



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)

Физический факультет

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине
Группа научных специальностей – 1.3. Физические науки
Научная специальность – 1.3.8. Физика конденсированного состояния
Подготовка кадров высшей квалификации

Версия документа - 2

стр. 1 из 12

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

И.В. Бычков

« 05 » _____ 2022 г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

Группа научных специальностей – 1.3. Физические науки

Научная специальность – 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Подготовка кадров высшей квалификации

Челябинск, 2022

 МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)			
Физический факультет			
Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине Группа научных специальностей – 1.3. Физические науки Научная специальность – 1.3.8. Физика конденсированного состояния Подготовка кадров высшей квалификации			
Версия документа - 2	стр. 2 из 12	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине разработана кафедрой физики конденсированного состояния в соответствии паспортом научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Разработчики:

Зав. кафедрой физики конденсированного состояния,
 доктор физико-математических наук, профессор В.Д. Бучельников

Программа одобрена на заседании кафедры физики конденсированного состояния от «14» апреля 2022 г., протокол № 7.

Зав. кафедрой В.Д. Бучельников

Программа принята на заседании Ученого совета физического факультета от «28» апреля 2022 г., протокол № 07.

Согласовано

И.о. декана физического факультета Д.А. Захаревич

Зав. отделом аспирантуры
 и докторантуры Н.В. Бочкарева

 МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)			
Физический факультет			
Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине Группа научных специальностей – 1.3. Физические науки Научная специальность – 1.3.8. Физика конденсированного состояния Подготовка кадров высшей квалификации			
Версия документа - 2	стр. 3 из 12	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____

Общие положения

Кандидатские экзамены являются основной частью аттестации научных и научно-педагогических кадров. Цель экзамена – установить глубину профессиональных знаний прикрепленного лица (далее – соискатель ученой степени кандидата наук, соискатель), уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе.

Программа включает вопросы по разделам: силы связи в твердых телах, симметрия твердых тел, дефекты в твердых телах, дифракция в кристаллах, колебания решетки, тепловые свойства твердых тел, электронные свойства твердых тел, магнитные свойства твердых тел, оптические и магнитооптические свойства твердых тел, сверхпроводимость.

На экзамене кандидатского минимума по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния соискатель ученой степени кандидата наук должен продемонстрировать владение методами решения задач физики, включая знание основных теорий и концепций всех разделов дисциплины. Он также должен показать умение использовать теории и методы физики для анализа современных проблем физики и избранной области предметной специализации.

От соискателя требуется четко, емко и кратко изложить теоретический материал, владеть соответствующей терминологией и проявить это в ответах.

В реферате должны быть освещены проблемные аспекты темы, даны ссылки на работы известных специалистов, свой взгляд на проблему и возможные пути ее решения. Изложение проблемы в реферате рекомендуется связать с темой диссертационного исследования.

При подготовке к кандидатскому экзамену и его сдаче в исключительных случаях (форс-мажор и т.п.) могут применяться электронное обучение, дистанционные образовательные технологии.

В результате освоения соискатель должен:

- **знать:** основные понятия и методы физики конденсированного состояния;
- **уметь:** формулировать задачи физики конденсированного состояния, применять математический аппарат физики конденсированного состояния, трактовать полученные результаты;
- **владеть:** представлениями об основных применениях физики конденсированного состояния, навыками решения конкретных физических задач;
- **иметь опыт деятельности:** постановке задач исследования в области физики конденсированного состояния.

 МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)			
Физический факультет			
Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине Группа научных специальностей – 1.3. Физические науки Научная специальность – 1.3.8. Физика конденсированного состояния Подготовка кадров высшей квалификации			
Версия документа - 2	стр. 4 из 12	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____

Процедура кандидатского экзамена

Экзамен программы проводится по билетам, каждый из которых содержит 3 вопроса. Кроме того, на экзамене могут быть заданы дополнительные вопросы. Экзамен подразумевает также собеседование по содержанию полностью или частично подготовленного кандидатского исследования.

На экзамене соискатель представляет реферат и защищает его.

За экзамен выставляется единая оценка.

Разделы, темы

Силы связи в твердых телах, симметрия твердых тел, дефекты в твердых телах, дифракция в кристаллах, колебания решетки, тепловые свойства твердых тел, электронные свойства твердых тел, магнитные свойства твердых тел, оптические и магнитооптические свойства твердых тел, сверхпроводимость.

Вопросы 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 CaTiO₃.

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.

 МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)			
Физический факультет			
Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине Группа научных специальностей – 1.3. Физические науки Научная специальность – 1.3.8. Физика конденсированного состояния Подготовка кадров высшей квалификации			
Версия документа - 2	стр. 5 из 12	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____

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.

 МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)			
Физический факультет			
Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине Группа научных специальностей – 1.3. Физические науки Научная специальность – 1.3.8. Физика конденсированного состояния Подготовка кадров высшей квалификации			
Версия документа - 2	стр. 6 из 12	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____

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

20. Приближение сильно связанных 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 Мейсснера. Критическое поле и критический ток.

 МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)			
Физический факультет			
Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине Группа научных специальностей – 1.3. Физические науки Научная специальность – 1.3.8. Физика конденсированного состояния Подготовка кадров высшей квалификации			
Версия документа - 2	стр. 7 из 12	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____

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.

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. *Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела [Текст] : [учебное руководство] / Ч. Киттель ; [пер. под общ. ред. А. А. Гусева]. — Изд. 2-е, стер. — Москва : [Альянс], 2013. — 791 с. : ил. — Библиогр.: с. 769-791.
2. *Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, тт. I и II. М., Мир, 1979.
3. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М., Мир, 1969.
4. *Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М: Мир, 1974.
5. *Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 2000.
6. Вонсовский С.В. Магнетизм. М., Наука, 1971.
7. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979 г.
8. В.В.Шмидт «Введение в физику сверхпроводимости». МЦ НМО, Москва, 2000.

Дополнительная литература

1. Ю.И.Сиротин, М.П. Шаскольская. Основы кристаллофизики. М., Наука, 1973.
2. У. Харрисон. Теория твердого тела. М., Мир, 1972.
3. С.В. Вонсовский, М.И. Кацнельсон. Квантовая физика твердого тела. М., Наука, 1983.
4. Г.С.Жданов. Физика твердого тела. Изд. МГУ, 1962.
5. Ядерный магнитный резонанс: Учеб. пособие. //Под ред. П. М. Бородина. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1982. 344 с.

*Данная литература имеется в научной библиотеке ФГБОУ ВО «ЧелГУ».

 МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)			
Физический факультет			
Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине Группа научных специальностей – 1.3. Физические науки Научная специальность – 1.3.8. Физика конденсированного состояния Подготовка кадров высшей квалификации			
Версия документа - 2	стр. 8 из 12	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____

Интернет-ресурсы

1. Российское образование. Федеральный портал.
http://www.edu.ru/modules.php?op=modload&name=Web_Links&file=index&l_op=viewlink&cid=2849
2. Единое окно доступа к информационным ресурсам.
http://window.edu.ru/catalog/resources?p_rubr=2.2.74.6.8&p_page=9&p_nr=10

Электронные фонды и ресурсы

Средством доступа к системе собственных электронных ресурсов является сайт библиотеки www.lib.csu.ru. Электронный каталог обеспечивает полное и оперативное представление о библиотечном фонде, повышает качество и эффективность поиска информации – более 1,5 млн. записей.

1. Электронный каталог. Библиографические базы данных.

Книги, электронные ресурсы, диссертации и авторефераты.

2. Электронная библиотека.

Издания ЧелГУ, УМК; диссертации, защищенные в советах ЧелГУ, резервные коллекции, фонд редких книг, электронный справочник «Информо», статистические издания России и стран СНГ.

3. Реферативные

Базы данных ИНИОН РАН, базы данных ВИНТИ, Scopus (<http://www.scopus.com>), Science (архив).

4. Полнотекстовые

Базы данных диссертаций РГБ, АРБИКОН, SIGLA, научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>, подписка на полнотекстовую коллекцию российских научных журналов (2011-2015, 148 наименований), издательств: Taylor&Francis, Sage Publications (архив научных журналов); Springer, American Physical Society (<http://www.journals.aps.org/about>), American Mathematical Society (<http://www.ams.org/mathscinet>), Wiley (<http://onlinelibrary.wiley.com>).

5. Электронно-библиотечные системы с возможностью

пользования лицензионными материалами из любой точки, имеющей доступ к сети Интернет (регистрация из сети университета персонального аккаунта):

 МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)			
Физический факультет			
Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине Группа научных специальностей – 1.3. Физические науки Научная специальность – 1.3.8. Физика конденсированного состояния Подготовка кадров высшей квалификации			
Версия документа - 2	стр. 9 из 12	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____

Университетская библиотека онлайн (www.biblioclub.ru), Лань (www.e.lanbook.com).

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

При необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене.

При проведении процедуры оценивания результатов кандидатского экзамена инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями. Эти средства могут быть предоставлены ЧелГУ или могут использоваться собственные технические средства.

Процедура оценивания результатов кандидатского экзамена инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по спецдисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла,
- в печатной форме на языке Брайля.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

При проведении процедуры оценивания результатов кандидатского экзамена инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по спецдисциплине обеспечивается выполнение следующих дополнительных требований в зависимости от индивидуальных особенностей обучающихся:

 МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)			
Физический факультет			
Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине Группа научных специальностей – 1.3. Физические науки Научная специальность – 1.3.8. Физика конденсированного состояния Подготовка кадров высшей квалификации			
Версия документа - 2	стр. 10 из 12	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____

а) инструкция по порядку проведения процедуры оценивания предоставляется в доступной форме (устно, в письменной форме, в письменной форме на языке Брайля, устно с использованием услуг сурдопереводчика);

б) доступная форма предоставления заданий оценочных средств (в печатной форме, в печатной форме увеличенным шрифтом, в печатной форме шрифтом Брайля, в форме электронного документа, задания зачитываются ассистентом, задания предоставляются с использованием сурдоперевода);

в) доступная форма предоставления ответов на задания (письменно на бумаге, набор ответов на компьютере, письменно на языке Брайля, с использованием услуг ассистента, устно).

При необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов кандидатского экзамена по спецдисциплине может проводиться в несколько этапов.

В исключительных случаях (форс-мажорные обстоятельства и др.) электронное обучение, дистанционные образовательные технологии предусматривают возможность приема-передачи информации в доступных для них формах.

Критерии оценки результатов кандидатского экзамена

Оценка **«отлично»** ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное и правильное использование в ответах научной терминологии;
- безошибочное владение категориальным аппаратом;
- умение обозначить основные проблемы сформулированных в билетах вопросов;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка **«хорошо»** ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное и правильное использование в ответах научной терминологии;
- проблемное изложение сформулированных в билетах вопросов;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка **«удовлетворительно»** ставится за:

- недостаточное использование в ответах научной терминологии;

 МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)			
Физический факультет			
Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине Группа научных специальностей – 1.3. Физические науки Научная специальность – 1.3.8. Физика конденсированного состояния Подготовка кадров высшей квалификации			
Версия документа - 2	стр. 11 из 12	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____

- недостаточное владение категориальным аппаратом;
- умение обозначить только одну из проблем сформулированных в билетах вопросов;

Оценка **«неудовлетворительно»** ставится за:

- отсутствие в ответах необходимой научной терминологии;
- описательное изложение сформулированных в билетах вопросов, неумение обозначить и изложить проблемы;
- грубые ошибки при изложении фактологического материала;
- неумение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- нарушение логичности, связности ответа.

Оценка за реферат

Оценка **«отлично»** за реферат ставится, если:

- содержание реферата точно соответствует теме, отсутствуют ошибки в изложении и оформлении реферата;
- материал освещен в проблемном аспекте при достаточном фактологическом изложении;
- ссылки на работы известных ученых и новейшую литературу отличаются полнотой;
- изложено свое видение проблемы и аргументация своей позиции с помощью фактов;
- содержание связано с темой диссертационного исследования.

Оценка **«хорошо»** за реферат ставится, если:

- содержание реферата соответствует теме, допущены негрубые ошибки в изложении и оформлении реферата;
- обозначены основные проблемы изучения заявленного в теме вопроса при достаточном фактологическом изложении;
- даны ссылки на работы известных ученых и новейшую литературу;
- изложено свое видение проблемы и приведен ряд аргументов своей позиции с помощью фактов;

 МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)			
Физический факультет			
Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине Группа научных специальностей – 1.3. Физические науки Научная специальность – 1.3.8. Физика конденсированного состояния Подготовка кадров высшей квалификации			
Версия документа - 2	стр. 12 из 12	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____

- содержание связано с темой диссертационного исследования.

Оценка **«удовлетворительно»** за реферат ставится, если:

- содержание реферата соответствует теме, допущены ошибки в изложении и оформлении реферата;
- поверхностное фактологическое изложение;
- даны ссылки на ряд работ известных ученых и новейшую литературу;
- содержание связано с темой диссертационного исследования.

Оценка **«неудовлетворительно»** за реферат ставится, если:

- содержание реферата не соответствует теме, допущены грубые ошибки в изложении и оформлении реферата;
- не изложено свое видение проблемы и не приведены аргументы своей позиции;
- содержание не связано с темой диссертационного исследования.

Форма билета кандидатского экзамена

 МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)	
Наименование факультета Наименование кафедры	
Группа научных специальностей – шифр и наименование Научная специальность – шифр и наименование	
Кандидатский экзамен по спецдисциплине	
Экзаменационный билет №	
1.	
2.	
3.	
Зав. кафедрой	ФИО