена по билетам	8
Обозначения физических величин, используемых в рабочей тетради, и единицы их измерения.	9
Формулы по разделу «Электромагнетизм. Колебания. Волны. Волновая оптика. Квантовая физика»	12
Уравнение Шрёдингера. Одномерный бесконечно глубокий потенциальный ящик. Потенциальный барьер. Атом водорода. Молекулы	27
Квантовые числа	30
Порядок решения задач	34
Конспекты семинарских занятий, заполняются студентами вместе с преподавателем на занятиях	35
Содержание РГЗ по физике, 2 семестр	127

Задачи.....	128
Приложение.....	140
Вопросы к экзамену.....	145
Приложения.....	148

ФИЗИКА

ЧАСТЬ 2

Рабочая тетрадь

Выпускающий редактор *И.П. Брованова*

Корректор *И.Е. Семенова*

Компьютерная верстка *Л.А. Веселовская*

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции

Издание соответствует коду 95 3000 ОК 005-93 (ОКП)

Подписано в печать 30.11.2017. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Тираж 50 экз.

Уч.-изд. л. 36,27. Печ. л. 19,5. Изд. № 247. Заказ № 1512. Цена договорная

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20