

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»**

ПРИНЯТО

Решением Ученого совета
ФГБОУ ВО «Тамбовский
государственный университет
имени Г.Р. Державина»

«24» мая 2022 г.

(протокол № 13)

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. ректора
ФГБОУ ВО «Тамбовский
государственный университет
имени Г.Р. Державина»

И.В. Налетова



**ПРОГРАММА
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

1.3.8. Физика конденсированного состояния

Автор программы:

Доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры теоретической и экспериментальной физики Шибков А.А.

Программа принята на заседании кафедры теоретической и экспериментальной физики «27» апреля 2022 года, протокол № 8.

Содержание программы

ЧАСТЬ 1. ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

1. Силы связи в твердых телах

1.1. Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван-дер-Ваальсова, ионная, ковалентная, металлическая связи.

1.2. 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, NaCl, структура типа перовскита CaTiO_3 .

1.3. 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.

2. Симметрия твердых тел

2.1. 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. Зоны Бриллюэна.

2.2. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

2.3. 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

3.1. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

3.2. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

4. Дифракция в кристаллах

4.1. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

4.2. Брегговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

5. Колебания решетки

5.1. Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания.

5.2. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

6. Тепловые свойства твердых тел

6.1. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

6.2. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

6.3. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

6.4. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

6.5. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

7. Электронные свойства твердых тел

7.1. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термо-ЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

7.2. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

7.3. Брегговское отражение электронов при движении по кристаллу. Зонный спектр энергии.

7.4. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

7.5. Приближение почти свободных электронов. Брегговские отражения электронов.

7.6. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

8. Магнитные свойства твердых тел

8.1. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Зоны Кюри и Кюри - Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

8.2. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

8.3. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

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

9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

9.1. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса - Кронига.

9.2. Поглощение света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

9.3. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, Керра).

9.4. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

10. Сверхпроводимость

- 10.1. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.
- 10.2. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.
- 10.3. Эффекты Джозефсона.
- 10.4. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

ЧАСТЬ 2. СТРУКТУРОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

1. Дефекты в кристаллах и их влияние на физические свойства

- 1.1. Классификация дефектов. Способы их наблюдения и учета роли.
- 1.2. Электронная структура точечных дефектов. Центры окраски.
- 1.3. Источники дислокаций. Модель Франка - Рида. Рост кристаллов. Усы.
- 1.4. Структура дислокационного ядра. Кинки, ступени, примесная атмосфера, заряд дислокации.
- 1.5. Свободные и внутренние поверхности. Классификация, роль в формировании свойств.
- 1.6. Объемные дефекты. Трещины. Энергия образования. Теория Гриффитса.
- 1.7. Радиационные повреждения.

2. Механические свойства

- 2.1. Теоретическая прочность. Краткий обзор роли дефектов решетки в формировании механических структур.
- 2.2. Виды испытаний в исследованиях механических свойств и соответствующие характеристики.
- 2.3. Макропластические свойства материалов. Пределы текучести, пластичности, упругости, прочности. Диаграммы деформирования кристаллов в разных условиях.
- 2.4. Динамика дислокаций в кристаллах. Влияние периодичности решетки. Модель Френкеля - Конторовой. Рельеф Пайерлса.
- 2.5. Динамика дислокаций в кристаллах с точечными дефектами. Режимы движения дислокаций. Активационные параметры.
- 2.6. Кооперативные явления при движении дислокаций. Эволюция дислокационной структуры при пластическом деформировании.
- 2.7. Современные методы изучения дислокационной структуры кристалла. (Состояние дислокационного ядра и динамика дислокаций).

3. Наноструктуры и нанотехнологии

- 3.1. Специфика свойств наночастиц.
- 3.2. Углеродные нанотрубки. Фуллериты.
- 3.3. Квантовые ямы, проволоки и точки.
- 3.4. Процессы самосборки в наноструктурах.
- 3.5. Наномашины и наноприборы.
- 3.6. Наноконтактные взаимодействия. Их роль в природе, технике и физике наноструктур.

Вопросы к кандидатскому экзамену

1. Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван-дер-Ваальсова, ионная, ковалентная, металлическая связи.

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, 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. Зоны 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. Брегговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах. 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.

11. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

12. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

13. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

14. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

15. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

16. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термо-ЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

17. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

18. Брегговское отражение электронов при движении по кристаллу. Зонный спектр энергии.

19. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

20. Приближение почти свободных электронов. Брегговские отражения электронов.

21. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.
22. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Зоны Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
23. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.
24. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).
25. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.
26. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса – Кронига.
27. Поглощение света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.
28. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, Керра).
29. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.
30. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.
31. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.
32. Эффект Джозефсона.
33. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.
34. Классификация дефектов. Способы их наблюдения и учета роли.
35. Электронная структура точечных дефектов. Центры окраски.
36. Источники дислокаций. Модель Франка – Рида. Рост кристаллов. Усы.
37. Структура дислокационного ядра. Кинки, ступени, примесная атмосфера, заряд дислокации.
38. Свободные и внутренние поверхности. Классификация, роль в формировании свойств.
39. Объемные дефекты. Трещины. Энергия образования. Теория Гриффитса.
40. Радиационные повреждения.
41. Теоретическая прочность. Краткий обзор роли дефектов решетки в формировании механических структур.
42. Виды испытаний в исследованиях механических свойств и соответствующие характеристики.
43. Макропластические свойства материалов. Пределы текучести, пластичности, упругости, прочности. Диаграммы деформирования кристаллов в разных условиях.
44. Динамика дислокаций в кристаллах. Влияние периодичности решетки. Модель Френкеля – Конторовой. Рельеф Пайерлса.
45. Динамика дислокаций в кристаллах с точечными дефектами. Режимы движения дислокаций. Активационные параметры.
46. Кооперативные явления при движении дислокаций. Эволюция дислокационной структуры при пластическом деформировании.
47. Современные методы изучения дислокационной структуры кристалла. (Состояние дислокационного ядра и динамика дислокаций).
48. Специфика свойств наночастиц.
49. Углеродные нанотрубки. Фуллериты.
50. Квантовые ямы, проволоки и точки.
51. Процессы самосборки в наноструктурах.

52. Наномашины и наноприборы.
 53. Наноконтактные взаимодействия. Их роль в природе, технике и физике наноструктур.

Основная литература

1. Мейлихов Е.З. Общая физика конденсированного состояния. Долгопрудный. Издат. Дом. «Интеллект». 2018. 418 с.
2. Петров Ю.В. Основы физики конденсированного состояния. Долгопрудный: Издат. Дом. Интеллект». 2013. 213 с.
3. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высшая школа. 2000. 496 с.
4. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: МедиаСтар. 2006. 524 с.
5. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. 1 и 2. М. Мир. 1979.
6. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М. Мир. 1974.
7. Брандт Н.Б., Чудинов С.М. Электронная структура металлов. М. МГУ. 1973.
8. Шалимова К.В. Физика полупроводников. СПб.: Лань. 2010. 400 с.
9. Шибков А.А. Основы физики конденсированного состояния. Тамбов: Издат. дом. ТГУ им. Г.Р. Державина. 2009. 124 с.

Дополнительная литература

1. Шибков А.А., Гасанов М.Ф., Золотов А.Е. Прерывистая ползучесть и локализация пластической деформации. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина. 2016. 158 с.
2. Шибков А.А., Денисов А.А., Желтов М.А., Золотов А.Е., Гасанов М.Ф., Кочегаров С.С. Коррозия и механическая неустойчивость алюминиевых сплавов. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина. 2017. 156 с.
3. Шибков А.А., Денисов А.А., Желтов М.А., Золотов А.Е. Прерывистая деформация и электропластичность алюминиевых сплавов. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина. 2017. 130 с.
4. Морозов А.И. Элементы современной физики твердого тела. Долгопрудный: Издат. Дом «Интеллект». 2015. 216 с.
5. Каганов И.М. Лифшиц И.М. Квазичастицы. М.: Наука. 1989.
6. Зуев Л.Б., Данилов В.И. Физические основы прочности. СПб.: Интеллект. 2018. 418 с.
7. Шибков А.А. Введение в квантовую теорию. Тамбов: Издат. дом. ТГУ им. Г.Р. Державина. 2016. 160 с.
8. Шибков А.А. Актуальные проблемы физики. Ч. 1. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г. Р. Державина. 2009. 56 с.
9. Шибков А.А. Нелинейная механика и разрушение промышленных сплавов системы Al-Mg. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина. 2010. 143 с.
10. Шибков А.А., Золотов А.Е. Актуальные проблемы механики деформируемых твердых тел. Нелинейная динамика неустойчивой пластической деформации металлов. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина. 2010. 187 с.
11. Шибков А.А., Золотов А.Е., Шуклинов А.В. Структурно-чувствительные эффекты прерывистой деформации промышленных сплавов Al-Mg. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина. 2011. 173 с.
12. Головин Ю.И. Введение в нанотехнику. М.: Машиностроение. 2007. 496 с.
13. Дмитриевский, А.А. Радиационная физика: нетривиальные эффекты [: учеб. пособие / А.А. Дмитриевский, Н.Ю. Ефремова.— Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина. 2013. 115 с.

14. Шибков А.А. Физика и геометрия фракталов: учеб. пособие. Тамбов: Издат. дом ТГУ им. Г.Р.Державина, 2011. 135 с.
15. Зуев Л.Б. Физика прочности и экспериментальная механика: учебное пособие / Л.Б. Зуев, С.А. Баранникова. Новосибирск: Наука, 2011. 350 с.
16. Кук Д. Квантовая теория молекулярных систем. Единый подход: Долгопрудный: Издат. Дом "Интеллект", 2012. 256 с.
17. Барановский, В.И. Квантовая механика и квантовая химия: учеб. пособие. М.: Академия, 2008. 383 с.
18. Зевайль А. Трехмерная электронная микроскопия в реальном времени. Долгопрудный: Издат. Дом "Интеллект", 2013. 328 с.
19. Щеголев И.Ф. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. Долгопрудный: Издат. Дом "Интеллект", 2008. 207 с.
20. Ковальчук М. Идеология нанотехнологий. М.: ИКЦ "Академкнига", 2011. 224 с.
21. Мерер Х. Диффузия в твердых телах: Долгопрудный: Интеллект, 2011. 535 с.
22. Гринштейн, Дж. Квантовый вызов. Современные исследования оснований квантовой механики. Долгопрудный: Интеллект, 2012. 431 с.
23. Амусья М.Я. Поглощение фотонов, рассеяние электронов, распад вакансий. Атомные данные. СПб: Наука, 2010. 313 с.
24. Головин Ю.И. Наномир без формул. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. 543 с.
25. Пелюхова Е.Б. Синергетика в физических процессах: самоорганизация физических систем. СПб.: Лань, 2011. 320 с.
26. Головин Ю.И. Наноиндентирование и его возможности. М.: Машиностроение, 2009. 311 с.
27. Журавлёв Л.Г. Филатов В.И. Физические методы исследования металлов и сплавов. Челябинск: ЮУрГУ. 2004. 157 с.
28. Пестриков В.М., Морозов Е.М. Механика разрушения твердых тел. СПб.: Профессия. 2002. 299 с.
29. Бондарь В.С. Неупругость. Варианты теории. М.: Физматлит. 2004. 144 с.
30. Матвиенко Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения. М.: Физматлит. 2006. 328 с.
31. Богатов А.А. Механические свойства и модели разрушения металлов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. 2002. 329 с.
32. Нохрин А.В., Чувильдеев В.Н. и др. Механические свойства нано - и микрокристаллических металлов. Нижний Новгород: ННГУ. 2007. 46 с.
33. Шарая О.А., Куликов В.Ю., Шарый В.И. Механические свойства материалов. Караганда: КарГТУ. 2004. 89 с.
34. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения: Специальные задачи механики разрушения. М.: ЛКИ. 2008. 192 с.
35. Работнов Ю.Н. Введение в механику разрушения. М.: Либроком. 2009. 80 с.
36. Строшио М. Фононы в наноструктурах. М.: Физматлит. 2006. 319 с.
37. Гуткин М.Ю., Овидько И.А. Физическая механика деформируемых наноструктур. СПб.: Янус. 2003. 194 с.
38. Пол Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. М.: Техносфера. 2005. 336 с.

Иные источники

К рекомендуемым Интернет-ресурсам по данной дисциплине относятся Интернет-ресурсы ведущих российских и зарубежных журналов, а также образовательные порталы и сайты ведущих российских университетов.

Интернет-ресурсы ведущих российских журналов по данной тематике:

www.journals.ioffe.ni/ftt – «Физика твёрдого тела»

www.iournals.ioffe.ru / ftp – «Физика и техника полупроводников»
www.journals.ioffe.m / pjtf – «Письма в журнал технической физики»
www.iounials.ioffe.nl / jtf – «Журнал технической физики»
www.ietp.ac.ru – ЖЭТФ
www.ietpleters.ac.ru – «Письма в ЖЭТФ»
www.ufn.ru – «Успехи физических наук»
www.nanom.ru – «Российские нанотехнологии»
<http://impo.imp.uran.ru/fmm/> – «Физика металлов и металловедение»
Интернет-ресурсы иностранных журналов
www.aps.org
www.springeropen.com
Интернет-порталы: <http://window.edu.ni.>: <https://elibrarv.ru>