

Программа
вступительного испытания по специальной дисциплине
в аспирантуру НИЦ «Курчатовский институт»
по группе научных специальностей:
1.3. Физические науки
1.3.8. Физика конденсированного состояния

1. Общие положения

1.1. Данная программа предназначена для подготовки к вступительным испытаниям в аспирантуру по специальной дисциплине. Программа вступительных испытаний в аспирантуру подготовлена в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (уровень магистра или специалиста).

Экзамен проводится с целью выявления у поступающего объёма научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков системного и критического мышления, необходимых для обучения в аспирантуре. Поступающий должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию.

1.2. Программой устанавливается:

форма, структура, процедура сдачи вступительного испытания;

шкала оценивания;

максимальное и минимальное количество баллов для успешного прохождения вступительного испытания;

критерии оценки ответов.

1.3. Вступительное испытание проводится на русском языке.

1.4. Организация и проведение вступительного испытания осуществляется в соответствии с Правилами приема, утвержденными приказом НИЦ «Курчатовский институт».

1.5. По результатам вступительного испытания, поступающий имеет право подать на апелляцию о нарушении, по мнению поступающего, установленного порядка проведения вступительного испытания и (или) о несогласии с полученной оценкой результатов вступительного испытания в порядке, установленном

Правилами приема, действующими на текущий год поступления.

2. Форма, процедура проведения и шкала оценивания вступительного испытания.

2.1. Вступительное испытание проводится в форме экзамена на основе билетов. Экзамен проходит в устной форме. Подготовка к ответу составляет 1 академический час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Ответ на билет оценивается от 0 до 10 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов.

Билет включает в себя два вопроса по общефизическим и математическим дисциплинам, один вопрос по дисциплине специализации.

Вопросы по общей физике охватывают следующие темы: колебания и волны, основы молекулярной физики, термодинамики, оптики, а также квантовой и ядерной физики.

Вопросы по высшей математике призваны определить на основе решения конкретных математических примеров уровень владения поступающим в аспирантуру математическими навыками, необходимыми при решении физических задач.

Вопросы специализации включают в себя вопросы по научной специальности 1.3.8.Физика конденсированного состояния.

В случае проведения экзамена в дистанционном формате вступительное испытание проводится в режиме видеоконференцсвязи.

2.2. Экзамен по специальной дисциплине оценивается по 10-балльной шкале. Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания по специальной дисциплине, устанавливается равным 4 баллам.

Шкала оценивания

Оценка, баллы	Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой
9-10	Поступающий уверенно владеет материалом, приводит точные формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, сопровождает их строгими и полными доказательствами, уверенно отвечает на дополнительные вопросы программы вступительного испытания.

6-8	Поступающий владеет материалом, приводит точные формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, сопровождает их доказательствами, в которых допускает отдельные неточности. Отвечает на большинство дополнительных вопросов по программе вступительного испытания.
4-5	Поступающий знаком с основным материалом программы, приводит формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, но допускает некоторые неточности, сопровождает их доказательствами, в которых допускает погрешности либо описывает основную схему доказательств без указания деталей. Отвечает на дополнительные вопросы по программе вступительного испытания, допуская отдельные неточности.
0-3	Поступающий не владеет основным материалом программы, не знаком с основными понятиями, не способен приводить формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, не умеет доказывать теоремы и другие утверждения, не знает даже схемы доказательств. Не отвечает на большинство дополнительных вопросов по программе вступительного испытания.

3. Вопросы к экзамену

3.1. Вопросы по общефизическим и математическим дисциплинам

Вопросы по общефизическим дисциплинам

1. Колебания, основы молекулярной физики и термодинамики

1. Свободные колебания системы без трения. Математический маятник. Физический маятник. Сложение гармонических колебаний одного направления. Биения. Затухающие колебания. Вынужденные колебания. Резонанс.

2. Различные формы записи уравнения состояния идеального газа. Уравнение адиабаты идеального газа. Работа, совершаемая идеальным газом при политропическом и адиабатическом процессе. Физический смысл энтропии идеального газа.

3. Число ударов молекул газа о стенку. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов.

4. Распределение Максвелла. Наиболее вероятная скорость молекул, средняя арифметическая и средняя квадратичная скорости молекул. Распределение Больцмана. Распределение молекул по координатам. Барометрическая формула.

5. КПД тепловой машины. КПД цикла Карно. Теорема Карно.

6. Явления переноса. Диффузия газов. Вязкость газов. Теплопроводность газов. Явления переноса. Диффузия газов. Газокинетический вывод выражения для коэффициента диффузии. Вязкость газов. Газокинетический вывод выражения для коэффициента вязкости. Теплопроводность газов. Газокинетический вывод выражения для коэффициента теплопроводности.

2. Основы электромагнетизма

7. Линии напряженности электрического поля и эквипотенциальные поверхности. Связь между напряженностью и потенциалом. Работа силы электрического поля. Потенциал.

8. Электрический диполь в однородном и неоднородном поле (вращательный момент, энергия, сила). Дипольный электрический момент системы зарядов. Поле электрического диполя.

9. Поле вне и внутри объемно заряженного шара. Поле одной и двух заряженных плоскостей.

10. Емкость. Конденсаторы. Емкость плоского конденсатора. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля. Плотность энергии.

11. Сила и плотность тока. Закон Ома и закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах. Мощность тока. Удельная тепловая мощность тока.

12. Магнитное поле равномерно движущегося заряда. Сила Лоренца. Сила, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле.

13. Закон Био-Савара-Лапласа. Теорема о циркуляции. Поле в центре и на оси кругового тока. Поле бесконечного прямого тока. Контур с током в однородном и неоднородном магнитном поле (вращательный момент, энергия, сила).

14. Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. Э.Д.С. индукции. Индуктивность соленоида. Токи замыкания и размыкания. Энергия магнитного поля

15. Ток смещения. Полный ток. Уравнения Максвелла.

3. Основы волновой оптики

16. Волновое уравнение. Уравнение плоской волны.

17. Эффект Доплера для звуковых и электромагнитных волн.

18. Принцип Гюйгенса. Принцип Ферма. Законы отражения и преломления.

19. Явление интерференции. Сложение двух электромагнитных волн.

Интенсивность суммарной волны.

20. Временная когерентность, длина когерентности на примере опыта Юнга с монохроматическим протяженным источником.

21. Способы наблюдения интерференции света (зеркало Ллойда, бипризма и бизеркала Френеля).

22. Интерференционные полосы равного наклона. Интерференционные полосы равной толщины. Простой клин.

23. Кольца Ньютона. Интерференция света на тонких пленках. Просветление оптики.

24. Графическое сложение амплитуд. Зоны Френеля.

25. Дифракция Френеля на круглом отверстии и на диске. Дифракция Френеля на щели. Дифракция Фраунгофера на щели.

26. Дифракционная решетка. Положение и угловая ширина главных дифракционных максимумов дифракционной решетки. Дисперсия и разрешающая способность дифракционной решетки.

27. Дифракция рентгеновских лучей. Формула Брэгга-Вульфа.

4. Основы квантовой физики, строения вещества, атомной и ядерной физики

28. Экспериментальные законы теплового излучения (Стефана-Больцмана, Вина).

29. Формула Планка. Вывод закона Стефана-Больцмана из формулы Планка.

30. Фотоэффект. Уравнение А.Эйнштейна для фотоэффекта.

31. Опыт Боте. Фотоны.

32. Эффект Комптона.

33. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца.

34. Элементарная боровская теория водородоподобного атома.

35. Гипотеза де-Бройля. Экспериментальные основания квантовой механики.
36. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Оценка размеров и минимальной энергии водородоподобного атома.
37. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Оценка минимальной энергии одномерного гармонического осциллятора.
38. Уравнение Шрёдингера. Физический смысл и свойства пси-функции.
39. Частица в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме. Результаты квантовой механики для одномерного гармонического осциллятора.
40. Результаты квантовой механики для водородоподобного атома.
41. Собственный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора.
42. Принцип Паули. Заполнение электронных оболочек атома. Электронные конфигурации.
43. Характеристические рентгеновские спектры. Закон Мозли.
44. Комбинационное рассеяние света. Эффект Рамана.
45. Энергетические зоны в твердых телах. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Собственные и примесные полупроводники. Электронная и дырочная проводимость.

3.2. Высшая математика

1. Элементы теории чисел. Натуральные числа. Делимость. Целые, рациональные и действительные числа. Мнимые числа.
2. Функция, ее область определения и область значений. Возрастание, убывание, периодичность, четность, нечетность. Наибольшее и наименьшее значения функции. График функции.
3. Последовательности, предел последовательности. Пределы функций, предел функции по Коши.
4. Понятие производной функции. Основные правила дифференцирования функций. Нахождение экстремумов функции.

5. Понятие первообразной функции. Вычисление неопределенных и определённых интегралов, в том числе несобственных. Интегральная сумма.

6. Понятие числового ряда. Признаки сходимости числовых рядов. Степенные ряды. Разложение функции в ряд Тейлора. Остаточный член в ряде Тейлора.

7. Элементы линейной алгебры. Векторные пространства и линейные отображения, базисы, размерность, квадратичные формы.

8. Понятие матрицы. Действия с матрицами. Определитель матрицы и его вычисление.

9. Элементы теории групп. Линейные представления групп. Группы и алгебры Ли.

10. Гильбертовы пространства. Линейные операторы в гильбертовом пространстве. Понятие о спектре оператора. Линейные операторы и их матрицы в конечномерном вещественном и комплексном пространстве.

11. Система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Методы решения СЛАУ: метод Гаусса, метод Крамера. Критерий существования нетривиального решения системы однородных линейных алгебраических уравнений.

12. Понятия градиента функции, дивергенции, ротора и циркуляции векторного поля. Теоремы Остроградского-Гаусса и Стокса.

13. Понятие обыкновенного дифференциального уравнения. Уравнения первого порядка и методы их решения. Линейное дифференциальное уравнение произвольного порядка с постоянными коэффициентами. Методы его решения.

14. Система линейных дифференциальных уравнений первого порядка. Методы её решения.

15. Понятие аналитической функции. Разложение функции, аналитической в кольце, в ряд Лорана. Классификация изолированных особых точек. Вычеты. Основная теорема о вычетах и её приложения.

16. Основные уравнения математической физики. Классификация линейных дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка с двумя независимыми переменными.

17. Преобразование Фурье и его основные свойства. Применение для решения дифференциальных уравнений.

18. Решение задачи Коши для волнового уравнения в одномерном случае.

19. Элементы теории вероятностей. Случайные величины и распределения вероятностей. Числовые характеристики случайных величин и вероятностных распределений.

20. Основы теории оценивания неизвестных параметров распределений. Статистическая проверка гипотез

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики: в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.1: Механика. Молекулярная физика и термодинамика: учебное пособие для вузов. 2012. 522 с.

2. Савельев И.В. Курс общей физики: в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. 2009. 570 с.

3. Савельев И.В. Курс общей физики: учебное пособие в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учебное пособие для вузов. 2012. 360 с.

4. Иродов И.Е. Волновые процессы: основные законы: учебное пособие для вузов. Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2015. 263 с.

5. Иродов И.Е. Квантовая физика: основные законы. Москва: Бином. Лаборатория знаний. 2014. 256 с.

6. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы: учебное пособие для вузов. Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2014. 320 с.

7. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т.1: Физика атомного ядра. 2009. 383 с.

8. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т. 2: Физика ядерных реакций. 2008. 318 с.

9. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т. 3: Физика элементарных частиц. 2008. 412 с.

10. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2009. 608 с.

11. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: Астрель, АСТ, 2005. 992 с.
12. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры: учебник для вузов. Москва: Физматлит, 2009. 307 с.
13. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики: Учеб. пособие для вузов. М.: МГУ; Наука, 2004. 798 с.
14. Мэтьюз Дж., Уокер Р. Математические методы физики. М., Атомиздат, 1972.
15. Гельфанд И.М. Лекции по линейной алгебре. М., Наука, 1971.

3.3. Вопросы по научной специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния

I. Структурные единицы вещества

1. Понятие частиц в квантовой механике. Структурные единицы вещества. Роль ядер, электронных оболочек, сил взаимодействия структурных единиц в формировании свойств конденсированных сред.
2. Статистика структурных единиц, распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна, принцип Паули.
3. Электрон в поле сферически симметричного потенциала, его энергия, волновая функция. Атом водорода.

II. Орбитали

1. Геометрия волновых функций s , p , d , состояний. Атомные орбитали.
2. Схема энергетических уровней в атоме, заполнение их электронами. 1-ое и 2-ое правила Хунда.
3. Многоцентровые и двухцентровые гибридные орбитали.

III. Симметрия и структура кристаллов

1. Периодические атомные ряды. Трансляции и кристаллические решетки. Базис и кристаллические структуры. Свойства симметрии кристаллических решеток. Решетки Браве. Элементарная ячейка. Двумерные и трехмерные кристаллические решетки Браве.

2. Ячейка Вигнера – Зейтца. Обратная решетка. Простейшие структуры металлов, полупроводников и диэлектриков.

3. Теория и методы структурного анализа. Индексы Миллера. Условие дифракции Лауэ. Формула Брэгга-Вульфа.

IV. Типы связей в кристаллах

1. Силы ван дер Ваальса. Молекулярные кристаллы. Энергия связи. Ионное взаимодействие. Константа Маделунга.

2. Ковалентные кристаллы. Металлическая связь.

3. Водородная связь в кристаллах и жидкостях.

V. Фононы

1. Характер колебаний атомов в решетке. Нулевые колебания. Фононы.

2. Колебания одномерной цепочки. Закон дисперсии акустических фононов в одномерной цепочке атомов при учете взаимодействия атома с двумя ближайшими соседями. Колебания одномерной цепочки из атомов 2-х сортов. Оптические фононы.

3. Групповая и фазовая скорости фононов.

4. Статистика фононов. Вероятность возбуждения фонона, среднее число фононов, средняя энергия возбуждения.

5. Спектральная плотность фононов в трехмерном, двумерном и одномерном случаях. Температура Дебая.

6. Модели Дебая и Эйнштейна. Теплоемкость решетки в модели Дебая в трехмерном, двумерном и одномерном случаях.

VI. Электроны

1. Невзаимодействующие электроны в потенциальном ящике. Энергия и импульс Ферми. Модель ферми-жидкости.

2. Электрон в поле периодического потенциала кристаллической решетки. Эффективный потенциал. Волновая функция электрона.

3. Одноэлектронное приближение, адиабатическое приближение. Теорема Блоха. Квазиимпульс электрона.

4. Закон дисперсии электрона в решетке. Энергетические зоны.

5. Зоны Бриллюэна. Заполнение зон электронами. Поверхности Ферми.

Классификация поверхностей Ферми.

6. Эффективная масса электронов. Различные способы введения понятия эффективной массы электронов в твердом теле.

7. Феноменологическое описание электропроводности. Модель Друде. Электропроводность в модели фермиевских электронов. Формула Лифшица.

8. Плотность электронных состояний в трехмерном, двумерном и одномерном случае.

9. Электронная теплоемкость.

10. Теплопроводность твердого тела и ее зависимость от температуры

VII. Электроны в магнитном поле

1. Квантование энергетического спектра свободных электронов в магнитном поле. Уровни Ландау. Проводник в магнитном поле.

2. Распределение квантованных магнитным полем электронов в пространстве импульсов.

3. Спектральная плотность квантованных магнитным полем электронов.

4. Эффект Шубникова- де Гааза. Условия наблюдения. Связь частоты с энергией Ферми и сечением поверхности Ферми.

VIII. Магнитные свойства конденсированных сред

1. Парамагнетизм немагнитных веществ. Закон Кюри.

2. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм.

3. Обменное взаимодействие. Магнитный фазовый переход. Спонтанная намагниченность.

IX. Сверхпроводимость

1. Явление сверхпроводимости. Эффект Мейсснера. Глубина проникновения магнитного поля. Длина когерентности. Квантование магнитного потока.

2. Сверхпроводник в магнитном поле. Сверхпроводники первого и второго рода. Критические магнитные поля.

X. Квантовые жидкости

1. Жидкий гелий. Фононы и Ротоны в жидком гелии. Закон дисперсии элементарных возбуждений в жидком гелии.

2. Сверхтекучесть. Критерий сверхтекучести Ландау.

Литература

1. Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М. Физматлит, 2016.

2. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М. Физматлит: 2006

Дополнительная литература

1. В.В. Шмидт, Введение в физику сверхпроводников, М.: Наука, 2000.

2. А.А. Абрикосов Основы теории металлов. М.: Физматлит, 2005.

3. Дж. Блейкмор. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988.

4. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.