

**МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А. И. ГЕРЦЕНА»**

Программа кандидатского экзамена

по научной специальности

1.3.8. Физика конденсированного состояния

Санкт-Петербург
2022 год

Программа кандидатского экзамена по научной специальности (в 2 частях)

Первая часть

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 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. 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. 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

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 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.

Вторая часть

11. Основы физики диэлектриков.

Особенности строения полимеров. Методы получения полимеров. Цепная полимеризация. Поликонденсация. Ориентированное состояние полимеров. Стеклообразное и высокоэластичное состояния полимеров. Особенности полимерных диэлектриков как электретных материалов. Классификация и природа релаксационных переходов.

Природа носителей заряда. Механизмы электропроводности тонких диэлектрических пленок. Механизмы переноса заряда через полимерный диэлектрик. Электрическая прочность полимеров.

Механизмы формирования гомо- и гетерозарядов. Зарядка полимеров в коронном разряде. Электретирование электронным пучком. Термоэлектреты. Короноэлектреты. Модели релаксации электретного состояния в полимерах. Влияние проводимости полимера на релаксацию электретного состояния. Механизмы стабилизации электретного состояния в полимерах.

12. Основы физики полупроводников.

Электронные состояния в полупроводниках, собственная и примесная проводимость.

Физико-химические свойства, диаграммы состояния. Зоны Бриллюэна и фоновые спектры полупроводников. Многодолинная структура энергетического спектра полупроводников и анизотропия энергетического спектра. Статистика носителей заряда в полупроводниках. Зависимость параметров энергетического спектра и концентрации носителей заряда от температуры.

Электронная теплопроводность полупроводников.

Методы получения и контроля поверхности и дефектов пленок полупроводников

Размерные явления в полупроводниках, длина экранирования, p-n переходы.

Фотоэлектрические явления в полупроводниках.

13. Основы физики полуметаллов.

Особенности химической связи и структуры кристаллов полуметаллов. Термодинамические свойства и фоновые явления переноса в кристаллах полуметаллов. Особенности электронного энергетического спектра полуметаллов.

Бесщелевое состояние вещества и его особенности. Непараболичность закона дисперсии носителей заряда в зонах.

Легирование. Закономерности изменения концентрации носителей заряда в полуметаллах легирующими примесями.

Особенности электронных явлений переноса в полуметаллах. Общая закономерность в температурной зависимости удельного сопротивления типичных полуметаллов. Влияние легирования.

Циклотронный резонанс в полуметаллах. Особенности наблюдения.

Стационарные гальваномагнитные явления в полуметаллах: эффект Холла и магнетосопротивление. Влияние магнитного поля на энергетический спектр носителей заряда в полуметаллах. Квантование Ландау.

Эффект Шубникова-де-Гааза в полуметаллах.

Физические свойства низкоразмерных объектов на основе полуметаллов.

Классический размерный эффект в явлениях переноса в пленках полуметаллов.

14. Основы физики наноструктур.

Принципы классификации нанообъектов и наноструктур. Основные классы наноматериалов и области их использования. Структура и свойства поверхности твердых тел.

Классические размерные эффекты в низкоразмерных объектах.

Туннелирование, его проявления и использование.

Закономерности физических свойств низкоразмерных структур и их изменения при переходе от массивных монокристаллов к низкоразмерным структурам. Нанокристаллические, нанокompозитные и нанопористые материалы. Основные особенности их атомного строения. Нульмерные, одномерные и двумерные дефекты структур кристаллического строения.

Квантовые размерные эффекты в низкоразмерных объектах. Квантовый размерный эффект и условия его наблюдения. Квантовый размерный эффект в магнитном поле. Квантовый эффект Холла.

Шкала оценивания

отлично

Если обучающийся строит ответ логично, обнаруживает глубокое знание базовых понятий, теорий, концепций, показал свободное владение материалом исследования, знание основных закономерностей современной физики конденсированного состояния, хорошие навыки исследовательской работы, способен грамотно объективно оценить и проанализировать полученные экспериментальные данные (используемые теоретические подходы). Устанавливает содержательные междисциплинарные связи. Умеет распространить полученные выводы на другие разделы физики, показать место обсуждаемых закономерностей в общей системе физических законов, в физической картине мира, а также раскрыть, по возможности, их прикладное значение. Компетенции сформированы на высоком уровне.

хорошо

Обучающийся показал хорошее владение материалом исследования, знание основных закономерностей современной физики конденсированного состояния, хорошие навыки исследовательской работы, способен оценить и проанализировать полученные экспериментальные данные, строит ответ логично, обнаруживает хорошее знание базовых понятий, теорий, концепций. В ответе представлены различные подходы к рассматриваемой проблеме, но их обоснование недостаточно полно. Наблюдается некоторая непоследовательность анализа в сопоставлении разных концепций и обосновании своей точки зрения. Допускает одну ошибку или две-три неточности, исправленные в ходе ответа самостоятельно или с небольшой помощью преподавателя. Компетенции сформированы на достаточно высоком уровне.

удовлетворительно

Если обучающийся при ответе обнаруживает слабое знание базовых понятий, теорий, концепций. Обучающийся показал средний уровень владения материалом исследования, слабое знание основных закономерностей современной физики конденсированного состояния или слабые навыки исследовательской работы, хотя и способен оценить и проанализировать полученные экспериментальные данные (используемые теоретические подходы), полученные результаты расчетов с использованием для сравнения данных других авторов. Допускает одну грубую ошибку и одну-две неточности, частично исправленных в ходе ответа только помощью преподавателя. Компетенции сформированы на удовлетворительном уровне.

неудовлетворительно

Если обучающийся при ответе даже при наводящих вопросах обнаруживает непонимание сущности излагаемых вопросов, не может предложить объяснение рассматриваемых явлений. Проявляет стремление подменить научное рассмотрение и обоснование проблем рассуждением практически-бытового плана. В ответе допущены грубые ошибки, которые обучающийся не может исправить с помощью наводящих вопросов преподавателя. Не сформированы предусмотренные компетенции.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины:

Основная литература

- 1 Байков Ю.А. Физика конденсированного состояния/Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. - Москва: Лаборатория знаний"" (ранее ""БИНОМ. Лаборатория знаний", 2015. - 293 с. - URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=70766 . - ЭБС издательства «Лань». Коллекция «Физика».
- 2 Гордиенко А. Б. Физика конденсированного состояния. Решение задач: учебное пособие/А.Б. Гордиенко; А.В. Кособуцкий; Д.В. Корабельников. - Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2011. - 92 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232487> . - ЭБС Университетская библиотека онлайн.
- 3 Делоне Н. Б. Основы физики конденсированного вещества/Н. Б. Делоне. - Москва: Физматлит, 2011. - 233 с. - URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2727 . - ЭБС издательства «Лань». Коллекция «Математика».
4. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Учебное пособие в 2-х томах//Москва, Медиа, 2012.
5. Займан Д. Принципы теории твердого тела / Займан Д. ; Д. Займан; под ред. Бонч-Бруевич В. Л.; пер. с англ. П. Е. Зильберман; пер. с англ. А. Г. Миронов; пер. с англ. И. П. Звягин. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва : Мир, 1974. - 469 с. : ил. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483413>. - ЭБС Университетская библиотека онлайн (дата обращения 13.01.2022). - Режим доступа: только для зарегистрированных пользователей РГПУ.
6. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Киттель Ч. ; Ч. Киттель. - Москва : Наука, 1978. - 788 с. : ил. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483361>. - ЭБС Университетская библиотека онлайн (дата обращения 13.01.2022). - Режим доступа: только для зарегистрированных пользователей РГПУ.
7. Епифанов Г. И. Физика твердого тела / Епифанов Г. И.; Епифанов Г. И. - 4-е изд., стер. -Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 288 с. - ISBN 978-5-8114-1001-9. - URL: <https://e.lanbook.com/book/210671> . - ЭБС Лань (дата обращения 29.04.2022). - Режим доступа: только для зарегистрированных пользователей РГПУ.
8. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников: учеб. пособие/А. И. Ансельм; Науч.-метод. совет по физике М-ва образования и науки РФ. - Москва:Лань", 2016. - 618 с. - URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=71742. - ЭБС издательства «Лань». Коллекция «Физика».
9. Гороховатский, Ю. А. Физика полимерных диэлектриков : учебное пособие / Гороховатский, Ю. А., Карулина, Е. А., Темнов, Д. Э. ; Ю. А. Гороховатский, Е. А. Карулина, Д. Э. Темнов. - Физика полимерных диэлектриков. -Санкт-Петербург : Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, 2013. - 125 с. - ISBN 978-5-8064-1925-6. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/20559.html> .

10. Грабов В.М. Физика полуметаллов и низкоразмерных структур на их основе / Грабов В.М., Комаров, В. А., Худякова, И. И., Яковлева, Т. А. ; В. М. Грабов, В. А. Комаров, И. И. Худякова, Т. А. Яковлева ; Рос. гос. пед. ун-т им. А. И. Герцена. - СПб. : Изд-во РГПУ, 2011. - 293 с. : ил. - ISBN 978-5-8064-1655.
11. Владимиров Г. Г. Физика поверхности твердых тел / Владимиров Г. Г. ; Владимиров Г. Г. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 352 с. - ISBN 978-5-8114-1997-5. - URL: <https://e.lanbook.com/book/212228>. - ЭБС Лань (дата обращения 30.08.2022). - Режим доступа: только для зарегистрированных пользователей РГПУ.
12. Грабов В.М. Гальваномагнитные и термоэлектрические явления в тонких пленках висмута и сплавов висмут-сурьма : монография / Грабов В. М., Демидов Е. В., Комаров В. А., Крушельницкий А. Н., Суслов А. В., Герега В. А. ; Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Институт физики. - Второе издание, переработанное и дополненное. - Санкт-Петербург : Издательство РГПУ им. А. И. Герцена, 2021. - 194, [1] с. : таблицы, иллюстрации. - тираж 500 экземпляров. - ISBN 978-5-8064-3172-2.

Дополнительная литература

- 1 Кашурников В.А. Численные методы квантовой статистики/В. А. Кашурников, А. В. Красавин. - Москва: Физматлит, 2010. - 627 с. - URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2197 . - ЭБС издательства «Лань». Коллекция «Физика».
- 2 Физика конденсированного состояния: лабораторный практикум. - Ставрополь: СКФУ, 2016. - 124 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459029> . - ЭБС Университетская библиотека онлайн.
- 3 Плотников П. Г. Актуальные темы физики твердого тела: Учебное пособие/Плотников П.Г., Плотникова Л.В.. - Москва: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2015 - URL: <https://e.lanbook.com/book/91418>. - ЭБС издательства «Лань».
4. Коллекция «Физика». Учебно-методический комплекс по сетевой образовательной программе «Физика наноструктур и наноэлектроника» / Н.И. Анисимова. - Санкт-Петербург:РГПУ им. А. И. Герцена, 2013. - 156 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428334>. - ЭБС Университетская библиотека онлайн.
5. Зеегер К. Физика полупроводников / Зеегер К. ; К. Зеегер; пер. с англ. Ю. К. Пожела. - Москва : Мир, 1977. - 612 с. : ил. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483414>. - ЭБС Университетская библиотека онлайн (дата обращения 13.01.2022). - Режим доступа: только для зарегистрированных пользователей РГПУ.
- 6 Мейлихов Е.З. Общая физика конденсированного состояния//Москва, изд-во Интеллект, 2018. – 416 с.
- 7 Созинов С. А. Структурные методы исследования кристаллов: учебное пособие/С.А. Созинов; Л.В. Колесников. - Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2012. - 108 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232740> . - ЭБС Университетская библиотека онлайн.
- 8 Матухин В. Л. Физика твердого тела / Матухин В. Л., Ермаков В. Л.; Матухин В. Л., Ермаков В. Л. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 224 с. - ISBN 978-5-8114-0923-5. - URL: <https://e.lanbook.com/book/210305> . - ЭБС Лань (дата обращения 29.04.2022).
9. Шалимова К. В. Физика полупроводников / Шалимова К. В. ; Шалимова К. В. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 384 с. - ISBN 978-5-8114-0922-8. - URL: <https://e.lanbook.com/book/210524>. - ЭБС Лань (дата обращения 29.04.2022). - Режим доступа: только для зарегистрированных пользователей РГПУ.

10. Кулезнев В. Н. Химия и физика полимеров / Кулезнев В. Н., Шершнев В. А. ; Кулезнев В. Н., Шершнев В. А. - 3-е изд., испр. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 368 с. - ISBN 978-5-8114-1779-7. - URL: <https://e.lanbook.com/book/211685>. - ЭБС Лань (дата обращения 30.08.2022). - Режим доступа: только для зарегистрированных пользователей РГПУ.
11. Займан Д. М. Электроны и фононы. Теория явлений переноса в твердых телах : монография / Займан Д. М., Бонч-Бруевич В. Д. ; Д. М. Займан; ред. В. Д. Бонч-Бруевич. - Москва : Изд-во иностр. лит., 1962. - 485 с. - ISBN 978-5-4475-0282-9. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=239443>. - ЭБС Университетская библиотека онлайн (дата обращения 13.01.2022). - Режим доступа: только для зарегистрированных пользователей РГПУ.
12. Киттель, Чарлз. Квантовая теория твердых тел / Киттель, Чарлз, 1967. - URL: http://lib.herzen.spb.ru/gak_jpg/010\43\00000008\00000074.tif
13. Маделунг О. Теория твердого тела / Маделунг О., Ансельм А. И. ; О. Маделунг; под ред. А. И. Ансельм; пер. с нем. И. В. Мочан. -Москва : Наука, 1980. - 416 с. : ил. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483373>. - ЭБС Университетская библиотека онлайн (дата обращения 13.01.2022). - Режим доступа: только для зарегистрированных пользователей РГПУ.
14. Блатт, Фрэнк Дж. Физика электронной проводимости в твердых телах / Блатт, Фрэнк Дж. ; Пер. с англ. Г.Л.Краско и Р.А.Суриса. -М. : Мир, 1971. - 470с. : ил.

Авторы-составители программы дисциплины:

ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность
Грабов Владимир Минович	доктор физико-математических наук, профессор	профессор кафедры общей и экспериментальной физики
Темнов Дмитрий Эдуардович	кандидат физико-математических наук, доцент	доцент кафедры общей и экспериментальной физики