

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»
(НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ)

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
(физико-математические науки)**

Направление подготовки: **03.06.01 Физика и астрономия**

Направленность: **01.04.07 Физика конденсированного состояния**

РАЗРАБОТАНА в соответствии с:

Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденным приказом Минобрнауки России от 30.07.2014 № 867

в Отделении нейтронных исследований (ОНИ)
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ

РАЗРАБОТЧИКИ:

Голосовский И.В.,
д.ф.-м.н., 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

Зобкало И.А.,
к.ф.-м.н., 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

Курбаков А.И.,
д.ф.-м.н., 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

СОГЛАСОВАНО:

Заместитель директора
по научной работе

В.В. Воронин

Начальник
управления образования

А.Ю. Черненко

РАССМОТРЕНА и ОДОБРЕНА

на заседании Ученого совета НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ

протокол от 08 ФЕВ 2018 № 1

Секретарь Ученого совета
Ученый секретарь

С.И. Воробьев

Общие сведения

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» направленности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния» (далее – Программа кандидатского экзамена) разработана на основе примерной программы кандидатского экзамена по специальности «Физика конденсированного состояния» по физико-математическим и техническим наукам, утвержденной приказом Министерства образования и науки РФ от 08.10.2007 № 274 «Об утверждении программ кандидатских экзаменов».

Программа кандидатского экзамена определяет цель, задачу, форму проведения и регламент кандидатского экзамена, шкалу и критерии оценивания результатов кандидатского экзамена, а также содержит перечень вопросов, выносимых на кандидатский экзамен (далее – Перечень вопросов), и рекомендации по подготовке к кандидатскому экзамену в виде перечня рекомендуемой литературы для подготовки к кандидатскому экзамену.

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине является формой промежуточной аттестации по учебным дисциплинам вариативной части основной профессиональной образовательной программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ (далее – Институт) по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия направленности» 01.04.07 «Физика конденсированного состояния» (далее – программа аспирантуры), направленным на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине (далее – кандидатский экзамен).

Для допуска к сдаче кандидатского экзамена обучающийся, осваивающий программу аспирантуры Института, должен пройти промежуточную аттестацию по учебным дисциплинам программы аспирантуры Института, направленным на подготовку к сдаче кандидатского экзамена, в формах, предусмотренных учебным планом программы аспирантуры.

При наличии государственной аккредитации по программе аспирантуры Института для сдачи кандидатского экзамена в порядке, утвержденном федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере образования, допускается прикрепление к Институту лиц, имеющих высшее образование, подтвержденное дипломом специалиста или магистра, без освоения программы аспирантуры или обучавшихся по соответствующей не имеющей государственной аккредитации программе аспирантуры, подготавливающих диссертацию по соответствующей научной специальности, предусмотренной номенклатурой научных специальностей, утверждаемой Министерством образования и науки РФ (далее – научная специальность). Прикрепление к Институту лиц, осваивающих программу аспирантуры в форме самообразования (вне организаций, осуществляющих

образовательную деятельность), не допускается¹.

Трудоемкость учебной нагрузки обучающихся, осваивающих программу аспирантуры Института, при проведении промежуточной аттестации в форме кандидатского экзамена в соответствии с программой аспирантуры составляет 20 академических часов (далее – ак. ч.) и включает следующие виды учебной деятельности: проведение консультирования обучающихся по вопросам, включенным в Программу кандидатского экзамена (предэкзаменационное консультирование) – 4 ак. ч.; самостоятельная работа по подготовке к кандидатскому экзамену – 8 ак. ч.; проведение кандидатского экзамена – 8 ак. ч.

Прием кандидатского экзамена осуществляет создаваемая Институтком комиссия по приему кандидатского экзамена (далее – экзаменационная комиссия), состав которой утверждается приказом директора Института. Регламент работы экзаменационной комиссии определен ЛНА Института.

Цель и задачи кандидатского экзамена

Цель кандидатского экзамена – осуществление контроля качества освоения учебных дисциплин программы аспирантуры Института, направленных на подготовку к сдаче кандидатского экзамена, в виде оценивания окончательных результатов обучения по комплексу указанных дисциплин.

Задача кандидатского экзамена – определение соответствия уровня сформированности компетенций, позволяющих лицам, сдающим кандидатский экзамен (далее – испытуемый), вести профессиональную деятельность в области физики конденсированного состояния (физико-математические науки), требованиям к результатам освоения вышеуказанных дисциплин, определенным программой аспирантуры Института, а также имеющегося у испытуемого теоретического (практического) задела для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук по соответствующей научной специальности.

Испытуемый должен продемонстрировать:

– знания по указанным дисциплинам, развитость представлений о соответствующих фундаментальных работах, ключевых публикациях, знакомство с дополнительной тематической литературой на русском и иностранном языке, способность аргументированно представлять свою точку зрения, излагая материал в логической последовательности;

¹В соответствии с пп. 9 п. 1 ст. 33 и п. 3 ст. 34 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 № 273-ФЗ, п. 43 Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 19.11.2013 № 1259, п. 3 Порядка прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечня, утвержденного Приказом Министерства образования и науки РФ от 28.03.2014 № 247, п. 3.1. ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 30.07.2014 № 867.

- навыки владения понятийным аппаратом научных исследований, имеющийся научно-исследовательский потенциал, способность к самостоятельной работе, к анализу больших объемов научной информации;
- умение уверенно ориентироваться в проблематике своей предстоящей профессиональной деятельности.

Форма проведения и регламент кандидатского экзамена

Кандидатский экзамен проводится с сочетанием письменной и устной форм по вопросам, представленным в настоящей Программе кандидатского экзамена ниже.

Кандидатский экзамен состоит из двух частей.

Первая часть – развернутый, аргументированный ответ в письменной форме на вопросы из Перечня вопросов: каждый испытуемый индивидуально на усмотрение экзаменационной комиссии получает 3 вопроса, которые вместе формируют экзаменационный билет (Приложение), из разных разделов Перечня вопросов.

На подготовку первой части кандидатского экзамена испытуемому отводится 60 минут.

Вторая часть – собеседование по вопросам первой части кандидатского экзамена и ответы в устной форме на дополнительные вопросы – вопросы из разных разделов Перечня вопросов. Председатель и члены экзаменационной комиссии имеют право задать испытуемому не более 3 вопросов.

Испытуемый имеет право дополнить свой ответ письменными вычислениями, графиками и пр.

Продолжительность подготовки испытуемого к ответу на каждый вопрос второй части кандидатского экзамена – не более 5 минут.

Шкала и критерии оценивания результатов кандидатского экзамена

Результаты кандидатского экзамена определяются экзаменационной комиссией оценками «отлично» (5 баллов), «хорошо» (4 балла), «удовлетворительно» (3 балла) и «неудовлетворительно» (2 балла). Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение кандидатского экзамена.

Критерии оценки:

- знание материала, логика, аргументация ответа;
- умение приложить теорию к практике;
- уровень самостоятельного мышления.

Оценка «отлично» ставится испытуемому, ответ которого:

- на вопросы первой части кандидатского экзамена свидетельствует о глубоких знаниях программного содержания вышеуказанных учебных дисциплин и концептуально-понятийного аппарата, изложен в логической последовательности, аргументированно;

- указывает на способность применить теоретические знания при решении практических задач;
- на вопросы второй части кандидатского экзамена дан по существу и не содержит неточностей.

Оценка «хорошо» ставится испытуемому, ответ которого:

- на вопросы первой части кандидатского экзамена свидетельствует о твердых знаниях программного содержания вышеуказанных учебных дисциплин и концептуально-понятийного аппарата, изложен в логической последовательности, аргументированно;

– указывает на способность применить теоретические знания при решении практических задач;

- на вопросы второй части кандидатского экзамена дан по существу, но содержит отдельные непринципиальные погрешности и неточности.

Оценка «удовлетворительно» ставится испытуемому, ответ которого:

- на вопросы первой части кандидатского экзамена свидетельствует о поверхностных знаниях программного содержания вышеуказанных учебных дисциплин и концептуально-понятийного аппарата, достаточных для предстоящей работы в области профессиональной деятельности, изложен в логической последовательности или с некоторым нарушением логической последовательности, аргументированно или недостаточно аргументированно;

– указывает на достаточную способность применить теоретические знания при решении практических задач;

- на вопросы второй части кандидатского экзамена дан в основном по существу, вызывает незначительные затруднения и содержит непринципиальные погрешности и неточности.

Оценка «неудовлетворительно» ставится испытуемому, ответ которого:

- на вопросы первой части кандидатского экзамена свидетельствует о существенных пробелах в знаниях программного содержания вышеуказанных учебных дисциплин и концептуально-понятийного аппарата, изложен с существенным нарушением логической последовательности, аргументация слабая или отсутствует;

– указывает на слабую способность или неспособность применить теоретические знания при решении практических задач;

- на вопросы второй части кандидатского экзамена вызывает значительные затруднения и содержит принципиальные погрешности и неточности.

Перечень вопросов, выносимых на кандидатский экзамен

Раздел I. Структура кристаллов

1. Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность.

2. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве.
3. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.
4. Точечная и трансляционная симметрия в кристаллах. Основные операции (преобразования) симметрии.
5. Федоровские группы, кристаллические классы (сингонии). Классификация решеток Браве, примитивные и центрированные решетки.
6. Элементы теории групп, операторы, матрицы и характеры. Аксиальный и полярный вектор, Шубниковские группы.

Раздел II. Электронные состояния периодических структур

1. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана.
2. Теорема Блоха. Блоховские функции.
3. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.
4. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов.
5. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.
6. Приближение почти свободных электронов. Метод сильной связи.
7. Присоединенные плоские волны. Метод псевдопотенциала. Формализм функционала плотности.
8. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний.
9. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

Раздел III. Дефекты в твердых телах

1. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.
2. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.
3. Обобщенное описание беспорядка и дифракционной интенсивности. Заселенности атомных позиций и условные вероятности.
4. Описание распределения дефектов и ассоциированных смещений атомов.
5. Корреляционные функции в диффузном вкладе. Параметры ближнего порядка Уоррена – Каули.
6. Классификация дефектов по Кривоглазу. Усреднение по конфигурациям дефектов и выделение δ -образного вклада в рассеяние.
7. Описание дефектов при помощи статических волн отклонений от среднего состава.

Раздел IV. Колебания решетки

1. Колебания кристаллической решетки. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн.
2. Акустические и оптические колебания. Модели Эйнштейна и Дебая.
3. Квантование колебаний. Фононы. Фонон-фононное взаимодействие.
4. Тепловые колебания, фактор Дебая – Уоллера.

Раздел V. Магнитные свойства твердых тел

1. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики и парамагнетики.
2. Магнитный порядок, ферромагнетики, антиферромагнетики и ферримагнетики и метамагнетики.
3. Фазовый переход в упорядоченное состояние. Точки Кюри и Нееля.
4. Закон и параметр Кюри – Вейсса, связь с обменными интегралами.
5. Антиферромагнетики и их магнитная восприимчивость.
6. Суперпарамагнетизм. Температура блокирования.
7. Домены и доменные границы. Энергия анизотропии. Коэрцитивная сила и гистерезис.
8. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях.
9. Электронный парамагнитный резонанс.
10. Ядерный магнитный резонанс.
11. Спиновые волны, магноны.

Раздел VI. Диэлектрические свойства твердых тел

1. Комплексная диэлектрическая проницаемость и поляризуемость. Релаксация.
2. Классификация (сегнето) ферроэлектриков. Фазовые переходы в сегнетоэлектриках.
3. Адиабатический принцип. Фаза Берри.
4. Строгое определение изменения объемной поляризации диэлектриков.
5. Геометрические квантовые фазы.
6. Калибровочная и трансляционная инвариантность.

Раздел VII. Сверхпроводимость

1. Сверхпроводимость. Критическая температура.
2. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера.
3. Критическое поле и критический ток.
4. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства.
5. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.
6. Эффект Джозефсона.
7. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

Раздел VIII. Нейтронное рассеяние в конденсированных средах

1. Открытие нейтрона и его свойства. Взаимодействие нейтронов с материей.
2. Медленные нейтроны. Основные процессы взаимодействия медленных нейтронов с веществом.
3. Рассеяние на свободном ядре и ансамбле. Когерентное и некогерентное рассеяние.
4. Получение нейтронов, нейтронные источники. Атомные реакторы и источники нейтронов на базе ускорителей.
5. Регистрация нейтронов.
6. Кристаллическая решетка. Симметрия. Прямое и обратное пространство.
7. Упругое (Брэгговское) рассеяние на кристалле и поликристалле, диффузное рассеяние.
8. Структурный фактор и Фурье-преобразование. Корреляционные функции.
9. Тепловое и парамагнитное рассеяние. Кинематическое и динамическое рассеяние.
10. Оператор спина и орбитальный магнитный момент нейтрона.
11. Магнитное взаимодействие нейтрона. Дифференциальное сечение магнитного рассеяния.
12. Неупругое рассеяние. Неупругое рассеяние нейтронов.
13. Фононы и магноны.
14. Сечение рассеяния и кривые дисперсии. Измерение плотности состояний.
15. Возбуждения в магнитоупорядоченных кристаллах. Основное состояние и возбуждение магнонов.
16. Спиновые волны и корреляционные функции. Восстановление спектра фононов (магнонов) из эксперимента.
17. Малоугловое рассеяние нейтронов. Плотность длины рассеяния. Сечение рассеяния на флуктуациях плотности.
18. Кривая рассеяния и модели. Прямая и обратная задачи. Интегральные параметры кривой рассеяния.
19. Нейтронная рефлектометрия. Когерентная и некогерентная амплитуды рассеяния.
20. Показатель преломления для нейтронов. Зеркальное отражение. Поляризационная рефлектометрия.
21. Шероховатости поверхности и диффузное рассеяние (незеркальное отражение).
22. Поляризованные нейтроны. Методы получения и законы рассеяния.
23. Прецессия спина нейтрона в однородном магнитном поле. Изменение поляризации при рассеянии в ферро- и антиферромагнетиках.
24. Методики исследований с поляризованными нейтронами.

Раздел IX. Синхротронное рассеяние в конденсированных средах

1. Рентгеновское излучение и его взаимодействие с веществом. Понятие дифракции рентгеновского излучения.

2. Взаимосвязь амплитуды рассеянного излучения с электронной плотностью системы-рассеивателя.
3. Кинематическая теория дифракции. Дифракция на кристалле как на системе атомов.
4. Структурная амплитуда. Формула Лауэ. Условия Брэгга.
5. Синхротронное излучение. Источники синхротронного излучения.
6. Светосила и потоки синхротронного и лабораторного рентгеновского излучений.
7. Геометрия дифракционной картины. Векторный треугольник.
8. Интерпретация дифракции на кристалле как отражения от кристаллографических плоскостей.
9. Формула Вульфа-Брэгга. Построение Эвальда. Сферы отражения и ограничения.
10. Интенсивности дифракционных спектров. Интегральная интенсивность пика как свертка сечения рассеяния и функции разрешения.
11. Введение поправок в формулы для интегральной интенсивности. Фактор поглощения. Учет вторичной экстинкции.
12. Тепловой фактор, изотропное и анизотропное приближения. Связь теплового фактора с фононным спектром и теплоемкостью кристалла

Рекомендуемая литература

1. Асланов, Л.А. Основы теории дифракции рентгеновских лучей / Л.А. Асланов, Е.Н. Треушников. – М. : Изд. МГУ, 1985.
2. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела. Т. 1–2 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин. – М. : Мир, 1979.
3. Вонсовский, С.В. Магнетизм / С.В. Вонсовский. – М. : Наука, 1971.
4. Гуревич, И.И. Физика нейтронов низких энергий / И.И. Гуревич, Л.В. Тарасов. – М. : Наука, 1965.
5. Займан, Дж. Принципы теории твердого тела / Дж. Займан. – М. : Мир, 1974.
6. Игнатович, В.К. Физика ультрахолодных нейтронов / В.К. Игнатович. – М. : Наука, 1986.
7. Изюмов, Ю.А. Нейтронография магнетиков. Т. 2 / Ю.А. Изюмов, В.Е. Найш, Р.П. Озеров. – М. : Атомиздат, 1981.
8. Изюмов, Ю.А. Нейтронная спектроскопия. Т. 3 / Ю.А. Изюмов, Н.А. Черноплеков. – М. : Энергоатомиздат, 1983.
9. Каули, Д.М. Физика дифракции / Д.М. Каули. – М. : Мир, 1979.
10. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. – М. : Наука, 1978.
11. Кривоглаз, М.А. Дифракция рентгеновских лучей и нейтронов в неидеальных кристаллах / М.А. Кривоглаз. – Киев: Наукова Думка, 1983.
12. Ландау, Л.Д. Квантовая механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М. : Физматлит, 2014.

13. Ландау, Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М. : Наука, 2015.
14. Нозик Ю.З. Структурная нейтронография. Т. 1 / Ю.З. Нозик, Р.П. Озеров, К. Хенниг. – М. : Атомиздат, 1979.
15. Нейтроны и твердое тело / под ред. Р.П. Озерова. – М. : Наука, 2003.
16. Павлов, П.В. Физика твердого тела / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. – М. : Высшая школа, 2000.
17. Рассел, Дж. Дифракционные методы / Дж. Рассел. – Изд-во VSD, 2012.
18. Свергун, Д.И. Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние / Д.И. Свергун, Л.А. Фейгин. – М. : Наука, 1986.
19. Уэрт, Ч. Физика твердого тела / Ч. Уэрт, Р. Томсон. – М. : Мир, 1969.
20. Фетисов, Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ / Г.В. Фетисов ; под ред. Л.А. Асланова. – М. : Физматлит, 2007.
21. Шмидт, В.В. Введение в физику сверхпроводимости / В.В. Шмидт. – М. : МЦ НМО, 2000.
22. Bruce, D.W. Structure from Diffraction Methods. Inorganic Materials Series / D.W. Bruce, D. O'Hare, R.I. Walton. – Wiley, 2014.
23. Mittemeijer, E.J. Modern Diffraction Methods / E.J. Mittemeijer, U. Welzel. – Wiley, 2012.

*Образец экзаменационного билета для сдачи кандидатского экзамена
по специальной дисциплине*

**Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»
(НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ)**

Направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия
Направленность: 01.04.07 Физика конденсированного состояния
(физико-математические науки)

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ

1. Раздел перечня вопросов, вынесенных на кандидатский экзамен (I–IX): ____

Вопрос: _____

2. Раздел перечня вопросов, вынесенных на кандидатский экзамен (I–IX): ____

Вопрос: _____

3. Раздел перечня вопросов, вынесенных на кандидатский экзамен (I–IX): ____

Вопрос: _____

Время на подготовку в письменной форме ответов на вопросы составляет 60 минут.
Ответы должны быть полными, развернутыми, аргументированными, логически выстроенными.
Рекомендуется дополнять ответ на каждый из вопросов графиками, таблицами, вычислениями и т.п.