

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор ИХФ РАН

академик

А.А.Берлин

2015 г.



**ПРОГРАММА  
ПО КУРСУ ОБЩАЯ ФИЗИКА  
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В АСПИРАНТУРУ ИХФ РАН**

МОСКВА - 2015

## ЧАСТЬ I. Механика.

Предмет физики. Физика – наиболее фундаментальная наука о природе. Физика как часть общечеловеческой культуры. Методы физических исследований. Физика как культура моделирования. Место физики среди других дисциплин. Физика и математика. Физика и естествознание. Философия и физика. Важнейшие этапы истории физики. Компьютеры в современной физике.

Роль измерений в физике. Единицы измерений и системы единиц. Международная система единиц СИ.

Предмет механики. Кинематика и динамика. Описание состояния в классической механике. Механика релятивистская. Механика квантовая.

Кинематика материальной точки. Материальная точка (частица). Кинематическое описание движения. Система отсчёта и система координат. Степени свободы и обобщённые координаты. Скорость и ускорение материальной точки. Движение точки по окружности. Угловая скорость и угловое ускорение. Поступательное и вращательное движения абсолютно твёрдого тела. Вектор угловой скорости. Нормальное, тангенциальное и полное ускорение. Движение точки вдоль плоской кривой. Радиус кривизны траектории.

Динамика частицы. Понятие состояния в классической механике. Основная задача динамики. Первый закон Ньютона. Инерциальные и неинерциальные системы отсчёта. Импульс частицы. Закон сохранения импульса как фундаментальный закон природы. Уравнение движения. Масса частицы. Сила. Второй закон Ньютона.

Динамика системы частиц. Закон сохранения импульса и третий закон Ньютона. Центр масс системы частиц. Закон движения центра масс. Система центра масс. Приведённая масса. Реактивное движение.

Работа и энергия. Работа силы. Мощность. Кинетическая энергия. Связь между кинетическими энергиями в различных системах отсчёта. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия. Закон сохранения энергии в механике. Силы трения.

Упругое и неупругое столкновения частиц. Порог реакции.

Момент импульса. Момент импульса материальной точки относительно центра и оси. Момент силы. Закон сохранения момента силы для системы частиц.

Закон всемирного тяготения. Финитные и инфинитные движения. Движение планет. Законы Кеплера. Космические скорости.

Вращение твёрдого тела. Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной оси. Момент инерции. Кинетическая энергия вращающегося тела. Мгновенная ось вращения. Уравнение движения твёрдого тела. Качение. Физический маятник.

Элементарная теория гироскопа. Главные оси инерции. Свободное вращение симметричного волчка. Гироскоп.

Неинерциальные системы отсчёта. Второй закон Ньютона в неинерциальной системе отсчёта. Силы инерции. Относительное переносное и кориолисово ускорения. Центробежная и кориолисова силы. Маятник Фуко.

Механические колебания. Гармонический осциллятор: свободные и затухающие колебания. Декремент затухания, добротность. Фазовая плоскость.

Возбуждение осциллятора синусоидальной силой. Амплитуда и фаза при вынужденных колебаниях. Резонансные кривые. Параметрические колебания. Автоколебания. Осциллятор как спектральный прибор. Физический смысл спектрального разложения. Сложение колебаний.

Элементы теории упругости. Растяжение, сдвиг. Упругие и пластические деформации. Закон Гука. Модули упругости. Коэффициент Пуассона. Упругая энергия деформации.

Скорость распространения упругих возмущений. Волновые процессы: бегущие и стоячие волны.

Эффект Допплера.

Элементы гидродинамики. Линии тока, стационарное и нестационарное течение жидкости и газа. Уравнение Бернулли. Формула Торичелли. Силы вязкости и формула Пуазейля. Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса. Образование подъемной силы при обтекании крыла. Эффект Магнуса.

Релятивистская кинематика. Принцип относительности Эйнштейна. Инварианты преобразования Лоренца. Относительность понятия одновременности. Сокращение длины и замедление времени. Интервал.

Динамика релятивистской частицы. Импульс релятивистской частицы. Уравнение движения релятивистской частицы. Кинетическая энергия релятивистской частицы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1. Механика.- М.: Наука, 1989.
2. Кингсеп А.С., Локшин Г.Р., Ольхов О.А. Основы физики. Курс общей физики. Том 1. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика. – М.: Физматлит, 2001.
3. Стрелкос С.П. Механика. – М.: Наука, 1975.
4. Хайкин С.Э. Физические основы механики. – М.: Наука, 1971.
5. Киттель Ч., Найт У., Рудерман М. Механика. – М., Наука 1983.
6. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 1, 2. – М.: Мир, 1977.
7. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лившиц Е.М. Курс общей физики. Механика и физика. – М., Наука, 1965.

## ЧАСТЬ II. Термодинамика и молекулярная физика.

Основные понятия молекулярной физики: предмет исследования, его характерные особенности. Задачи молекулярной физики. Макроскопические параметры. Агрегатные состояния вещества. Уравнение состояния. Идеальный и неидеальный газы.

Элементы статистической физики идеальных систем. Динамические и статистические закономерности. Макроскопические и микроскопические состояния. Случайные события и вероятность. Дискретные и непрерывные распределения. Плотность распределения. Средние величины и дисперсия.

Распределение Максвелла. Распределение частиц по компонентам скорости и абсолютным значениям скорости. Давление. Распределение Больцмана. Барометрическая формула. Распределение Гиббса и его свойства.

Флуктуации. Флуктуации термодинамических величин. Влияние флуктуаций на чувствительность измерительных приборов.

Теплоёмкость. Закон равномерного распределения энергии теплового движения по степеням свободы. Классическая теория теплоёмкостей. Элементы квантовой теории теплоёмкостей. Теплоёмкость твёрдых тел.

Элементы физической кинетики. Основные понятия физической кинетики. Время релаксации. Столкновения. Эффективное газокинетическое сечение. Длина свободного пробега. Явления переноса: вязкость, теплопроводность и диффузия. Коэффициенты вязкости, теплопроводности и диффузии в газах. Броуновское движение. Подвижность. Формула Эйнштейна. Явления переноса в разреженных газах. Эффузия. Вакуум: его получение и измерение.

Диффузия в твёрдых телах.

Законы термодинамики. Элементы термодинамики. Квазистатические процессы. Работа, теплота и внутренняя энергия. Первое начало термодинамики. Адиабатический и политропический процессы. Скорость звука в газах. Энтальпия.

Второе начало термодинамики. Цикл Карно. Тепловые и холодильные машины. Обратимые и необратимые процессы.

Третье начало термодинамики.

Термодинамическое и статистическое определения энтропии. Аддитивность энтропии. Закон возрастания энтропии.

Статистическая сумма и внутренняя энергия. Определение температуры.

Термодинамические функции. Свойства термодинамических функций. Приёмы преобразования термодинамических величин.

Реальные газы. Изотермы Ван-дер-Ваальса.

Фазовые превращения. Фазовые переходы I и II рода. Условия равновесия фаз. Химический потенциал. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Кривые фазового равновесия. Тройная точка. Критическая точка. Эффекты перегрева и охлаждения.

Получение низких температур. Адиабатическое расширение. Дросселирование.

Поверхностные явления. Термодинамика поверхностного натяжения. Краевые углы. Смачивание и несмачивание. Формула Лапласа.

Зависимость давления пара от кривизны поверхности жидкости. Роль зародышей при образовании новой фазы. Кипение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. II. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Наука, 1975.
2. Щеголев И.Ф. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. – М.: Янус, 1996.
3. Рейф Ф. Статистическая физика (Берклевский курс физики). Т.5. – М.: Наука, 1972.

4. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лившиц Е.М. Курс общей физики. – М., Наука, 1965.
5. Белонучкин В.Е., Заикин Д.А., Ципенюк Ю.М. Основы физики. Курс общей физики. Т.2. Квантовая и статистическая физика. Под редакцией Ю.М. Ципенюка. М.: Физматлит, 2001.
6. Фейнман Р.П., Лейтон Р., Сэндрс Н. Фейнмановские лекции по физике. Вып.4. – М.: Мир, 1965.

### ЧАСТЬ III. Электричество и магнетизм.

Электрические заряды и электрическое поле. Напряжённость электрического поля. Закон Кулона. Принцип суперпозиции. Теорема Гаусса для электрического поля в вакууме. Потенциальный характер электрического поля. Потенциал и разность потенциалов. Связь напряжённости поля с градиентом потенциала. Граничные условия на заряженной поверхности. Дифференциальная форма теоремы Гаусса.

Электрическое поле в веществе. Проводники в электрическом поле. Поляризация диэлектриков. Классические представления о поляризации диэлектриков. Вектор поляризации. Свободные и связанные заряды. Теорема Гаусса при наличии диэлектриков. Вектор электрической индукции. Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость. Граничные условия на границе двух диэлектриков.

Электрическая ёмкость. Конденсаторы. Энергия электрического поля и её локализация в пространстве. Энергетический метод вычисления сил в электрическом поле.

Постоянный ток. Сила и плотность тока. Закон Ома. Электродвижущая сила. Правила Кирхгофа. Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля-Ленца.

Магнитное поле постоянных токов в вакууме. Вектор магнитной индукции. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Магнитный момент тока. Закон Био-Савара. Магнитное поле равномерно движущегося точечного заряда. Теорема о циркуляции для магнитного поля в вакууме и её применение к расчёту магнитных полей. Дифференциальная форма теоремы о циркуляции. Соленоидальный характер магнитного поля. Векторный потенциал.

Магнитное поле в веществе. Магнитная индукция и напряжённость поля. Вектор намагниченности. Токи проводимости и молекулярные токи. Теорема о циркуляции для магнитного поля в веществе. Граничные условия на границе двух магнетиков. Магнитная восприимчивость. Магнитные свойства вещества. Пара- и диамагнетизма и их объяснение в электронной теории. Понятие о ферромагнетиках. Гистерезис. Магнитные свойства сверхпроводников.

Электромагнитная индукция в движущихся и неподвижных проводниках. Электродвижущая сила индукции. Правило Ленца. Коэффициенты само- и взаимной индукции. Установление тока в цепи, содержащей индуктивность. Теорема взаимности. Магнитная энергия и её локализация в пространстве. Энергетический метод вычисления сил в магнитном поле.

Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.  
Определение удельного заряда электрона.

Переменное электрическое поле и его магнитное действие. Ток смещения.  
Система уравнений Максвелла. Граничные условия, формулы Френеля.

Волновое уравнение. Электромагнитные волны в свободном пространстве, их поперечность и скорость распространения. Электромагнитная природа света. Волны в волноводах. Понятие об объёмных резонаторах. Поток энергии и теорема Пойнтинга. Изучение электромагнитных волн. Давление излучения. Опыты Лебедева. Релятивистская инвариантность уравнений Максвелла.

Квазистационарные процессы. Скин-эффект. Колебания в линейных системах. Колебательный контур. Свободные и затухающие колебания. Коэффициент затухания, логарифмический декремент и добротность.

Вынужденные колебания под действием синусоидальной силы. Амплитуда и фаза при вынужденных колебаниях. Резонанс. Параметрические колебания. Понятия об автоколебаниях.

Комплексная форма представления колебаний. Векторные диаграммы. Комплексное сопротивление (импеданс). Правила Кирхгофа для переменных токов. Работа и мощность переменного тока. Резонанс напряжений и токов.

Электрические флуктуации. Предел чувствительности электрических измерительных приборов.

Понятие о плазме. Экранировка, плазменная частота. Диэлектрическая проницаемость плазмы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 3. – М.: Наука, 1996.
2. Кингсеп А.С., Локшин Г.Р., Ольхов О.А. Основы физики. Курс общей физики. Том 1. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика. – М.: Физматлит, 2001.
3. Калашников С.Г. Электричество. – М.: Наука, 1997.
4. Парселл Э. Электричество и магнетизм. (Берклеевский курс физики) – М.: Наука, 1983.
5. Фейнман Р.П. Фейнмановские лекции по физике. Выпуски 5, 6, 7. – М.: Мир, 1977.
6. Горелик Г.С. Колебания и волны. – М.: Физматлит, 1959.

## ЧАСТЬ IV. Оптика

Принцип Ферма и законы геометрической оптики. Элементы фотометрии. Яркость и освещённость изображения.

Принцип суперпозиции и интерференции волн. Интерференция монохроматических волн, ширина интерференционных полос. Пространственная и временная когерентность, связь с видностью интерференционных полей. Интерференционные схемы. Лазеры как источники когерентного излучения.

Дифракция волн. Принцип Гюйгенса-Френеля. Граничные условия. Зоны Френеля. Зонные пластинки. Линза как дифракционный прибор. Дифракция на одномерных структурах. Дифракционные явления при различных значениях волнового параметра. Число Френеля. Границы применимости геометрической оптики. Дифракция Френеля и дифракция Фраунгофера. Дифракция Фраунгофера на щели и на круглом отверстии. Поле в фокальной плоскости линзы. Дифракционный предел разрешения телескопа и микроскопа.

Спектральные приборы: дифракционная решётка, интерферометр Фабри-Перо, призма. Характеристики спектральных приборов: разрешающая способность, область дисперсии.

Дифракция рентгеновских волн. Условие Брегга-Вульфа. Общее понятие о рентгеноструктурном анализе.

Принципы Фурье-оптики. Волновое поле как суперпозиция плоских волн разных направлений (пространственное Фурье-разложение). Соотношение неопределённостей. Дифракция на синусоидальных решётках. Поле в фокальной плоскости линзы. Теория Аббе формирования оптического изображения (принцип двойной дифракции). Методы наблюдения фазовых структур: метод тёмного поля и метод фазового контраста. Представление о Фурье-спектроскопии.

Принципы голографии. Голограмма Габора. Голограмма с наклонным опорным пучком. Действительные и мнимые изображения. Разрешающая способность голограммы. Понятие об объёмных голограммах.

Дисперсия света. Фазовая и групповая скорости. Формула Рэлея. Классическая теория дисперсии. Нормальная и аномальная дисперсии. Диэлектрическая проницаемость плазмы. Отражение радиоволн от ионосферы.

Поляризация света. Естественный свет. Поляризация при отражении и преломлении. Формулы Френеля, явления Брюстера. Дихроизм. Поляроиды. Закон Малюса. Двойное лучепреломление. Оптические явления в одноосных кристаллах. Интерференционные явления в кристаллических пластинках. Искусственная анизотропия. Явление Керра. Явление Фарадея.

Рассеяние света. Рэлеевское рассеяние. Поляризация рассеянного света. Зависимость интенсивности рассеянного света от частоты.

Нелинейные оптические явления. Нелинейная поляризация среды. Самофокусировка. Генерация гармоник.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кингсеп А.С., Локшин Г.Р., Ольхов О.А. Основы физики. Курс общей физики. Том 1. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика. – М.: Физматлит, 2001.
2. Сивухин Д.В., Общий курс физики. Оптика. Т. IV. – М.: Наука, 1985.
3. Бутиков Е.И. Оптика. – М.: Высшая школа, 1986.
4. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976.

## ЧАСТЬ V. Атомная и ядерная физика

Корпускулярно-волновой дуализм. Фотоэффект. Эффект Комптона. Фотоны. Дифракция электронов. Волновая функция как амплитуда вероятности. Принцип суперпозиции.

Соотношения неопределённостей. Роль измерения в квантовой физике. Неразрушающие квантовые измерения. Средние значения координат и импульсов.

Уравнение Шредингера. Плотность потока вероятности. Стационарные состояния. Прямоугольная потенциальная яма, гармонический осциллятор, кулоновский потенциал. Нулевые колебания.

Дискретный и непрерывный спектры энергий. Туннельный эффект. Сканирующий туннельный микроскоп. Туннелирование частиц,  $\alpha$ -распад.

Связь классической и квантовой физики. Постулаты и принципы соответствия Бора. Спектр водородоподобных атомов. Постоянная Ридберга. Позитроний.

Квантование момента импульса. Колебательные и вращательные уровни молекул.

Магнитный момент во внешнем поле. Опыт Штерна-Герлаха. Спин и магнитный момент элементарных частиц. Атомный и ядерный магнетон Бора. Спин фотона и правила отбора при атомных переходах.

Сложение моментов. Атом в магнитном поле. Фактор Ланде ( $g$ -фактор). Эффект Зеемана. Ядерный и электронный парамагнитный резонанс.

Закон сохранения чётности. Принцип Паули. Обменное взаимодействие и правило Хунда. Периодическая система элементов. Характеристическое и тормозное излучение, закон Мозли.

Строение атомных ядер. Масса, радиус и энергия связи ядра. Капельная модель и формула Вайцзеккера. Распады ядер  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -радиоактивность ядер. Несохранения чётности при  $\beta$ -распаде.

Ядерные реакции. Эффект Мэссбауэра и резонансные  $\gamma$ -кванты.

Физика нейтронов. Замедление нейтронов. Ультра-холодные нейтроны. Деление ядер. Запаздывающие нейтроны. Ядерные реакторы. Реакция ядерного синтеза.

Классификация элементарных частиц. Фундаментальные взаимодействия и их переносчики. Фундаментальные фермионы – лептоны и кварки. Кварковая модель адронов – мезоны и барионы. Долгоживущие частицы и резонансы.

Слабые и сильные взаимодействия. Законы сохранения при взаимодействиях элементарных частиц.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белонучкин В.Е., Заикин Д.А., Ципенюк Ю.М. Основы физики. Т. II. Под редакцией Ю.М. Ципенюка. М.: Физматлит, 2001.
2. Гольдин Л.Л., Новикова Г.И. Введение в квантовую физику. – М.: Наука, 1988.
3. Сивухин Д.В, Общий курс физики. Оптика. Т. 5. Ч.1. – М.: Наука, 1986; Ч.2. – М.: Наука, 1989.

## ЧАСТЬ VI. Строение вещества

Квантовая теория излучения. Средняя энергия осциллятора. Распределение Планка. Формула Планка. Законы Кирхгофа, Вина, Стефана-Больцмана. Спонтанное и индуцированное излучения. Лазеры.

Кристаллические структуры твёрдых тел. Колебания решёток. Фононы. Теплоёмкость твёрдых тел. Модель Дебая.

Энергетический спектр электронов в кристаллах. Зонная схема. Металлы, полупроводники, изоляторы.

Электроны в металлах. Вырожденный газ. Распределение Ферми. Теплоёмкость и электропроводность металлов.

Электроны и дырки. Собственные и примесные полупроводники. *p-n* переход.

Сверхпроводники и их основные свойства. Нулевое сопротивление, эффект Мейснера. Критические поля. Сверхпроводники I и II родов. Модель Купера. Высокотемпературная сверхпроводимость.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Белонучкин В.Е., Заикин Д.А., Ципенюк Ю.М. Основы физики. Т. II. Под редакцией Ю.М. Ципенюка. М.: Физматлит, 2001.
2. Сивухин Д.В., Общий курс физики. Т. 5.– М.: Наука, 1986.
3. Гольдин Л.Л. Введение в квантовую физику. – М.: Наука, 1988.
4. Киттель Ч. Элементарная физика твёрдого тела. – М.: Наука, 1965.