

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем сверхпластичности металлов
Российской академии наук**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПСМ РАН

Р.Р. Мулюков

2015 г.



**Рабочая программа учебной дисциплины
«Физика конденсированного состояния»**

Составлена для аспирантов ИПСМ РАН, обучающихся по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия», профиль «Физика конденсированного состояния»

Форма обучения

очная

Составитель:

зам. директора по научной работе, д.ф.-м.н.

А.А. Назаров

Программа обсуждена и одобрена на заседании ученого совета ИПСМ РАН, протокол № 11-15 от 02 июля 2015 г.

Уфа 2015

Содержание

Введение	3
1. Цель и задачи курса.....	3
1.1. Цель и задачи изучения дисциплины.....	3
1.2. Основные задачи изучения дисциплины.....	3
1.3. Компетенции, формируемые дисциплиной.....	4
2. Место дисциплины в учебном процессе	4
3. Объем дисциплины и виды учебной работы.....	4
4. Содержание дисциплины.....	5
4.1. Разделы дисциплины, трудоемкость (в часах) по видам занятий	5
4.2. Содержание разделов дисциплины.....	5
4.3. Самостоятельная работа.....	7
5. Текущая и промежуточная аттестация. Фонд оценочных средств.....	7
5.1. Организация текущего контроля освоения материала	7
5.2. Промежуточная аттестация.....	10
6. Материальное обеспечение дисциплины.....	11
7. Учебная литература для самостоятельной работы.....	11
7.1. Основная литература	11
7.2. Дополнительная литература	11

Введение

Настоящая учебная программа составлена в соответствии с Федеральным законом «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ, Приказом Министерства образования и науки РФ от 19.11.2013 №1259 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)», федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. N 867, с изменениями, утвержденными Приказом Минобрнауки России от 30.04.2015 г. № 464 «О внесении изменений в федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации)», Уставом ИПСМ РАН и положениями, регламентирующими работу аспирантуры ИПСМ РАН, паспортом специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния» и программой - минимумом кандидатского экзамена по специальности, разработанной экспертным советом по физике Высшей аттестационной комиссии при участии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Института физики металлов УрО РАН, ФИАН им. П.Н. Лебедева и Института металлургии им. Байкова РАН.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Цель изучения дисциплины – формирование у аспирантов фундаментальных знаний в области физики конденсированного состояния, углубленных представлений об атомно-кристаллической, электронной структуре твердых тел, их механических, тепловых, электрических, магнитных и оптических свойствах, а также методах исследования структуры и свойств материалов.

1.2. Основные задачи изучения дисциплины

В результате изучения дисциплины аспирант должен знать:

- физические основы и применения методов исследования структуры, физических и механических свойств конденсированных сред;
- математические методы физики конденсированного состояния;
- современные представления о структуре, физических и механических свойствах твердых тел;
- перспективы развития физики конденсированного состояния и связанные с этим передовые технологии.

Аспирант должен уметь:

- подбирать совокупность экспериментальных и теоретических методов для решения конкретных задач исследования структуры и свойств материалов;
- самостоятельно разрабатывать методики теоретического и экспериментального изучения или математического моделирования структуры и физико-механических свойств металлов и сплавов;
- использовать знания в области физики конденсированного состояния в научно-исследовательской работе;
- выполнять теоретические и экспериментальные исследования в области физики конденсированного состояния с использованием современных методов;

- формулировать перспективные задачи исследования на основе прогнозов направления развития методов и подходов физики конденсированного состояния при создании физических приборов и систем;
- использовать передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработки перспективных приборов и устройств на их основе.

Аспирант должен приобрести навыки:

- владения методологией теоретических и экспериментальных исследований в области физики конденсированного состояния;
- изучения современных достижений в области исследований и разработок новых материалов и методов их обработки;
- использования современных достижений в области новых материалов и методов их обработки в исследовательской работе.

1.3. Компетенции, формируемые дисциплиной:

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций:

универсальных -

- способности к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способности планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5);

общепрофессиональных -

- способности самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

профессиональных -

- способности к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов (ПК-1);
- готовности использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов и устройств на их основе (ПК-2).

2. Место дисциплины в учебном процессе

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» преподается в 3-й и 4-й годы обучения аспиранта и относится к дисциплинам вариативной части, обязательной для профиля «Физика конденсированного состояния».

Данная дисциплина базируется на следующих дисциплинах первых двух уровней высшего образования по направлению «Физика и астрономия»: квантовая теория, термодинамика, статистическая физика, кристаллография, физика твердого тела.

Знания, умения и навыки, приобретенные в результате изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния», используются в научно-исследовательской работе аспиранта и подготовке диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

3. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных еди- ниц	Год, кол-во часов	
		3	4
Общая трудоемкость дисциплины	144 / 4	72	72
Аудиторные занятия	36 / 1	18	18
Лекции	36 / 1	18	18
Самостоятельная работа	72 / 2	54	18
Контроль	36 / 1		36
Вид итогового контроля		зачет	кандидатский экзамен

4. Содержание дисциплины

4.1. Разделы дисциплины, трудоемкость (в часах) по видам занятий

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы			Самостоя- тельная работа
			Лекции	Семи- нары	Практи- ческие занятия	
Курс 3, семестр 2						
1	Силы связи в твердых телах	10	2			8
2	Симметрия твердых тел	14	2			12
3	Дифракция в кристаллах	14	2			12
4	Колебания решетки	18	6			12
5	Тепловые свойства твердых тел	16	6			10
	Итого по семестру	72	18			54
Курс 4, семестр 1						
6	Электронные свойства твердых тел	12	6			6
7	Магнитные свойства твердых тел	8	4			4

8	Оптические и магнитооптические свойства твердых тел	8	4			4
9	Сверхпроводимость	8	4			4
	Итого по семестру	36	18			18
	Итого по дисциплине	144	36			72

4.2. Содержание разделов дисциплины

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. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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 сильно связанных 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.

7. 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.

8. 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.

9. Сверхпроводимость

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера. 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.

4.3. Самостоятельная работа

В курсе запланировано 72 часа на самостоятельную работу аспирантов, которая включает в себя самостоятельную проработку и расширенное изучение материала, систематизацию, закрепление знаний, выполнение заданий и подготовку к сдаче кандидатского экзамена.

5. Текущая и промежуточная аттестация.

Фонд оценочных средств

5.1. Организация текущего контроля освоения материала

Текущий контроль знаний по дисциплине «Физика конденсированного состояния» осуществляется в виде устных или письменных опросов по вопросам пройденных тем с периодичностью через 3-4 занятия с использованием вопросов для текущего контроля, а также выполнение заданий, направленных на проверку сформированности компетенций при изучении дисциплины.

Объектами оценивания при текущем контроле выступают:

- учебная дисциплина - активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- степень усвоения теоретических знаний;
- степень сформированности компетенций.

Примерный перечень вопросов для подготовки аспирантов к текущему контролю теоретических знаний

1. Электронная структура атомов. Описать электронную структуру выбранного атома (атомный вес не менее 50).
2. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь.
3. Ковалентная связь, металлическая связь.
4. Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ.
5. Структуры типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO₃.
6. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена.
7. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.
8. Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка.
9. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве.
10. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле.
11. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.
12. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.
13. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле.
14. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.
15. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.
16. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации.

17. Роль дислокаций в пластической деформации.
18. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле.
19. Упругое и неупругое рассеяние волн в кристаллах, их особенности.
20. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы.
21. Дифракция в аморфных веществах.
22. Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов.
23. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания.
24. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.
25. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость.
26. Электронная теплоемкость.
27. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.
28. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.
29. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.
30. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.
31. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.
32. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение.
33. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.
34. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции.
35. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.
36. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.
37. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов.
38. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.
39. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.
40. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний.
41. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.
42. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса.
43. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
44. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия.
45. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.
46. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).
47. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля.
48. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.
49. Спиновые волны, магноны.
50. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс.
51. Ядерный магнитный резонанс.

52. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.
53. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.
54. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, и Керра).
55. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.
56. Сверхпроводимость. Критическая температура.
57. Высокотемпературные сверхпроводники.
58. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток.
59. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства.
60. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.
61. Эффект Джозефсона.
62. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

Задания для оценки степени сформированности компетенций

Для демонстрации степени сформированности универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций при изучении дисциплины аспирант самостоятельно выполняет письменное задание, в котором проводит анализ современного состояния, теоретического, методического и инструментального обеспечения, перспектив развития области физики конденсированного состояния, к которой относится направление его научных исследований, уровня своих знаний об этой области и направлениях и путях их пополнения по следующей схеме.

1. Дается критический обзор и анализ современного состояния проблемы, различных идей в этой области, их обоснованности в свете современной теории конденсированного состояния, выдвигаются собственные идеи о возможных путях объяснения, применения явлений (компетенция УК-1).

2. Проводится анализ экспериментальных и теоретических методов исследования проблемы, их достоинств и недостатков (компетенция ОПК-1).

3. Идеи о необходимости и возможностях разработки новых экспериментальных и теоретических методик для исследования проблемы, основанные на знаниях в области физики конденсированного состояния (компетенция ПК-1).

4. Идеи о возможностях дальнейшего развития исследований в данной области, основанные на знаниях в области физики конденсированного состояния (компетенция ПК-2).

5. Анализ уровня собственных знаний аспиранта, обоснование перечня разделов современной физики конденсированного состояния, которые необходимо ему дополнительно и более углубленно самостоятельно изучить для успешного решения поставленных перед ним задач исследования (компетенция УК-6).

6. Выводы.

5.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация осуществляется с целью выявления степени освоения аспирантом теоретических знаний по дисциплине. Промежуточная аттестация проводится в форме зачета в конце 6-го семестра и кандидатского экзамена по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния» в конце 7-го семестра.

Обучающийся допускается к зачету или экзамену в случае выполнения всех учебных заданий, предусмотренных настоящей программой. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий) аспирант обрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

Зачет проводится в письменно-устной форме. Аспиранту выдается задание в виде двух вопросов из пройденных за семестр разделов программы кандидатского экзамена по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния». Зачет проводится в аудитории, время на написание и подготовку к ответам 60 минут.

Оценка «зачтено» выставляется, если аспирант при ответе демонстрирует содержание тем учебной дисциплины, владеет основными понятиями, имеет представление о структуре и свойствах твердых тел.

Если аспирант при ответе демонстрирует плохое знание значительной части основного материала в области физики конденсированного состояния, не информирован или слабо разбирается в темах данной дисциплины, ему выставляется оценка «не зачтено».

Кандидатский экзамен проводится в письменно-устной форме. Аспиранту выдается задание в виде билета, составленного из трех вопросов программы кандидатского экзамена по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния». Экзамен проводится в аудитории, время на написание и подготовку к ответам 90 минут.

Оценка за письменно-устный кандидатский экзамен выставляется по 5-балльной системе экзаменационной комиссией, созданной приказом по ИПСМ РАН. Отдельно выставляется оценка за ответ на каждый из вопросов. На основе выставленных оценок формируется общая оценка за экзамен.

При оценивании ответов выявляются: уровень понимания теоретических оснований физики твердого тела, знание основных свойств твердых тел, умение объяснять явления в твердых телах, умение оперировать специальными терминами, принятыми в дисциплине, понимание их смысла.

Оценка «отлично» выставляется при правильном и полном ответе, правильно использующем специальную терминологию и умении отвечать на дополнительные вопросы, непосредственно связанные с темой билета. При этом допускаются небольшие ошибки не принципиального характера.

Оценка «хорошо» выставляется при правильном и практически полном ответе, правильно использующем специальную терминологию. При этом допускаются негрубые ошибки в ответе на вопросы билета и в ответах на дополнительные вопросы, непосредственно связанные с темой билета.

Оценка «удовлетворительно» выставляется при неполном ответе, содержащем ошибки в использовании специальной терминологии и понимании принципиальных вопросов, отсутствии ответов на дополнительные вопросы, непосредственно связанные с темой билета.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при ответе с грубыми ошибками на все вопросы, незнании специальной терминологии.

Программа кандидатского экзамена по дисциплине приведена в Приложении 1.

6. Материальное обеспечение дисциплины

Для проведения занятий используется аудитория, оснащенная компьютером, проектором и экраном.

7. Учебная литература для самостоятельной работы

7.1. Основная литература

1. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. Изд. 4-е. - М.: Ленанд, 2015. - 496 с.
2. Винтайкин Б.Е. Физика твердого тела: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., стер. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. - 358 с.

3. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. Физика конденсированного состояния.- Бином. Лаборатория знаний, 2011. - 296 с.
4. Блейкмор Дж. Физика твердого состояния. – М. : Металлургия, 1972.- 488 с.
5. Жданов Г.С. Физика твердого тела. - М.: МГУ, 1962. - 500 с.
6. Уэрт Ч. Физика твердого тела / Ч. Уэрт, Р. Томсон - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Мир, 1969. – 559 с.
7. Верещагин И.К., Кокин В.А., Никитенко В. А., Селезнев В.А., Серов Е.А. Физика твердого тела. - М.: Высшая школа, 2001. - 240 с.

7.2. Дополнительная литература

1. Абрикосов А.А. Основы теории металлов. - М.: Наука, 1987. - 520 с.
2. Фистуль В.И. Физика и химия твердого тела. Т. 1. - М.: Металлургия, 1995. - 480 с.
3. Фистуль В.И. Физика и химия твердого тела. Т. 2. - М.: Металлургия, 1995. - 320 с.
4. Вейсс Р. Физика твердого тела. - М.: Атомиздат, 1968. - 456 с.
5. Маделунг О. Теория твердого тела / О. Маделунг. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. - 418 с.
6. Барьяхтар В.Г. Физика твердого тела. Энциклопедический словарь. Том 1. А-О. - Киев: Наукова думка, 1996. - 652с.
7. Барьяхтар В.Г. Физика твердого тела. Энциклопедический словарь. Том 2. П-Я. - Киев: Наукова думка, 1998. - 645 с.
8. Барьяхтар В.Г. Электронная структура и электронные свойства металлов. Киев: Наукова думка, 1988. - 243 с.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальности

01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

В основу настоящей программы положены основные разделы физики конденсированного состояния, касающиеся основных физических проблем данной области. Программа разработана экспертным советом по физике Высшей аттестационной комиссии при участии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Института физики металлов УрО РАН, ФИАН им. П.Н. Лебедева и Института металлургии им. Байкова РАН.

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 сильно связанных 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 Мейсснера. 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.