



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
АКАДЕМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Ж.И. АЛФЕРОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

по образовательной деятельности

М.В. Мишин

«11» сентября 2023 г.



**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

Научная специальность

1.3.8 Физика конденсированного состояния

ОТРАСЛЬ НАУКИ

Физико-математические

Санкт-Петербург

2023 г.

Разработчики программы:

д.ф.-м.н. Журихина В.В., д.ф.-м.н. Липовский А.А.

1. Общие положения

1.1. Группа научных специальностей:

1.3 Физические науки

Наименование отрасли науки, по которой присуждаются ученые степени:

Физико-математические

Шифр научной специальности:

1.3.8 Физика конденсированного состояния

1.2. Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине по научной специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния разработана в соответствии с:

- Федеральным законом Российской Федерации от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- Федеральным законом Российской Федерации от 23.08.1996 № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике»;
- Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней»;
- Приказом Минобрнауки России от 28.03.2014г. № 247 «Об утверждении порядка прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечня» (в ред. Приказа Минобрнауки России от 05.08.2021 №712);
- Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.02.2021г. № 118 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, и внесение изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденное Министерством образования и науки Российской Федерации от 10.11.2017г. № 1093»;
- Паспортом научной специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

1.3. Программа кандидатского экзамена регламентирует цель, задачи, содержание, организацию кандидатского экзамена, порядок работы экзаменационной комиссии, порядок оценки уровня знаний и включает перечень тем и вопросов, выносимых на кандидатский экзамен.

1.4. Кандидатские экзамены представляют собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата физико-математических наук (аспиранта/прикрепленного лица) к проведению

научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли наук, по которой подготавливается диссертация.

2. Цель проведения кандидатского экзамена

Целью проведения кандидатского экзамена по специальной дисциплине является оценка степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук (аспиранта/прикрепленного лица) к проведению научных исследований по научной специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния и отрасли науки – физико-математические, по которой подготавливается диссертация:

- проверка сформированности умений в области применения физики конденсированного состояния, использования междисциплинарных установок и общенаучных понятий в решении комплексных задач теории и практики в конкретно научной исследовательской деятельности;
- владение основными методами на уровне, позволяющем получать качественные результаты при решении теоретических и прикладных задач в области физических дисциплин;
- получение практических навыков аргументации в обосновании научного статуса и актуальности конкретной исследовательской задачи, в работе с внеэмпирическими методами оценки выдвигаемых проблем и гипотез.

Сдача кандидатских экзаменов обязательна для прохождения промежуточной и государственной итоговой аттестации/итоговой аттестации, для присуждения ученой степени кандидата наук.

3. Задачи, решаемые в ходе сдачи кандидатского экзамена

В ходе сдачи кандидатского экзамена необходимо оценить:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области естественных наук.

4. Структура и содержание кандидатского экзамена

4.1. Кандидатский экзамен по специальной дисциплине 1.3.8 Физика конденсированного состояния проводится в устной форме по билетам.

Экзаменационный билет включает в себя два вопроса по специальной дисциплине и третий вопрос по теме диссертационного исследования.

Продолжительность устного ответа на экзамене – 20 минут, время на подготовку к ответу на экзаменационный билет – 15 мин.

4.2. Комиссия по приему кандидатского экзамена по специальной дисциплине правомочна принять экзамен, если в ее заседании участвуют не менее 3 специалистов, имеющих ученую степень кандидата или доктора наук

по научной специальности, соответствующей специальной дисциплине, в том числе 1 доктор наук.

Решение экзаменационной комиссии оформляется протоколом по установленной Университетом форме.

4.3. Университет вправе применять дистанционные образовательные технологии при проведении кандидатского экзамена.

При проведении кандидатского экзамена с применением дистанционных образовательных технологий Академический университет обеспечивает идентификацию личности аспиранта /прикрепленного лица.

5. Перечень тем, вынесенных на кандидатский экзамен

1. Силы связи в твердых телах
2. Симметрия твердых тел
3. Дефекты в твердых телах
4. Дифракция в кристаллах
5. Колебания решетки
6. Тепловые свойства твердых тел
7. Электронные свойства твердых тел
8. Магнитные свойства твердых тел
9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел
10. Сверхпроводимость

6. Перечень вопросов для проведения кандидатского экзамена

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. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO_3 .
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.
4. 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.
5. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

6. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.
7. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.
8. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.
9. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.
10. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.
11. 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.
12. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.
13. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.
14. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.
15. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.
16. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.
17. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.
18. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.
19. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.
20. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.
21. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.
22. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

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

7. Порядок оценки уровня знаний

- 7.1. Оценка уровня знаний соискателя ученой степени кандидата наук определяется экзаменационной комиссией по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».
- 7.2. При оценке знаний и уровня подготовки экзаменационная комиссия по приему кандидатского экзамена определяет:
 - уровень освоения материала, предусмотренного программой кандидатского экзамена;
 - умение использовать теоретические знания при выполнении практических задач;

- обоснованность, четкость, краткость изложения ответа.

7.3. Общими критериями, определяющими оценку за кандидатский экзамен, являются:

- для оценки «отлично»: наличие глубоких и исчерпывающих знаний в объеме пройденного программного материала, грамотное и логически стройное изложение материала при ответе, знание дополнительно рекомендованной литературы;
- для оценки «хорошо»: наличие твердых и достаточно полных знаний программного материала, незначительные ошибки при освещении заданных вопросов;
- для оценки «удовлетворительно»: наличие твердых знаний программного материала, изложение ответов с ошибками, уверенно исправляемыми после дополнительных вопросов, необходимость наводящих вопросов;
- для оценки «неудовлетворительно»: наличие грубых ошибок в ответе, непонимание сущности излагаемого вопроса, неуверенность и неточность ответов на дополнительные вопросы.

8. Методические указания по подготовке к сдаче кандидатского экзамена

8.1 При подготовке к кандидатскому экзамену рекомендуется:

- внимательно прочесть источники в списке рекомендуемой литературы и проанализировать информацию;
- сделать выписки (конспект) необходимой информации в соответствии с темами и перечнем вопросов;
- систематизировать и классифицировать полученные данные по тематическим разделам и вопросам;
- составить рабочие записи – ключевые опорные пункты в соответствии с логикой ответа на экзаменационные вопросы;
- подобрать необходимую иллюстрированную информацию по содержанию ответа.

9. Перечень рекомендуемой литературы и ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Основная литература:

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. I, II. М.: Мир, 1979.
3. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979.
4. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводимости. МЦ НМО, М., 2000.

Дополнительная литература:

1. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969.
2. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
3. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.
4. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высш. шк., 2000.