

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Вступительные испытания по направлению 03.04.02 Физика, образовательная программа «Физика конденсированного состояния» (очная форма обучения) проводятся для лиц, желающих освоить программу подготовки магистра по данному направлению.

Цель вступительных испытаний заключается в определении уровня профессиональной компетентности и готовности поступающих в магистратуру к освоению программы подготовки магистра в области физики конденсированного состояния.

В основу настоящей программы положены следующие основные дисциплины: механика, молекулярная физика, электромагнетизм, оптика, физика атома и атомного ядра, физика ядра и элементарных частиц.

Лицам, желающим освоить программу подготовки магистра по данному направлению, необходимо показать знание основных учений, теорий и концепций науки:

- иметь системное представление о структурах и тенденциях развития физических наук;
- понимать сущность, социальную значимость и основные проблемы физики;
- знать теоретические основы и закономерности протекания физических процессов;
- уметь выявлять проблемы физического характера при анализе конкретных ситуаций, предлагать способы их решения и оценивать ожидаемые результаты;
- владеть специальной профессиональной терминологией и лексикой специальности;
- владеть основными методами обработки, систематизации и анализа физических данных.

Магистерская программа ориентирована на углубленную фундаментальную и профессиональную подготовку к научно-исследовательской работе. Выпускник, получивший степень (квалификацию) магистра физики должен быть широко эрудирован, должен обладать фундаментальной научной базой, владеть методологией научного творчества, современными информационными технологиями, методами получения, обработки и хранения научной информации, быть готовым к научно-исследовательской и проектно-производственной работе, а при условии освоения соответствующей образовательно-профессиональной программы педагогического профиля – к педагогической деятельности.

Испытание по предмету проходит в форме компьютерного тестирования. Время отведенное на тестирование 45 мин.

Максимальная сумма баллов - 100.

Минимальный балл для сдачи экзамена по программам магистратуры - 65 баллов.

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

РАЗДЕЛ 1. МЕХАНИКА

Кинематика материальной точки и твердого тела. Способы описания движения материальной точки. Степени свободы твердого тела. Описание движения твердого тела. Векторы угловой скорости, углового перемещения, углового ускорения. Мгновенная ось вращения. Взаимодействия и силы в физике. Законы Ньютона и принцип относительности Галилея. Виды фундаментальных взаимодействий. Закон всемирного тяготения. Силы в классической механике. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея. Преобразования Галилея. Инвариантность преобразований величин. Сила, масса. Второй закон Ньютона. Импульс. Принцип независимости действия сил. Третий закон Ньютона. Динамика твердого тела и механические системы Теорема о движении центра масс. Дифференциальное уравнение поступательного движения твердого тела, вращательное движение вокруг неподвижной оси. Динамика плоского движения. Динамика вращательного движения твердого тела с неподвижной точкой. Тензор инерции, главные оси и главные моменты инерции. Вычисление момента инерции относительно оси. Теорема Штейнера. Принцип наименьшего действия. Уравнения Лагранжа. Формулировка принципа наименьшего действия. Необходимое условие экстремальности действия. Уравнения Лагранжа. Гамильтонова форма уравнений механики. Переменные состояния в гамильтоновой механике. Фазовое пространство. Связь между функциями Лагранжа и Гамильтона. Физический смысл функции Гамильтона. Канонические уравнения. Решение задачи о движении гармонического осциллятора методом Гамильтона. Уравнения Гамильтона-Якоби. Действие как функция координат и времени. Уравнение Гамильтона-Якоби, его вид для консервативной системы и для частицы в заданном внешнем поле. Полный интеграл уравнения Гамильтона-Якоби. Решение методом Гамильтона-Якоби задачи о движении частицы в однородном поле. Фундаментальные законы сохранения в классической механике. Закон сохранения энергии и его связь с однородностью времени. Закон сохранения импульса и его связь с однородностью пространства. Закон сохранения момента импульса и его связь с изотропностью пространства. Движение в центральном силовом поле. Задача Кеплера. Определение центрально-симметричного поля. Свойства силы, действующей на частицу в центральном поле. Сохранение момента импульса и закон площадей. Нахождение закона движения из первых интегралов движения. Общие свойства траекторий в центральном поле. Законы Кеплера. Линейные колебания механических систем. Нормальные координаты. Свободные незатухающие колебания. Свободные незатухающие колебания системы с одной степенью свободы в гармоническом приближении. Частота, амплитуда и фаза колебания. Изохронность колебаний. Затухающие колебания при наличии трения. Вынужденные колебания при отсутствии трения. Резонанс. Функция Лагранжа и уравнения движения многомерной системы в

гармоническом приближении. Волны в упругой среде и элементы акустики. Продольные и поперечные волны. Волновое уравнение. Звук. Характеристики звука. Эффект Доплера. Уравнения динамики идеальной жидкости. Подходы Эйлера и Лагранжа к описанию движения сплошной среды. Уравнение непрерывности. Идеальная жидкость. Стационарное течение. Уравнение Бернулли. Вязкая жидкость. Основы специальной теории относительности. Постулаты СТО. Преобразования Лоренца и их следствия. Уравнения релятивистской механики. 4-вектор энергии-импульса.

РАЗДЕЛ 2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Первое начало термодинамики. Работа. Теплота. Внутренняя энергия. Физическое содержание первого начала. Функции состояния и полные дифференциалы. Второе начало термодинамики. Циклические процессы. Работа цикла. Коэффициент полезного действия тепловой машины. Цикл Карно. Теоремы Карно. Формулировки Клаузиуса и Кельвина второго начала термодинамики. Энтропия. Энтропия идеального газа, ее физический смысл и расчет в процессах идеального газа. Вычисление коэффициента полезного действия (КПД) с помощью энтропии. Формулировка второго начала термодинамики с помощью энтропии. Статистический характер второго начала. Изменение энтропии в необратимых процессах. Фазовые превращения. Переход из газообразного состояния в жидкое. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовая диаграмма. Кристаллизация и плавление. Кристаллизация и сублимация. Фазовые диаграммы. Полиморфизм. Фазовые переходы первого и второго рода. Статистические распределения (микрочаноническое, каноническое, большое каноническое). Функция распределения, статистическая сумма. Вычисление средних физических величин. Распределение Больцмана. Термодинамические потенциалы. Преобразование производных термодинамических величин. Системы с переменным числом частиц. Химический потенциал. Термодинамические неравенства. Основы физической кинетики. Виды процессов переноса (теплопроводность, диффузия, вязкость). Уравнение процессов переноса. Процессы переноса в идеальном газе. Основные отличительные особенности явлений переноса в твердых телах и жидкостях в сравнении с явлениями переноса в газах. Броуновское движение. Кинетическое уравнение Больцмана. H - теорема. Интеграл столкновений.

РАЗДЕЛ 3. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Электростатика. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Теорема Гаусса. Потенциальный характер электростатического поля. Разность потенциалов. Связь между напряженностью поля и потенциалом. Уравнение Пуассона. Электростатическая индукция. Поле при наличии проводников. Электрическая емкость. Конденсаторы. Поляризация диэлектриков. Поле при

наличии диэлектриков. Вектор электрического смещения. Энергия системы точечных зарядов и системы заряженных проводников. Электрический ток. Законы Ома и Джоуля - Ленца (дифференциальная и интегральная формы). Правила Кирхгофа. Электрические явления в контактах твердых тел одинакового типа проводимости. Электронно-дырочный переход. Электронные полупроводниковые приборы. Электролитическая диссоциация. Проводимость электролитов. Электролиз. Электродные потенциалы. Химические источники тока. Магнитное поле. опыты Эрстеда и Ампера. Сила Лоренца. Индукция магнитного поля. Магнитное поле движущегося заряда. Магнитные поля прямолинейного и кругового токов. Закон Био - Савара - Ампера. Формула Ампера. Вихревой характер магнитного поля. Намагничивание вещества. Намагниченность. Энергия магнитного поля. Магнитные свойства вещества (диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм). Электромагнитное поле. Явление электромагнитной индукции (закон Фарадея). Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла (трехмерная и четырехмерная форма записи) и их физический смысл. Уравнения электромагнитного поля в веществе как следствие усредненных микроуравнений Лоренца (векторы поляризации P и намагниченности M). Электромагнитные волны. Электромагнитные волны как следствие уравнений Максвелла. Потенциал электромагнитного поля, калибровочные преобразования. Волновые уравнения и их решения (запаздывающие потенциалы). Поляризация плоских монохроматических волн. Энергия и интенсивность электромагнитных волн.

РАЗДЕЛ 4. ОПТИКА

Электромагнитная природа света. Структура и свойства плоских электромагнитных волн. Поляризация плоских монохроматических волн. Энергия и интенсивность электромагнитных волн. Законы отражения и преломления света на границах двух сред. Формулы Френеля. Поляризация при отражении и преломлении. Угол Брюстера. Полное внутреннее отражение. Электронная теория дисперсии. Нормальная и аномальная дисперсия. Интерференция. Интерференция монохроматического света. Интерференционные опыты с использованием деления волнового фронта. Схемы Юнга и Френеля. Интерференция квазимонохроматического света. Видимость интерференционной картины. Временная и пространственная когерентность. Применения интерференции. Дифракция. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция света на круглом отверстии и круглом диске. Зонная пластинка. Приближение Френеля. Приближение Фраунгофера. Дифракция Фраунгофера. Дифракция Фраунгофера на щели. Дифракционные решетки и их характеристики (дисперсия, разрешающая способность). Физические основы голографии. Распространение света в анизотропной среде. Двойное лучепреломление. Обыкновенная и необыкновенная волны и их поляризация. Одноосные кристаллы. Поляризационные призмы и поляроиды. Искусственная анизотропия вещества. Плоские электромагнитные волны в веществе. Поглощение света.

Закон Бугера. Фотометрические величины и единицы их измерений (световой поток, сила света, светимость, яркость, освещенность). Кривая видности. Механический эквивалент света. Геометрическая оптика. Преломление света на сферической поверхности. Построение изображений в линзах и зеркалах. Формула тонкой линзы. Увеличение изображения. Центрированная оптическая система. Оптические приборы. Аберрации оптических систем. Квантовая и нелинейная оптика. Законы теплового излучения (Кирхгофа, Вина, Стефана - Больцмана). Формула Планка. Квантовые свойства света. Энергия и импульс фотона. Фотоэффект и его законы. Давление света. Эффект Комптона. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна. Время жизни возбужденных состояний. Физические принципы работы лазеров. Свойства лазерного излучения. Виды лазеров. Нелинейные оптические явления. Нелинейные восприимчивости. Генерация второй гармоники. Вынужденное комбинационное рассеяние.

РАЗДЕЛ 5. ФИЗИКА АТОМА И АТОМНЫХ ЯВЛЕНИЙ. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Старая квантовая теория и корпускулярно-волновой дуализм. Опыты Резерфорда. Постулаты Бора. Опыты Франка-Герца. Модель атома Бора. Волны де Бройля. Дифракция микрочастиц. Связь между корпускулярными и волновыми свойствами. Основы квантовой механики. Стационарные и временные уравнения Шредингера. Решение задачи о движении частицы в одномерной бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме. Квантовые состояния электрона в водородоподобном атоме. Квантование энергии, момента импульса и проекции момента импульса. Соотношения неопределенностей Гейзенберга. Перепутанные состояния. Теория атомов и молекул. Магнитные свойства атома водорода. Магнетон Бора. Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона. Атомы щелочных металлов. Валентные электроны. Спин-орбитальное взаимодействие. Принцип Паули. Электронные оболочки атомов и их заполнение. Физическое объяснение периодического закона Менделеева. Эффект Зеемана. Магнитный резонанс. Эффект Штарка. Природа химической связи. Виды движения в молекуле. Колебания и вращение двухатомных молекул. Молекулярные спектры. Конденсированные среды. Колебания кристаллической решетки. Оптические и акустические колебания. Понятия о фононах. Распределение Бозе - Эйнштейна. Бозонные конденсаты. Расщепление уровней энергии атомов в зоны при образовании кристалла. 5 Распределение электронов в зонах по состояниям. Функция Ферми-Дирака. Электрические и магнитные свойства твердых тел. Различие между металлами, полупроводниками и диэлектриками в зонной модели. Природа сверхпроводимости и сверхтекучести.

РАЗДЕЛ 6. ФИЗИКА ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Строение ядра. Состав и основные характеристики атомных ядер (размеры, заряд, масса, спин, магнитный момент). Энергия связи и устойчивость ядер. Модели строения ядер. Капельная модель. Модель ядерных оболочек. Области их применения. Основные свойства ядерных сил. Феноменологический ядерный потенциал. Явление радиоактивности. Основной закон радиоактивного распада. Энергетические условия и механизмы α - и β - распадов. Нарушение четности при β -распаде. Деление тяжелых ядер. Элементарная теория деления. Использование энергии деления (атомная энергетика). Синтез легких ядер. Проблемы и перспективы использования термоядерной энергии. Физика высоких энергий. Ускорители в экспериментальной физике высоких энергий. Законы сохранения и квантовые числа. Лептоны и адроны. Стабильные частицы и резонансы. Симметрия сильных взаимодействий. Кварки и глюоны.

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ

1. Представление Ньютона о свойствах пространства и времени. Система отсчета в механике Ньютона. Эталоны длины и времени. Относительность движения.
2. Гармонические колебания. Амплитуда. Частота. Фаза колебаний. Смещение, скорость, ускорение при гармоническом колебательном движении. Связь колебательного и вращательного движения. Векторная диаграмма.
3. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Понятие о силе. Принцип независимого действия силы. Силы в природе. Фундаментальные взаимодействия.
4. Второй закон Ньютона. Масса и ее измерение, аддитивность массы. Импульс. Принцип относительности Галилея. Третий закон Ньютона. Границы применимости Ньютона.
5. Момент импульса материальной точки. Момент силы, момент инерции. Сохранение момента импульса материальной точки при движении в центральном поле сил.
6. Работа силы, мощность, кинетическая энергия. Потенциальная и непотенциальная силы. Потенциальная энергия. Связь силы с потенциальной энергией. Сохранение полной энергии материальной точки.
7. Связь законов сохранения со свойствами симметрии пространства и времени. Роль законов сохранения в физике.
8. Упругие и квазиупругие силы. Дифференциальное уравнение свободных колебаний осциллятора. Период собственных колебаний.
9. Распространение колебаний в упругой среде. Уравнение плоской бегущей волны. Поток энергии.
10. Движение планет. Законы Кеплера. Закон всемирного тяготения.

11. Постулаты Эйнштейна. Система отсчета в специальной теории относительности. Относительность одновременности в СТО. Преобразования Лоренца и следствия из них.
12. Релятивистский закон сложения скоростей. Релятивистский импульс. Второй закон Ньютона в СТО. Связь массы и энергии. Полная энергия в СТО.
13. Основные представления молекулярно-кинетической теории газов. Идеальный газ. Основные уравнения кинетической теории газов. Уравнения Менделеева-Клапейрона.
14. Распределение молекул по скоростям. Опыт Штерна. Распределение Максвелла-Больцмана. Число Авогадро.
15. Термодинамическая система и параметры состояния. Внутренняя энергия. Работа и теплота. Первый закон термодинамики.
16. Обратимые и необратимые процессы. Тепловые машины. Цикл Карно. Теоремы Карно. Второе начало термодинамики. Закон возрастания энтропии. Статистическое толкование энтропии.
17. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Теоретическая и экспериментальная изотермы реального газа. Критическое состояние. Внутренняя энергия реального газа.
18. Классическая и пластическая теория Дебая. Закон Дюлонга-Пти. Затруднение классической теории теплоемкостей газов и твердых тел, их разрешение в квантовой теории.
19. Каноническое распределение Гиббса, применение его для решения задач статистической физики.
20. Электронный газ в металлах. Энергия Ферми. Вырождение.
21. Третье начало термодинамики, его статистическое обоснование. Понятие об отрицательных температурах.
22. Поток вектора напряженности электрического поля. Теорема Остроградского-Гаусса. Работа сил электрического поля.
23. Потенциал. Потенциальный характер электростатического поля. Связь потенциала и напряженности поля. Циркуляция вектора напряженности.
24. Энергия отдельного заряда, системы зарядов, заряженного проводника, конденсатора.
25. Электрический ток. Закон Ома для участка цепи. Сопротивление проводника. Дифференциальная форма закона Ома. Сторонние силы. ЭДС. Закон Ома для участка цепи, содержащий источник ЭДС.
26. Работа и мощность в цепи постоянного тока. Закон Джоуля-Ленца и его дифференциальная форма. Правила Кирхгоффа.
27. Проводники, диэлектрики и полупроводники. Электропроводность материалов. Классическая теория. Природа тока в металлах.
28. Работа выхода электронов из металла. Термоэлектронная эмиссия. Ток в вакууме. Электронные лампы. Контактная разность потенциалов. Закон Вольты. Полупроводниковые диоды и триоды.
29. Электролитическая диссоциация. Электролиты. Подвижность ионов. Закон Ома для электролитов. Законы Фарадея. Гальванические элементы.

30. Магнитное поле. Индукция и напряжённость магнитного поля. Магнитный поток. Закон Био-Савара-Лапласа. Магнитное поле прямого, кругового токов. Соленоид. Циркуляция вектора напряжённости магнитного поля. Закон полного тока.
31. Сила Лоренца. Определение удельного заряда электрона. Магнитогидродинамический генератор.
32. Сила Ампера. Энергия магнитного поля токов. Энергия и плотность. Энергия магнитного поля.
33. Магнетики. Поле в магнетиках. Намагниченность. Связь индукции и напряженности поля в магнетиках. Магнитная восприимчивость и проницаемость. Диа-, пара- и ферромагнетики. Магнитный гистерезис.
34. Получение переменной ЭДС. Квазистационарный ток. Действующее и среднее значение переменного тока. Закон Ома для переменного тока. Работа и мощность переменного тока.
35. Опыты Фарадея. Закон электромагнитной индукции и правило Ленца. Вихревые токи. Спин-эффект. Самоиндукция и взаимдукция. Индуктивность проводника.
36. Работа и мощность переменного тока. Передача электроэнергии на расстояние. Трансформатор.
37. Дифференциальные уравнения собственных колебаний колебательного контура. Формула Томсона. Дифференциальные уравнения затухающих и вынужденных колебаний в контуре. Резонанс.
38. Вихревое электрическое поле. Токи смещения. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме.
39. Плоские электромагнитные волны в вакууме, скорость их распространения. Опыты Герца. Плотность энергии электромагнитных волн.
40. Интерференция света. Когерентность. Методы осуществления когерентности. Интерференция в тонких плёнках, интерферометры. Просветление оптики.
41. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Законы Френеля. Дифракция Френеля. Объяснение прямолинейности распространения света по волновой теории.
42. Дифракция Фраунгофера на одной, двух щелях. Дифракционная решётка. Угловая и линейная дисперсия. Разрешающая способность дифракционной решётки.
43. Поляризация света. Методы получения линейно-поляризованого света. Закон Малюса. Угол Брюстера. Двойное лучепреломление. Использование принципа Гюйгенса в двойном лучепреломлении. Искусственная анизотропия.
44. Эллиптическая и круговая поляризация света. Интерференция поляризованных волн. Явление дихроизма. Призма Николя.
45. Принцип Ферми. Законы отражения, преломления света. Зеркала, призмы.
46. Тонкие линзы. Оптическая сила линзы. Аберрации оптических систем. Волоконная оптика.

47. Оптические приборы - лупа, микроскоп, телескоп, фотоаппарат, проекционные аппараты. Глаз как оптическая система. Построение изображения в линзах, зеркалах.
48. Рентгеновские излучения. Линейчатые и сплошные рентгеновские спектры. Эффект Комптона.
49. Тепловое излучение черного тела. Закон Кирхгофа – его следствия. Абсолютно чёрное тело. Законы Вина и Стефана-Больцмана, их статистическое толкование.
50. Формула Релея – Джинса. Ультрафиолетовая катастрофа. Квантования энергий излучения гипотеза Планка. Формула Планка.
51. Фотоэффект. Фотоны. Уравнение Эйнштейна. Фотоэлемент, электронно-оптический преобразователь. Давление света.
52. Дифракция электронов. Волны де Бройля. Соотношение неопределённостей Гейзенберга. Волновая функция. Принцип суперпозиции в квантовой механике. Уравнение Шредингера.
53. Простейшие задачи квантовой механики. Квантование энергии частицы в потенциальной яме, линейного гармонического осциллятора. Туннельный эффект. Нулевая энергия и нулевые колебания.
54. Опыты Резерфорда. Планетарная модель атома. Постулаты Бора. Атом водорода по Бору. Трудности классической электродинамики. Квантово-механическая интерпретация постулатов Бора. Принцип соответствия.
55. Опыты Френка и Герца, Штерна и Герлаха. Квантование энергии момента импульса и проекции момента импульса электрона. Спин.
56. Квантовые числа в атоме. Принцип Паули. Система элементов Менделеева. Характеристические спектры рентгеновских лучей. Атомные и молекулярные спектры.
57. Спонтанные и вынужденные излучения. Лазеры и их применения. Комбинационное рассеяние света.
58. Экспериментальные методы ядерной физики. Счётчики частиц, трековые камеры фотоэмульсии, масс-спектрометры. Ускорители заряженных частиц.
59. Протоны и нейтроны. Заряд и массовое число ядра. Изотопы и изобары. Ядерные силы. Энергия связи ядра. Оболочечная и капельная модели ядра.
60. Ядерные реакции. Деление ядер. Цепная реакция. Ядерные реакторы. Ядерная энергетика.
61. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Теория последовательных превращений. Альфа-распад, бета-распад, правила смещения, радиоактивные семейства.
62. Реакция термоядерного синтеза. Условия их осуществления. Управляемый термоядерный синтез.
63. Классификация элементарных частиц и их характеристики.
64. Восьмеричный формализм, унитарная симметрия. Модель кварков.
65. Фундаментальные взаимодействия. Переносчики фундаментальных взаимодействий и их характеристики.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

1. Чертов А. Г. Задачник по физике: [учеб. пособие для вузов]/А. Г. Чертов. —М.: Физматлит, 2009. —640 с.
2. Гинзбург В. Л. Сборник задач по общему курсу физики: [в 5 кн.]/[В. Л. Гинзбург [и др.] ; под ред. Д. В. Сивухина. —М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006 Кн. 4 : Оптика. —2006. —270 с.
3. Иродов И. Е. Электромагнетизм : основные законы: учеб. пособие для студентов физ. специальностей вузов/И. Е. Иродов. —М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. —319 с.
4. Иродов И. Е. Механика. Основные законы: учеб. пособие для студентов физ. специальностей вузов/И. Е. Иродов. —М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. —309 с.
5. Савельев И. В. [Курс физики](#): учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по техническим направлениям и специальностям/И. В. Савельев. —Санкт-Петербург: Лань, Т.3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. —2016. —320 с

Дополнительная:

1. Савельев И. В. [Курс общей физики](#): учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим (550 000) и технологическим (650 000)направлениям/И. В. Савельев. —Санкт-Петербург: Лань, 2008 Т. 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. —2016. —496 с.
2. Ремизов А. Н. Курс физики: учебник для вузов по естественнонауч. напр./А. Н. Ремизов, А. Я. Потапенко. —М.: Дрофа, 2004. —711 с.
3. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики: для техн. вузов/В. С. Волькенштейн. —СПб.: СпецЛит, 2001. —327 с.