



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ИГУ»)



Утверждаю
Проректор по учебной работе
А.И. Вокин

ПРОГРАММА
вступительного испытания для поступающих на обучение по
программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в
аспирантуре

Научная специальность: 1.3.8 Физика конденсированного состояния

Иркутск 2026

1. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Программа предназначена для подготовки к вступительному испытанию для поступающих на обучение по программам подготовки научных и научно–педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности «1.3.8 Физика конденсированного состояния».

Целью вступительного испытания является оценка уровня освоения поступающим компетенций, необходимых для обучения научной специальности «1.3.8 Физика конденсированного состояния» по программам подготовки научных и научно–педагогических кадров в аспирантуре.

Поступающий должен изучить следующие разделы:

Раздел 1. Силы связи в твердых телах

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

Раздел 2. Симметрия твердых тел

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. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

Раздел 3. Дефекты в твердых телах

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

Раздел 4. Дифракция в кристаллах

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

Раздел 5. Колебания решетки

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.

Раздел 5. Тепловые свойства твердых тел

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

Раздел 6. Электронные свойства твердых тел

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

Раздел 7. Магнитные свойства твердых тел

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

проводимости. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля). Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферромагнетики. Магнитная структура ферромагнетиков. Спиновые волны, магноны. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

Раздел 8. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра). Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

Раздел 9. Сверхпроводимость

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

2. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

Основная литература

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978 г.
2. Ашкрофт Н., Мермин М. Физика твердого тела. Т. 1, 2. М.: Наука, 1979 г.
3. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. – М.: Высшая школа, 2000.
4. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. – М.: Наука, 1982; М.: МЦНМО, 2000 (2-е издание, испр. и доп.).
5. Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
6. Дикарева Р.П. Введение в кристаллофизику. – М.: Наука, 2007.

7. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия. Учебник для ВУЗов. – М.: Книжный дом, 2005.
8. Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф., Фадеев М.А. Основы кристаллографии: учеб. для вузов. – М.: Физматлит, 2004.
9. Гуревич А.Г. Физика твердого тела: Учебное пособие для вузов / ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. – СПб.: Невский Диалект; БХВ–Петербург, 2004.
10. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. – М.: МИСИС, 2002.
11. Матухин В.П., Ермаков В.Л. Физика твердого тела. – СПб.: Лань, 2010.
12. Нестехиометрия, беспорядок, ближний и дальний порядок в твердом теле / А.И. Гусев. – М.: Физматлит, 2007.

Дополнительная литература

1. Страумал Б.Б. Фазовые переходы на границах зерен. – М.: Наука, 2003.
2. Введение в физику твердого тела. Основы квантовой механики и статистической физики с отдельными задачами физики твердого тела : учеб. пособие для вузов / И.Ф. Гинзбург. – СПб: Лань, 2007.
3. Бокштейн Б.С., Ярославцев А.Б. Диффузия атомов и ионов в твердых телах. – М.: МИСИС, 2005.
4. Мерер Х. Диффузия в твердых телах. Монография. Пер. с англ. – Долгопрудный: Интеллект, 2011.
5. Винтайкин Б.Е. Физика твердого тела. Учебное пособие. – М.: МГТУ, 2006.
6. Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П. Основы физики твердого тела: Учеб. пособие для вузов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.
7. Вакс В.Г. Межатомные взаимодействия и связь в твердых телах. – М.: ИзДАТ, 2002.
8. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
9. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971

3. ФОРМА ПРОВЕДЕНИЯ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

Вступительное испытание проводится очно в устной форме по билетам. Длительность экзамена – 1,5 часа (90 минут). Экзаменационный билет включает три вопроса. Экзаменационные билеты выдаются каждому поступающему в аспирантуру членом

экзаменационной комиссии с указанием в протоколе заседания экзаменационной комиссии содержания экзаменационного билета и даты приема вступительного экзамена. Индивидуальные экзаменационные листы подписываются каждым поступающим, а протокол заседания экзаменационной комиссии - председателем и членами экзаменационной комиссии. Итоговое количество баллов, присуждаемое членами комиссии каждому абитуриенту, зависит от знания и изложения материала по основным вопросам экзаменационного билета, а также от качества ответов абитуриента на дополнительные вопросы, задаваемые членами экзаменационной комиссии. Уровень знаний поступающего оценивается экзаменационной комиссией по **100-балльной** шкале.

Критерии оценивания уровня знаний

90-100 баллов

выставляется экзаменационной комиссией за обстоятельный, безошибочный ответ на все вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Поступающий в аспирантуру в процессе ответа на вопросы правильно определяет основные понятия, свободно ориентируется в теоретическом материале по предложенной тематике. Экзаменуемый показывает всестороннее, систематическое и глубокое знание материала; может объяснить взаимосвязь основных понятий; проявляет аналитические способности в понимании и изложении материала; проводит научные аналогии, экстраполирует знания на смежные области и практику, может поддерживать научную дискуссию. В ходе собеседования устанавливается высокая степень мотивированности к подготовке и защите кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры. Кандидат осознает значимость работы и ее практическую ценность, обладает существенным научным заделом, включающим опубликованные статьи в научных изданиях и результаты выступлений на профильных конференциях.

80-89 баллов

выставляется экзаменационной комиссией за правильный и достаточно полный ответ на все вопросы экзаменационного билета и уточняющие вопросы членов экзаменационной комиссии. Поступающий правильно определяет основные понятия, хорошо ориентируется в теоретическом и практическом материале по предложенной тематике, может объяснить взаимосвязь основных понятий. Оценка может быть снижена в случае затруднений поступающего при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии,

ответы содержат отдельные несущественные неточности. В ходе собеседования устанавливается достаточная степень мотивированности к подготовке и защите кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры, имеется базовый научный задел по теме планируемого исследования (1 статья).

70-79 баллов

выставляется экзаменационной комиссией за верный в целом ответ на вопросы экзаменационного билета. При ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии поступающий испытывает затруднения, допускает неточности, при этом ответы производят положительное впечатление. В ходе собеседования устанавливается средняя степень мотивированности к подготовке и защите кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры, больше обусловленная внешними факторами (получение ученой степени, отсрочки от армии), чем с внутренним интересом к научному исследованию.

60-69 баллов

выставляется поступающему в аспирантуру при недостаточно полном и ответе на вопросы экзаменационного билета и при возникновении серьезных затруднений при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Экзаменуемый показывает знания основного материала в минимальном объеме, знаком с литературой, рекомендованной программой. Допускает существенные неточности в ответах, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством экзаменаторов. В ходе собеседования устанавливается низкая степень подготовленности поступающего в аспирантуру к проведению самостоятельных научных исследований (в том числе на основании анализа представленных индивидуальных достижений) по выбранной научной специальности; мотивация к подготовке кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры низкая или совсем отсутствует.

0-59 баллов

выставляется в случае отсутствия или низкого качества ответа на вопросы экзаменационного билета. Экзаменуемый показывает пробелы в знаниях основного материала, не знает основных понятий в рамках Программы по выбранной научной специальности, не видит вопрос в целостном виде. Делает грубые существенные ошибки при ответах на вопросы билета, а также дополнительные вопросы комиссии, не может исправить допущенные ошибки самостоятельно. Кандидат демонстрирует низкую эмоциональную вовлеченность к

подготовке и защите кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры, не имеет четкого плана с этапами и сроками.

Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания – **60 баллов**, максимально возможное количество – **100 баллов**. Итоговое количество баллов за устный ответ присуждается абитуриенту в результате подсчета среднего арифметического количества баллов, предложенных каждым членом экзаменационной комиссии.

4. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ

- 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.
- 3) Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO_3 . Основные свойства ковалентной связи.
- 4) Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.
- 5) Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура.
- 6) Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера - Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.
- 7) Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.
- 8) Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле.
- 9) Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

- 10) Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.
- 11) Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле.
- 12) Упругое и неупругое рассеяние, их особенности. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.
- 13) Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн.
- 14) Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.
- 15) Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.
- 16) Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.
- 17) Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.
- 18) Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.
- 19) Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.
- 20) Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.
- 21) Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс.
- 22) Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Приближение сильносвязанных электронов.
- 23) Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

- 24) Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.
- 25) Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри - Вейсса.
- 26) Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние.
- 27) Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).
- 28) Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков.
- 29) Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков. Спиновые волны, магноны.
- 30) Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.
- 31) Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.
- 32) Поглощение света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.
- 33) Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра). Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.
- 34) Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.
- 35) Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.
- 36) Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

Разработчики:

доктор физ.-мат. наук, профессор Е.Ф. Мартынович

доктор физ.-мат. наук, доцент В.П. Дресвянский