

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**  
**«Казанский (Приволжский) федеральный университет»**



**УТВЕРЖДАЮ**

Первый проректор  
Проректор по научной деятельности

Д.А. Токарский

« 26 »

2025 г.



**Программа кандидатского экзамена по научной специальности**

**1.3.8 Физика конденсированного состояния**

2025

## **Цель и задачи кандидатского экзамена по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния**

### **Цель:**

Кандидатские экзамены являются составной частью аттестации научных и научно-педагогических кадров. Цель экзамена - установить глубину профессиональных знаний соискателей ученой степени, уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе. Сдача кандидатских экзаменов обязательна для присуждения ученой степени.

Экзамен по специальной дисциплине должен выявить уровень теоретической и профессиональной подготовки соискателя, знание общих концепций и методологических вопросов соответствующей науки, истории её формирования и развития, фактического материала, основных теоретических и практических проблем данной отрасли знаний.

### **Задачами является выявление:**

- знаний особенностей квантово-механического описания квазичастичных возбуждений в конденсированных средах, основных термодинамических и кинетических характеристик, моделей коллективных и связанных состояний и их возбуждений в твердых телах, современных методов теории конденсированного состояния, современных направлений исследований в области физики конденсированного состояния;
- способности к критическому анализу и оценке современных научных достижений в области физики конденсированного состояния;
- современными методами исследований и информационно-коммуникационными технологиями;
- умения выделить конкретное физическое содержание в задачах будущей деятельности, formalизовать эти задачи и применить теории конденсированного состояния к их решению.

### **Основные требования:**

Основным требованием допуска к сдаче кандидатского экзамена является наличие подписанного заявления и утвержденной дополнительной программы кандидатского экзамена.

Сдача кандидатского экзамена осуществляется в соответствии с календарным учебным графиком и индивидуальным учебным планом аспиранта. Кандидатские экзамены у прикрепленных лиц принимаются в период, установленный приказом ректора КФУ. В случае представления диссертации в совет по защите на соискание ученой степени кандидата наук, возможен прием кандидатских экзаменов вне сроков сессии.

### **Порядок проведения кандидатского экзамена**

Кандидатский экзамен по специальности проводится очно в форме экзамена на основе билетов. При продолжительном пребывании аспиранта за пределами Российской Федерации с целью выполнения диссертационной работы, в исключительных случаях разрешается проведение экзамена в дистанционном формате с использованием видеосвязи. В каждом экзаменационном билете 2 вопроса по основной программе и 1 вопрос по дополнительной программе. Дополнительная программа утверждается на Ученом совете Института физики для каждого аспиранта персонально со списком вопросов по теме диссертационного исследования аспиранта. Подготовка к ответу составляет 1 час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Задания оцениваются от 0 до 5 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов.

## **Критерии оценивания**

Оценка соискателю за письменную работу выставляется в соответствии со следующими критериями:

### **Отлично (5 баллов)**

Соискатель обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание материала, умение свободно выполнять задания, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной данной программой, усвоил взаимосвязь основных понятий физики конденсированного состояния в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

### **Хорошо (4 балла)**

Соискатель обнаружил полное знание вопросов физики конденсированного состояния, успешно выполнил предусмотренные тестовые задания, показал систематический характер знаний по физике и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

### **Удовлетворительно (3 балла)**

Соискатель обнаружил знание основ физики конденсированного состояния в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением тестовых заданий, знаком с основной литературой, рекомендованной данной программой, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

### **Неудовлетворительно (2 и менее баллов)**

Соискатель обнаружил значительные пробелы в знаниях основ физики конденсированного состояния, допустил принципиальные ошибки в выполнении тестовых заданий и не способен продолжить обучение по физике.

## **Вопросы программы кандидатского экзамена по научной специальности**

### **1.3.8 Физика конденсированного состояния**

#### *1. Силы связи в твердых телах*

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальса 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<sub>3</sub>.

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.

#### *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.

### *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.

### *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.

### *5. Колебания решетки*

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Моноатомная одномерная решетка Бравэ и одномерная решетка Бравэ с базисом. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

### *6. 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.

### *7. 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. Квазимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

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

Приближение сильно связанных 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.

### *8. 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. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

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

#### *9. 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.

#### *10. Сверхпроводимость*

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера. 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.

### **Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы**

#### **кандидатского экзамена в аспирантуру по научной специальности**

##### **1.3.8 Физика конденсированного состояния**

#### **Основная литература**

1. Епифанов, Г. И. Физика твердого тела: учебное пособие / Г. И. Епифанов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-1001-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210671> (дата обращения: 06.12.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Байков, Ю. А. Физика конденсированного состояния: учебное пособие / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. — 6-е изд. (эл.). — Москва: Лаборатория знаний, 2024. — 296 с. — ISBN 978-5-93208-863-0. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/400142> (дата обращения: 06.12.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Брандт, Н. Б. Квазичастицы в физике конденсированного состояния: учебное пособие / Н. Б. Брандт, В. А. Кульбачинский. — 3-е изд. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 632 с. — ISBN 978-5-9221-1209-3. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/59598> (дата обращения: 06.12.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Стрекалов, Ю. А. Физика твердого тела: Учебное пособие / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2018. - 307 с.: - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-369-00967-3. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/959952> (дата обращения: 06.12.2025). – Режим доступа: по подписке.
5. Илюшин, А. С. Введение в структурную физику высокотемпературных сверхпроводников / А. С. Илюшин, И. В. Зубов; МГУ им. М. В. Ломоносова, Физ. фак. — М.: Изд-во МГУ,

1991. — 111 с.: ил. (2 экз.)
6. Матухин, В. Л. Физика твердого тела : учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 224 с. — ISBN 978-5-8114-0923-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210305> (дата обращения: 06.12.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Гуртов, В. А. Физика твердого тела для инженеров: учеб. пособие / Гуртов В. А. , Осауленко Р. Н. - Издание 2-е, доп. - Москва : Техносфера, 2012. - 560 с. - ISBN 978-5-94836-327-1. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948363271.html> (дата обращения: 06.12.2025). - Режим доступа: по подписке.

### Дополнительная литература

1. Абрикосов, А. А. Основы теории металлов: учебное пособие / А. А. Абрикосов. — 2-е изд. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 600 с. — ISBN 978-5-9221-1097-6. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2093> (дата обращения: 06.12.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Еремин, М. В. Микроскопические модели в конденсированных средах: конспект лекций / М. В. Еремин; ФГАОУВПО "Казан. (Приволж.) федер. ун-т", Ин-т физики. — Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет], 2011. — 112 с.: ил. (5 экз.).
3. Павлов П. В. Физика твердого тела: учебное пособие для вузов по спец. "Физика" / П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов — Москва: Высшая школа, 1985. — 384 с. : ил. (4 экз.).
4. Вонсовский, С.В. Сверхпроводимость переходных металлов, их сплавов и соединений. — Москва: Наука, 1977. — 383с. (4 экз.).
5. Бонч-Бруевич В. Л. Физика полупроводников: учебное пособие для вузов / В. Л. Бонч-Бруевич, С. Г. Калашников — Москва: Наука, 1990. — 688 с. (71 экз.).
6. Аплеснин, С. С. Основы спинtronики: учебное пособие / С. С. Аплеснин. — 2-е изд. испр. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-1060-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210443> (дата обращения: 06.12.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Винтайкин, Б. Е. Физика твердого тела / Винтайкин Б. Е. , Под ред. Л. К. Мартинсона, А. Н. Морозова - Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. - 360 с. (Физика в техническом университете) - ISBN 5-7038-2459-1. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5703824591.html> (дата обращения: 06.12.2025). - Режим доступа: по подписке.
8. Ашкрофт Н. Физика твердого тела: перевод с английского / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; Пер. с англ. А. С. Михайлова; Под ред. М. И. Каганова. — Т. 1. — Москва: Мир, 1979. — 399 с.: ил. (14 экз.).
9. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела: перевод с английского / Н. Ашкрофт, Н. Мермин; Пер. с англ. К. И. Кугеля, А. С. Михайлова; Под ред. М. И. Каганова. — Т. 2. — Москва: Мир, 1979. — 422 с.: ил., табл. (14 экз.).
10. Введение в физику твердого тела: перевод с англ. А.А. Гусева / Ч. Киттель. — изд. 2-е перераб. — М.: Физматгиз, 1963. — 696 с. (16 экз.).
11. Принципы теории твердого тела: перевод с английского / Дж. Займан ; Под ред. В. Л. Бонч-Бруевича. — Москва: Мир, 1974. — 472 с. : ил. (25 экз.).

## **Информационное обеспечение**

1. Сайт Научной библиотеки им. Н. И. Лобачевского <http://kpfu.ru/library>
2. Информационный бюллетень ПерсТ - <http://www.issp.ac.ru/journal/perst/>
3. Элементы большой науки <https://elementy.ru/>
4. Российская государственная библиотека <https://www.rsl.ru/>
5. Модели электронного строения высокотемпературных сверхпроводников - <http://www.nano-journal.ru/images/6/62/Nano@0101Eremin.pdf>
6. Электронный каталог научно-технической литературы ВИНИТИ <http://catalog.viniti.ru/>
7. Электронная библиотека «Наука и техника» <http://n-t.ru>
8. Сайт Nature publishing <https://www.nature.com/subjects/physics>
9. Журнал Успехи физических наук <http://ufn.ru/>
10. Сайт Science Direct <https://www.sciencedirect.com/topics/physics-and-astronomy/condensed-matter-physics>
11. Энциклопедия Британника <https://www.britannica.com/browse/Matter-Energy>
12. Сайт НИЯФ МГУ <http://nuclphys.sinp.msu.ru/solidst/index.html#%D1%81>
13. Архив препринтов - <http://arxiv.org/find/cond-mat>