**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Ректор

Документ подписан электронной подписью
Сертификат: a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c
Владелец: Сенченко Павел Васильевич
Действителен: с 17.09.2019 по 16.09.2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# КАНДИДАТСКИЙ ЭКЗАМЕН ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Уровень образования: **высшее образование - программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**
Научная специальность: **1.3.8 Физика конденсированного состояния**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Факультет электронной техники (ФЭТ)**
Кафедра: **Кафедра физической электроники (ФЭ)**
Курс: **3**
Семестр: **5**
Учебный план набора 2022 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | 5 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| Общая трудоемкость | 36 | 36 | часов |
| (включая промежуточную аттестацию) | 1 | 1 | з.е. |

| Формы промежуточной аттестация | Семестр |
|---|---|
| Экзамен | 5 |

Томск

Согласована на портале № 78465

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели дисциплины

1. Целью сдачи кандидатского экзамена по специальности Физика конденсированного состояния является определение уровня профессиональной подготовки аспиранта, способного к проведению самостоятельной научно-исследовательской работы.

### 1.2. Задачи дисциплины

1. Формирование у аспиранта общего представления о многообразии методов и подходов, используемых при решении задач, связанных с созданием новых материалов с требуемыми свойствами.
2. Подготовить аспирантов к применению полученных знаний при проведении научных исследований.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: 2. Образовательный компонент.
Индекс дисциплины: 2.3.3.
Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

## 3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетных единиц, 36 академических часов.
Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 3.1.
Таблица 3.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 5 семестр |
| **Подготовка и сдача экзамена** | 36 | 36 |
| **Общая трудоемкость (в часах)** | 36 | 36 |
| **Общая трудоемкость (в з.е.)** | 1 | 1 |

## 4. Структура и содержание дисциплины

### 4.1. Разделы (темы) дисциплины

Структура дисциплины по разделам (темам) приведена в таблице 4.1.
Таблица 4.1 – Разделы (темы) дисциплины

| Названия разделов (тем) дисциплины |
|---|
| **5 семестр** |
| 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 |

### 4.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Согласована на портале № 78465

Содержание разделов (тем) дисциплины приведено в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины

| Названия разделов (тем) дисциплины | Содержание разделов (тем) дисциплины |
|---|---|
| **5 семестр** | |
| 1 Силы связи в твердых телах | Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Вандер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь. Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковка шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO3. 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. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электронфононное 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. |

Согласована на портале № 78465

| | |
|---|---|
| 7 Электронные свойства твердых тел | Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термо-ЭДС, 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. |
| 8 Магнитные свойства твердых тел | Магнитное поле в магнетиках. Магнитные свойства твердых тел. Магнитные свойства атомов. Природа диамагнетизма. Природа парамагнетизма. Природа ферромагнетизма. Антиферромагнетизм. Ферримагнетизма. Ферриты. 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 скинэффекты. Толщина скин-слоя |
| 10 Сверхпроводимость | Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель. |

### 4.3. Самостоятельная работа

Не предусмотрено учебным планом

## 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 5.1. Основная литература

1. Байков, Ю. А. Физика конденсированного состояния : учебное пособие / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 296 с. — ISBN 978-5-00101-825-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/151595 .

### 5.2. Дополнительная литература

1. Бондаренко, Г. Г. Радиационная физика, структура и прочность твердых тел : учебное пособие / Г. Г. Бондаренко. — Москва : Лаборатория знаний, 2016. — 465 с. — ISBN 978-5-00101-413-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/90257.

2. Физика твердого тела : Учебное пособие для втузов / С. М. Кокин [и др.] ; ред. И. К. Верещагин. - 2-е изд., испр. - М. : Высшая школа, 2001. - 238[2] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 13 экз.).

### 5.3. Учебно-методические пособия

### 5.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Задачи по физике твердого тела : Сборник задач : Пер. с англ. / ред. : Г. Дж. Голдсмид ; ред. пер. : А. А. Гусев, М. П. Шаскольская. - М. : Наука, 1976. - 430[2] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 3 экз.).

### 5.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

**Для лиц с нарушениями зрения:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

### 5.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

## 6. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 6.1. Содержание оценочных материалов для промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения дисциплины используются оценочные материалы, представленные в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Формы контроля и оценочные материалы

| Названия разделов (тем) дисциплины | Формы контроля | Оценочные материалы (ОМ) |
|---|---|---|
| 1 Силы связи в твердых телах | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 2 Симметрия твердых тел | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 3 Дефекты в твердых телах | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 4 Дифракция в кристаллах | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 5 Колебания решетки | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 6 Тепловые свойства твердых тел | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 7 Электронные свойства твердых тел | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 8 Магнитные свойства твердых тел | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 9 Оптические и магнитооптические свойства твердых тел | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 10 Сверхпроводимость | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |

Шкала комплексной оценки сдачи кандидатского экзамена приведена в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Шкала комплексной оценки сдачи кандидатского экзамена

Согласована на портале № 78465

| Оценка | Формулировка требований к степени освоения дисциплины |
|---|---|
| 2 (неудовлетворительно) | Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или<br>Знать на уровне **ориентирования**, представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения. |
| 3 (удовлетворительно) | Знать и уметь на **репродуктивном** уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях. |
| 4 (хорошо) | Знать, уметь, владеть на **аналитическом** уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения. |
| 5 (отлично) | Знать, уметь, владеть на **системном** уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины. |

### 6.1.1. Перечень экзаменационных вопросов

1. Типы сил связи в конденсированном состоянии.
2. Химическая связь и ближний порядок.
3. Обратная решетка, ее свойства.
4. Зона Бриллюэна.
5. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции.
6. Эффект Холла.
7. Термо-ЭДС.
8. Фотопроводимость.
9. Намагниченность и восприимчивость.
10. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики.
11. Законы Кюри и Кюри – Вейсса.
12. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
13. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние.
14. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.
15. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).
16. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков.
17. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.
18. Спиновые волны, магноны.
19. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях.
20. Электронный парамагнитный резонанс.
21. Ядерный магнитный резонанс.
22. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные.
23. Коэффициенты поглощения и отражения.
24. Соотношения Крамерса—Кронига.
25. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой).
26. Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Согласована на портале № 78465

27. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).
28. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скинэффекты. Толщина скин-слоя.
29. Сверхпроводимость. Критическая температура.
30. Высокотемпературные сверхпроводники.
31. Эффект Мейснера.
32. Критическое поле и критический ток.
33. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства.
34. Эффект Джозефсона.
35. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

### 6.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

### 6.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся | Виды дополнительных оценочных материалов | Формы контроля и оценки результатов обучения |
|---|---|---|
| С нарушениями слуха | Тесты | Преимущественно письменная проверка |
| С нарушениями зрения | Собеседование по вопросам к зачету | Преимущественно устная проверка (индивидуально) |
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата | Решение дистанционных тестов, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами |

Согласована на портале № 78465

| | | |
|---|---|---|
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, вопросы к зачету | Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

### 6.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

– в печатной форме;
– в печатной форме с увеличенным шрифтом;
– в форме электронного документа;
– методом чтения ассистентом задания вслух;
– предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

– письменно на бумаге;
– набор ответов на компьютере;
– набор ответов с использованием услуг ассистента;
– представление ответов устно.

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

**Для лиц с нарушениями зрения:**
– в форме электронного документа;
– в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**
– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**
– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 78465

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 132 от «25» 5 2022 г.

**СОГЛАСОВАНО:**

| Должность | Инициалы, фамилия | Подпись |
|---|---|---|
| Заведующий выпускающей каф. ФЭ | П.Е. Троян | Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820 |
| Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ | П.Е. Троян | Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820 |
| Заведующий аспирантурой | Т.Ю. Коротина | Согласовано, 18966c56-f838-4e67-b162-635913de8505 |

**ЭКСПЕРТЫ:**

| | | |
|---|---|---|
| Доцент, каф. ФЭ | В.В. Каранский | Согласовано, c2e55ae8-0332-4ed9-a65a-afbb92539ee8 |
| Заведующий кафедрой, каф. ФЭ | П.Е. Троян | Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820 |

**РАЗРАБОТАНО:**

| | | |
|---|---|---|
| Доцент, каф. ФЭ | В.В. Каранский | Разработано, c2e55ae8-0332-4ed9-a65a-afbb92539ee8 |

Согласована на портале № 78465