

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
Факультет наук о материалах

«УТВЕРЖДАЮ»  
И.о. декана факультета наук о материалах,



Е.А. Гудилин

2022 г.

## ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА

(для осуществления приема на обучение по  
образовательным программам высшего образования -  
программам подготовки научных и научно-педагогических  
кадров в аспирантуре)

### *1.3.8. Физика конденсированного состояния*

Программа утверждена  
Ученым советом факультета  
(протокол № 244 от 19 июля 2022 г.)

Москва - 2022

## I. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Настоящая программа предназначена для осуществления приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре вступительного экзамена в аспирантуру по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния и содержит основные темы и вопросы к экзамену, список основной и дополнительной литературы и критерии оценивания.

## II. ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ И ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Основные понятия классической механики и законы Ньютона, законы изменения и сохранения импульса, момента импульса и энергии материальной точки и системы материальных точек.

Уравнение движения твердого тела. Тензор инерции.

Общее решение задачи двух тел. Упругое рассеяние частиц.

Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции.

Принцип относительности Эйнштейна, релятивистская кинематика. Преобразования Лоренца и кинематические следствия из них. Сложение скоростей в специальной теории относительности. Основные положения релятивистской динамики. Соотношение между массой и энергией. Функция Лагранжа и уравнение Лагранжа в нерелятивистской механике.

Собственные колебания механической системы. Вынужденные колебания и резонанс.

Функция Гамильтона и уравнения Гамильтона.

Функция действия и принцип наименьшего действия в нерелятивистской механике.

Основные положения механики сплошных сред. Уравнение непрерывности. Законы изменения плотности импульса и плотности энергии. Интеграл импульса и плотности энергии. Интеграл Бернулли. Потенциальное течение. Ламинарное и турбулентное течение.

Волновое уравнение. Звуковые волны. Эффект Доплера.

Упругие деформации твердого тела, обобщенный закон Гука. Бегущие и стоячие волны в твердых телах.

2. Термодинамические (статистические) системы. Состояние термодинамического равновесия. Макросостояние и микросостояние. Статистическое распределение. Энтропия. Закон возрастания энтропии. Абсолютная температура. Термодинамические потенциалы. Экстремальные свойства термодинамических потенциалов. Термодинамические соотношения в электрическом и магнитном полях.

Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Статистическая сумма и свободная энергия. Большое каноническое распределение Гиббса. Переход к классическому описанию. Распределения Максвелла и Больцмана.

Идеальные квантовые газы Ферми и Бозе. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Теплоемкость идеальных квантовых газов при низких температурах. Равновесное излучение и формула Планка. Закон Стефана-Больцмана. Квантовая теория теплоемкости двухатомного идеального газа.

Неидеальный классический газ. Разложение по степеням плотности. Системы с кулоновским взаимодействием. Дебаевский радиус экранирования. Свободная энергия плазмы.

Фазовые переходы I рода. Условия равновесия фаз. Теория Ландау фазовых переходов II рода.

Случайные процессы. Временные корреляции и спектральное представление. Квазистационарная (термодинамическая) теория флуктуаций. Флуктуации основных термодинамических величин. Тепловые шумы и формула Найквиста. Уравнение Смолуховского и уравнение Фоккера-Планка.

Уравнение Лиувилля. Кинетическое уравнение Больцмана. H-теорема. Уравнение Власова. Плазменные волны. Затухание Ландау.

Фононы и теория теплоемкости твердого тела по Дебаю и Эйнштейну. Электронная теплоемкость при низких температурах.

Статистика носителей заряда в полупроводниках. Кинетические явления в твердых телах (электропроводность, теплопроводность, гальваномагнитные и термомагнитные эффекты).

3. Электростатическое поле в вакууме. Закон Кулона. Теорема Гаусса. Электрический потенциал. Уравнение Пуассона.

Проводники в электрическом поле. Дифференциальная форма закона Ома.

Электростатическое поле при наличии диэлектриков. Поляризация полярных и неполярных диэлектриков.

Энергия взаимодействия точечных зарядов. Энергия поля заряженных проводников. Электростатические силы, действующие на проводник.

Стационарное магнитное поле в вакууме. Закон Био-Савара-Лапласа. Сила Ампера. Сила Лоренца. Векторный потенциал. Магнитное поле при наличии магнетиков. Механизм намагничивания. Векторный потенциал при наличии магнетиков.

Электромагнитная индукция. Возникновение ЭДС в движущихся проводниках. Закон электромагнитной индукции Фарадея.

Система уравнений Максвелла в вакууме. Закон сохранения энергии электромагнитного поля. Поток энергии. Плотность энергии и плотность импульса электромагнитного поля. Вектор Умова-Пойнтинга. Излучение электромагнитных волн. Уравнения для векторного и скалярного потенциалов. Запаздывающие и опережающие потенциалы.

Уравнения Максвелла в среде. Материальные уравнения и граничные условия. Распространение электромагнитных волн в диэлектриках. Электромагнитные волны в проводящих средах. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Скин-эффект.

Сегнетоэлектрики. Петля гистерезиса. Пьезо- и пьезоэлектрики.

Магнитные свойства твердых тел. Магнитная восприимчивость. Диамагнетики и парамагнетики. Закон Кюри-Вейсса. Ферро- и антиферромагнетики. Магнитная анизотропия. Магнитострикция.

4. Основные законы распространения, отражения и преломления света. Световое давление. Поляризация света. Распространение света в анизотропных средах. Тензор диэлектрической проницаемости. Двуосные и одноосные кристаллы. Эллипсоид волновых нормалей. Вращение плоскости поляризации.

Ширина линии излучения. Классическая модель излучателя света. Спектральный состав излучения. Время излучения. Форма линии излучения и ее естественная ширина. Квазимонохроматическая волна.

Интерференция света. Интерференция, осуществляемая делением амплитуды и делением волнового фронта. Пространственная и временная когерентность. Интерференционные приборы.

Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Интеграл Кирхгофа. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Понятие о голографии. Голограмма плоской волны. Восстановление волны. Голограмма точечного объекта.

Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. Структурный анализ.

Корпускулярные свойства света. Фотоэффект и эффект Комптона.

Рассеяние света. Люминесценция. Спонтанное и вынужденное излучение. Усиление света. Лазеры.

Оптические свойства твердых тел. Основные механизмы и спектры поглощения света. Фотоэлектрические эффекты в полупроводниках.

5. Экспериментальные основы квантовой физики. Корпускулярно-волновой дуализм. Принцип неопределенности.

Волновая функция и ее вероятностная интерпретация. Принцип суперпозиции состояний. Операторы физических величин. Собственные функции и собственные значения операторов. Коммутируемость операторов.

Уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Интегралы движения и условия симметрии. Частица в потенциальной яме. Туннельный эффект. Гармонический осциллятор. Частица в поле центральных сил. Сложение угловых моментов. Электрон в кулоновском поле. Атом водорода в нерелятивистском приближении. Релятивистское уравнение Дирака. Спин и собственный магнитный момент электрона. Уравнение Паули. Энергетический спектр атома водорода с учетом релятивистских поправок. Лэмбовский сдвиг.

Теория возмущений. Стационарные возмущения в отсутствие и при наличии вырождения. Квантовые переходы под влиянием периодического возмущения. Правила отбора при дипольных переходах. Атом во внешнем электромагнитном поле: эффект Зеемана, эффект Штарка, магнитный резонанс.

Многоэлектронные системы. Принцип тождественности частиц. Принцип Паули. Обменное взаимодействие. Метод самосогласованного поля. Адиабатическое приближение. Молекула водорода. Молекулярные спектры.

Зонная теория твердого тела. Металлы, полупроводники и диэлектрики. Приближенные методы расчета зонной структуры.  $k$ - $p$ -метод. Экситоны. Квантование энергии электрона в магнитном поле. Примесные состояния в полупроводниках.

Сверхпроводимость. Электрические и магнитные свойства сверхпроводников. Уравнения Лондонов. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Сверхпроводники II рода. Абрикосовские вихри.

6. Прохождение частиц и излучений через вещество. Ионизационные потери энергии заряженных частиц. Радиационные потери энергии быстрых электронов. Ориентационные явления при прохождении заряженных частиц через монокристаллы. Взаимодействие гамма-квантов и нейтронов с веществом. Радиационные дефекты в твердых телах.

Основные характеристики атомных ядер. Характеристики ядерных состояний. Оболочечная структура атомных ядер. Спин-орбитальное взаимодействие в ядрах. Заполнение нуклонами одночастичных состояний в модели ядерных оболочек, магические числа, спины основных состояний ядер. Коллективные движения в ядрах. Деление ядер.

Гамма-излучение ядер. Мультипольность гамма-квантов. Правила отбора при гамма-переходах. Вероятности переходов. Естественная ширина спектральной линии гамма-излучения. Ядерный гамма-резонанс. Эффект Мессбауэра.

Основные понятия физики элементарных частиц. Фундаментальные частицы - лептоны, кварки. Античастицы. Фундаментальные взаимодействия и поля. Кварковая структура адронов. Основные свойства кварков.

### **III. РЕФЕРАТ ПО ИЗБРАННОМУ НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ**

Реферат по избранному направлению подготовки представляет собой обзор литературы по теме будущего научного исследования и позволяет понять основные задачи и перспективы развития темы будущей диссертационной работы. Реферат включает титульный лист, содержательную часть, выводы и список литературных источников. Объем реферата 10-15 страниц машинописного текста. В отзыве к реферату предполагаемый научный руководитель дает характеристику работы и рекомендуемую оценку, входящую в общий экзаменационный балл.

### **IV. ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА**

**Вопрос 1.** Электромагнитная индукция. Возникновение ЭДС в движущихся проводниках. Закон электромагнитной индукции Фарадея.

**Вопрос 2.** Теплоемкость твердого тела. Фононы. Модели Дебая и Эйнштейна теплоемкости кристаллической решетки.

**Вопрос 3.** Содержание реферата по теме диссертационного исследования (с приложением реферата и отзыва на реферат с отметкой предполагаемого научного руководителя).

## **V. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **1. ОСНОВНАЯ**

1. А.Н. Матвеев. Механика и теория относительности. М., Высшая школа, 1986; М., Оникс, Мир и образование, 2003.
2. И.И. Ольховский. Курс теоретической механики для физиков. М., МГУ, 1978.
3. А.Н. Матвеев. Молекулярная физика. М., Высшая школа, 1981; М., Оникс, Мир и образование, 2006.
4. А.В. Дмитриев. Основы статистической физики конденсированного состояния. М., Ленанд, 2018.
5. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978.
6. А.Н. Матвеев. Электричество и магнетизм. М., Высшая школа, 1983; М., Оникс, Мир и образование, 2006.
7. А.Н. Матвеев. Электродинамика. М., Высшая школа, 1980.
8. А.Н. Матвеев. Оптика. М., Высшая школа, 1985.
9. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. Физика полупроводников. М., Наука, 1990.
10. А.Н. Матвеев. Атомная физика. М., Высшая школа, 1989; М., Оникс, Мир и образование, 2007.
11. А.С. Давыдов. Квантовая механика. М., Наука, 1973.
12. К.Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. Кн. 1, 2. М., Энергоатомиздат, 1993; М., Лань, 2021.
13. Л.Б. Окунь. Физика элементарных частиц. М., Наука, 1988; М., Ленанд, 2022.

### **2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ**

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Гидродинамика. М., Наука, 1986 (гл. 1, 2).
2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория упругости. М., Наука, 1987 (гл. 1, 3).
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика, часть 1. М., Наука, 1995.
4. Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Физическая кинетика. М., Наука, 1979.

## **VI. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ**

Уровень знаний поступающих в аспирантуру МГУ оценивается по десятибалльной шкале. При отсутствии поступающего на вступительном экзамене в качестве оценки проставляется неявка. Результаты сдачи вступительных экзаменов сообщаются поступающим в течение трех дней со дня экзамена путем их размещения на сайте и информационном стенде структурного подразделения. Вступительное испытание считается пройденным, если

абитуриент получил семь баллов и выше.

Вступительный экзамен по специальности проводится в устной форме, по экзаменационным билетам, и состоит из трех вопросов (двух вопросов по различным разделам программы вступительного экзамена и вопроса по реферату).

	0	Нет ответа ни на один из трех заданных вопросов, либо отказ от ответа.
Минимальный уровень знаний	1	Отсутствуют ответы на оба заданных теоретических вопроса, существенные недочеты при изложении темы реферата, выявленные при его экспертной оценке, либо указанные в отзыве.
	2	Отсутствуют ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные недочеты при изложении темы реферата, выявленные при его экспертной оценке, либо указанные в отзыве.
Низкий уровень знаний	3	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, фрагментарный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	4	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, неполный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Средний уровень знаний	5	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, полный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	6	Неполные ответы на оба заданных теоретических вопроса, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Достаточный уровень знаний	7	Полные ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	8	Полные ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Высокий уровень знаний	9	Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом, имеются недочеты при сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	10	Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом, грамотное сопоставление и анализ сведений из различных разделов программы, уверенное владение темой реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).

## **VI. АВТОРЫ**

1. Профессор Скипетров Е.П.
2. Профессор Дмитриев А.В.
3. Профессор Меликов Ю.В.
4. Доцент Скипетрова Л.А.