|  |
| --- |
| МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  федеральное государственное АВТОНОМНОЕ образовательное учреждение высшего профессионального образования  «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» |
| **Димитровградский инженерно-технологический институт –**  филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  **(ДИТИ НИЯУ МИФИ)** |

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_В.В. Ужва

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ДИТИ НИЯУ МИФИ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И.А.Саган

**Программа вступительного испытания**

по направлению подготовки аспирантов

**03.06.01**

**«Физика и астрономия»**

**Форма обучения**

**Очная**

**Димитровград 2016**

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования.

**Форма проведения испытания:**

Вступительное испытание по направлению подготовки аспирантов «Физика и астрономия» проводится в виде собеседования с обязательным оформлением ответов на вопросы билета в письменном виде. Собеседование проводится с целью выявления у абитуриента объёма научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков системного и критического мышления, необходимых для обучения в аспирантуре. Абитуриент должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию.

**Структура испытания:**

Испытание состоит из ответов на вопросы билета и дополнительные вопросы.

**Критерии оценки результатов испытания:**

Оценка «отлично» ставится при следующем условии:

даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией;

Оценка «хорошо» ставится при следующих условиях:

1. даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией;
2. ответы на вопросы даются полно, но логическая последовательность не всегда соблюдается.

Оценка «удовлетворительно» ставится при следующих условиях:

1. даны в основном правильные ответы на вопросы, поставленные

экзаменационной комиссией;

1. ответы на вопросы даются в основном полно, но при слабом логическом оформлении высказываний.

Оценка «неудовлетворительно» ставится в случае, когда не выполнены условия, позволяющие поставить оценку «удовлетворительно».

Решения экзаменационной комиссии принимаются большинством голосов.

**Программа вступительного испытания**

**Направление:**

**03.06.01**

**«Физика и астрономия»**

**I. *Физика конденсированного состояния***

**МЕХАНИКА**

**1. Основные законы механики.** Пространство и время в физике. Способы измерения протяженности и длительности (в лабораторной практике, в космических масштабах, в микромире). Материальная точка. Инерциальная система отсчета. Явление инерции. Первый закон Ньютона. Движение материальной точки под действием силы. Масса как мера инертности. Второй закон Ньютона. Взаимодействие материальных точек. Третий закон Ньютона. Гравитационное поле. Масса как источник гравитационного поля. Закон всемирного тяготения. Равенство гравитационной и инертной масс.

**2. Законы сохранения в механике.** Импульс материальной точки. Закон изменения и сохранения импульса. Столкновение тел. Момент импульса. Закон изменения и сохранения момента импульса. Момент силы. Движение под действием момента сил. Механическая работа. Энергия. Кинетическая и потенциальная энергия системы материальных точек тела и системы тел. Закон сохранения энергии. Связь законов сохранения со свойствами пространства-времени. Роль законов сохранения в механике. Движение в центральном поле. Задача двух тел. Законы Кеплера. Рассеяние частиц. Движение абсолютно твердого тела. Вращательное движение. Угловая скорость. Тензор моментов инерции. Углы Эйлера. Уравнения Эйлера.

**3. Принцип относительности в механике.** Принцип относительности Галилея. Преобразование Галилея. Сложение скоростей в классической физике. Принцип относительности Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Сокращение длин и замедление времени. Сложение скоростей в релятивистской физике. Импульс и энергия релятивистской частицы. Релятивистский аналог второго закона Ньютона. Невозможность ускорения частицы до сверхсветовых скоростей. Движение относительно инерциальных систем отсчета. Сила инерции. Сила Кориолиса.

**4. Колебания.** Условие возникновения колебаний. Малые колебания. Затухающие колебания . Вынужденные колебания. Резонанс. Колебания в системах связанных тел . Собственные частоты. Нормальные координаты. Волны. Частота, длина волны, закон дисперсии, скорость, поляризация. Плоские и сферические волны. Волновые пакеты. Фазовая и групповая скорости. Элементы акустики. Понятие о нелинейных волнах (солитоны, ударные волны).

**5. Вариационные принципы в механике.** Принцип наименьшего действия. Функция Лагранжа. Уравнения движения в форме Лагранжа. Функция Гамильтона. Уравнения движения в форме Гамильтона. Метод Гамильтона - Якоби. Адиабатические инварианты.

**МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА**

**1. Основные понятия и постулаты термодинамики.** Макроскопическая система. Основы молекулярно-кинетической теории вещества. Термодинамический и статистический методы описания.Внешние и внутренние параметры.Термодинамическое состояние и его функции. Состояние термодинамического равновесия. Постулаты термодинамики**.** Установление термодинамического равновесия в изолированной системе. Транзитивность термодинамического равновесия. Эмпирическая температура. Равновесные и неравновесные процессы.

**2. Начала термодинамики.** Первое начало термодинамики. Формулировки первого начала Внутренняя энергия, теплота и работа. Термические и калорическое уравнения состояния. Теплоемкости и скрытые теплоты. Простейшие процессы и газовые законы на примере идеального газа и газа Ван дер Ваальса. Второе начало термодинамики. Формулировки второго начала. Абсолютная температура и энтропия. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Неравенство Клаузиуса. Третье начало термодинамики. Формулировки третьего начала. Поведение термодинамических величин при температуре, стремящейся к абсолютному нулю.

**3. Термодинамические потенциалы, условия равновесия и фазовые переходы.**  Идея метода термодинамических потенциалов, его сопоставление с методом циклов. Внутренняя энергия (как потенциал), свободная энергия, потенциал Гиббса, энтальпия. Термодинамические потенциалы для систем с переменной массой. Химический потенциал. Основное соотношение равновесной термодинамики. Условия термодинамического равновесия. Гомогенная и гетерогенная системы. Фаза и компонента. Общие условия равновесия - экстремальность термодинамических потенциалов. Необходимые условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы. Условия устойчивости равновесия однофазной системы. Принцип Ле Шателье. Фазовые переходы первого рода. Поведение термодинамических величин при фазовых переходах первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Плавление. Сублимация. Испарение и кипение, давление насыщенного пара. Краевой угол. Смачивание. Капиллярные явления. Метастабильные состояния. Явления перегрева и переохлаждения. Тройная точка. Критическая точка. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы второго рода. Поведение физических величин при фазовых переходах второго рода. Уравнения Эренфеста. Параметр порядка. Универсальность поведения физических величин вблизи критической точки. Критические индексы. Неравенство Рашбрука.

**4. Основные положения статистической физики.** Фазовое пространство. Функция распределения (статистический ансамбль). Теорема Лиувилля. Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Связь статистической суммы со свободной энергией. Распределение Максвелла-Больцмана. Теорема о равнораспределении кинетической энергии по степеням свободы. Статистический вывод уравнений состояния идеального газа. Теплоемкость классического идеального газа. Сравнение с экспериментом. Неидеальные газы. Газ Ван дер Ваальса Большое каноническое распределение Гиббса. Квантовая статистика. Квантовые идеальные газы. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Общие свойства ферми-газов. Теплоемкость вырожденного электронного газа. Общие свойства бозе-газов. Бозе - Эйнштейновская конденсация. Теории Эйнштейна и Дебая теплоемкости твердых изоляторов.

**5. Флуктуации.**Распределение вероятностей флуктуаций (распределение Гаусса). Флуктуации в идеальном газе.

**6. Физическая кинетика.** Частичные функции распределения. Кинетическое уравнение Больцмана. Диффузия. Законы Фика. Диффузия в разреженном газе. Механизмы диффузии в газах, жидкостях, твердых телах. Вязкость. Закон Ньютона. Вязкость разреженного газа. Механизмы внутреннего трения (вязкости) в газах, жидкостях, твердых телах. Сверхтекучесть. Теплопроводность. Закон Фурье. Теплопроводность разреженного газа. Механизмы теплопроводности в газах, жидкостях, твердых телах. Электропроводность. Длина свободного пробега. Формула Друде-Лоренца.

**ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ**

**1. Основные законы физики электромагнитных явлений.** Электрический заряд. Взаимодействие зарядов. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность поля. Обобщение закона Кулона в виде дифференциального уравнения. Интегральная форма этого уравнения. Взаимодействие зарядов в среде. Скалярный потенциал электрического поля. Потенциал поля точечного заряда. Потенциал системы зарядов и его обобщение на случай заряженного по объему тела.Магнитное поле. Электрический ток. Магнитное поле тока. Закон Био-Савара. Обобщение его в виде дифференциального уравнения. Ток смещения. Дифференциальное уравнение для магнитного поля с учетом тока смещения. Интегральная форма записи этого уравнения. Отсутствие магнитных зарядов**.** Дифференциальное уравнение**,** выражающее этот факт**.**Явлениеэлектромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца. Дифференциальная запись закона электромагнитной индукции. Полная система уравнений, описывающих электромагнитные явления.

**2. Электрические цепи.** Сопротивление. Закон Ома. Емкость. Конденсатор. Конденсатор в цепи переменного тока. Сопротивление конденсатора переменному току (емкостное сопротивление). Индуктивность. Взаимная индуктивность. Сопротивление индуктивности переменному току (индуктивное сопротивление).  Электрические цепи. Квазистационарные явления. Правила Кирхгофа. Импеданс цепи. Переменный ток и его применение.

**3. Электромагнитные волны.** Электромагнитные волны и их основные свойства (частота и волновое число, связь частоты с волновым числом (закон дисперсии), скорость распространения, ориентация полей). Плотность энергии и плотность потока энергии электромагнитного поля. Излучение ЭМВ. Колебательный контур. Вибратор Герца. Поле движущегося заряда (поле, переносимое вместе с зарядом, и поле излучения). Эффект Вавилова-Черенкова. Особенности распространения ЭМВ в материальных средах. Излучение Вавилова - Черенкова для заряда, движущегося в среде.

**4. Взаимодействие зарядов и токов с электромагнитным полем.** Сила Лоренца. Движение заряда в электрическом поле. Движение заряда в магнитном поле. Ускорители заряженных частиц. Эффект Холла в твердых телах. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле. Магнитный момент замкнутого тока. Взаимодействие магнитного момента с полем. Ларморовская прецессия. Магнитный резонанс.

**5. Материальные среды в электромагнитном поле.** Поляризация материальных сред в электромагнитном поле. Макроскопические электромагнитные поля в средах. Уравнения Максвелла. Материальные уравнения. Диэлектрическая и магнитная проницаемости. Диэлектрики. Поляризация диэлектриков в электрическом поле. Вектор поляризации. Диэлектрическая проницаемость и электрическая восприимчивость (поляризуемость). Полярные .и неполярные диэлектрики. Особенности их поведения в постоянных и переменных полях. Проводники. Физическая природа электрического сопротивления проводников. Проводники в переменном поле. Скин-эффект. Сверхпроводимость. Эффект Мейснера. Сверхпроводники 1 и 2 рода. Куперовские пары. Физическая природа сверхпроводимости. Высокотемпературные сверхпроводники. Диа-, пара- и ферромагнетики. Вектор намагниченности. Магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость. Обменное взаимодействие и природа магнитного упорядочения. Материальные среды в переменных и неоднородных полях. Понятие о временной и пространственной дисперсии.

**ОПТИКА**

**1. Волновая оптика**. Интерференция. Оптическая разность хода. Модулированные волны. Когерентность. Монохроматичность и вид интерференционной картины. Дифракция. Принцип Гюйгенса-Френеля. Зоны Френеля. Дифракция на круглых препятствиях. Пятно Пуассона. Анизотропия. Влияние оптической анизотропии на распространение света. Уравнение Френеля. Двойное лучепреломление и его применение. Оптические оси. Оптически активные вещества. Вращение плоскости поляризации в оптически активных веществах. Индуцирование оптической анизотропии. Эффект Керра. Эффект Фарадея.

**2. Геометрическая оптика.** Отражение и преломление света на границе раздела двух изотропных сред. Показатель преломления. Полное внутреннее отражение. Зависимость показателя преломления от частоты излучения. Оптические приборы. Дисперсия света. Геометрическая оптика как предельный случай волновой оптики. Уравнение эйконала. Лучи, волновые поверхности. Законы геометрической оптики.

**3. Спонтанное и вынужденное излучение света атомами.** Лазер и принцип его работы. Понятие об отрицательной температуре. Голография. Понятие о нелинейной оптике. Спектральный анализ. Характеристики спектральных приборов. Оптические методы измерения физических величин.

**АТОМНАЯ ФИЗИКА И КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА**

**1. Основные эксперименты, способствовавшие созданию квантовых представлений.** Излучение абсолютно черного тела. Фотоэффект. Кванты света. Постоянная Планка. Опыты Резерфорда. Классические представления о строении атома, их несостоятельность. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны де-Бройля. Эффект Комптона. Опыты Дэвиссона и Джермера.

**2. Основные принципы квантовой механики.**  Атом водорода по Бору. Невозможность классического описания движения микрочастиц. Принцип неопределенности Гейзенберга, его эвристическая ценность. Интерпретация опытов Дэвиссона-Джермера и Штерна- Герлаха. Принцип суперпозиции. Наблюдаемые и состояния. Волновая функция, ее статистическая интерпретация. Плотность вероятности, плотность потока вероятности. Полное описание состояний квантовой системы. Чистые и смешанные состояния. Матрица плотности.

**3. Эволюция состояний квантовых систем. Уравнение Шредингера.** Уравнение Шредингера, его стационарные решения. Свойства стационарных состояний. Теория представлений. Эволюция состояний и физических величин. Представления Гайзенберга и взаимодействия. Финитное и инфинитное движение. Характер энергетического спектра и качественное поведение волновых функций. Движение частицы в одномерной прямоугольной потенциальной яме. Характер энергетического спектра и волновых функций.

**4. Потенциальный барьер.** Туннельный эффект. Вероятность туннелирования, поведение волновых функций.

**5. Одномерный гармонический осциллятор.** Энергетический спектр. Качественный вид волновых функций для основного, первого возбужденного и высокоэнергетических уровней. Использование модели линейного гармонического осциллятора в физике твердого тела (фононы, магноны и т.д.). Квазиклассическое приближение. Соотношение между квантовой и классической механикой. Теория возмущений. Законы сохранения и их связь с симметрией системы.

**6. Законы сохранения в квантовой механике.** Момент импульса. Движение в центрально-симметричном поле.

**7. Атом водорода. Общий вид волновых функций и энергетический спектр.** Вырождение уровней.

**8. Квантовые числа и их физический смысл.** Характер распределения электронной плотности в s- ,p- ,d- состояниях. Спектральные серии.

**9. Спин электрона, экспериментальное подтверждение его существования.** Сложение моментов количества движения, правило треугольника. Тонкая структура спектра атома водорода. Спин-орбитальное взаимодействие.

**СИСТЕМЫ ТОЖДЕСТВЕННЫХ ЧАСТИЦ**

**1. Принцип Паули.** Перестановочная симметрия волновых функций, ее связь со спином и статикой. Атом гелия.

**2. Вторичное квантование.** Квантование электромагнитного поля. Взаимодействие квантовой системы с излучением. Рентгеновское излучение. Резонансные методы исследования веществ (ЭПР, ЯМР и др.). Строение многоэлектронных атомов. Электронные конфигурации.

**3. Периодическая система химических элементов.** Термы. Правило Хунда. Проявление спин-орбитального взаимодействия. Мультиплетное расщепление термов. Молекула водорода, возникновение химической связи. Перекрывание атомных орбиталей, ковалентность. Связывающие и антисвязывающие молекулярные орбитали. Обменное взаимодействие.

**4. Энергетический спектр и волновые функции электрона в идеальном кристалле.** Энергетические зоны. Металлы, диэлектрики, полупроводники. Основы релятивистской квантовой теории. Уравнение Дирака.

**ФИЗИКА ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ**

**1. Радиоактивность. Альфа- распад ядер.** Элементарная теория альфа-распада Гамова.

**2. Радиоактивность. Бета-распад ядер.** Элементарная теория бета-распада Ферми.

**3. Энергия связи ядра.** Формула Вайцзекера для энергии связи и ее обоснование. Следствие из формулы Вайцзекера. Элементарные и составные частицы. Частицы (мезоны, барионы, кварки, лептоны) – источники полей. Кванты взаимодействия (фотоны, W, Z – бозоны, глюоны, гравитоны) – переносчики взаимодействий. Объединение взаимодействий.

**4. Современная космология.**

Вопросы к вступительному экзамену в аспирантуру по направлению подготовки

**03.06.01 Физика и астрономия, по специальности 01.04.07 физика конденсированного состояния**

1. Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

2. Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита СаТiO3.

3. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

4. Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура, Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

5. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

6. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

7. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

8. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

9. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

10. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

11. Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

12. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

13. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

14. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

15. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

16. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

17. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

18. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

19. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.

20. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

21. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

22. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

23. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри - Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

24. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

25. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

26. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

27. Спиновые волны, магноны.

28. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

29. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса—Кронига.

30. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

31. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).

32. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

33. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.

34. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

35. Эффект Джозефсона.

36. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Механика, Т.1, М. : Физматлит, 2014. − 560 с. // Центр информационно-библиотечного обеспечения учебно-научной деятельности НИЯУ МИФИ Электронно-библиотечная система ЭБС МИФИ
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика, Т.2, М., Физматлит, 2014. −543 с. // Центр информационно-библиотечного обеспечения учебно-научной деятельности НИЯУ МИФИ Электронно-библиотечная система ЭБС МИФИ
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Электричество, Т.3, М. : Физматлит, 2009. − 656 с. // ЭБС «Лань»
4. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Оптика, М., НАУКА, 2013. − 792 с. // Центр информационно-библиотечного обеспечения учебно-научной деятельности НИЯУ МИФИ Электронно-библиотечная система ЭБС МИФИ
5. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Атомная и ядерная физика,Т.5, М. 2002. − 784 с. // ЭБС «Лань»
6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика, Т. 1, М. : Физматлит, 2013. − 222 с. // Центр информационно-библиотечного обеспечения учебно-научной деятельности НИЯУ МИФИ Электронно-библиотечная система ЭБС МИФИ
7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля, Т. 2, М. : Физматлит, 2006. − 536 с. // Центр информационно-библиотечного обеспечения учебно-научной деятельности НИЯУ МИФИ Электронно-библиотечная система ЭБС МИФИ
8. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика, Т.3, М. : Физматлит,  2008. − 798 с. // Центр информационно-библиотечного обеспечения учебно-научной деятельности НИЯУ МИФИ Электронно-библиотечная система ЭБС МИФИ
9. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред, Т.8, М. : Физматлит, 2005. − 652 с. // Центр информационно-библиотечного обеспечения учебно-научной деятельности НИЯУ МИФИ Электронно-библиотечная система ЭБС МИФИ
10. Ландау Л. Д., Лифшиц Е.М., Статистическая физика. Ч.1, Т5, М. : Физматлит, 2005. − 616 с. // Центр информационно-библиотечного обеспечения учебно-научной деятельности НИЯУ МИФИ Электронно-библиотечная система ЭБС МИФИ
11. Ландау Л. Д., Лифшиц Е.М., Питаевский. Л.П., Статистическая физика.Ч.2, Т9,М. : Физматлит, 2001. − // ЭБС «Лань»
12. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. – Москва: Мир, 1988. – 606 с.
13. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М. : МелиаСтар, 2006. − 792 с. // Центр информационно-библиотечного обеспечения учебно-научной деятельности НИЯУ МИФИ Электронно-библиотечная система ЭБС МИФИ
14. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. – Москва: Ленанд, 2015. – 496 с.
15. Матухин В.Л., Ермаков В.Л. Физика твердого тела. – СПб. : «Лань», 2010. – 224 с.
16. Вайнштейн Б. К. Кристаллография и жизнь. Учебник для вузов. – М : Физматлит, 2012. – 375 с.
17. Гкртов В. А. Физика твердого тела для инженеров. Учебное пособие для вузов – М : Техносфера, 2012. – 558 с.
18. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. : Учебное пособие. – М. : Лань, 2011. – 288 с.