

Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора Института по научной работе
С. В. Лебедев

" 20 " февраля 2015 г.



Рабочая программа обязательной дисциплины

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
основной образовательной программы подготовки научно-педагогических
кадров в аспирантуре по направлению 03.06.01 Физика и астрономия

профиль подготовки: 01.04.02 Теоретическая физика

Принято Ученым советом

Протокол №1 от « 20 » февраля 2015 г.

Санкт-Петербург
2015 г.

Шергин

Рабочая программа составлена на основании федеральных государственных образовательных стандартов основных образовательных программ высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, специальность 01.04.02 Теоретическая физика

1. Цель освоения дисциплины

Курс предназначен для подготовки аспирантов к кандидатскому экзамену по специальности. Цель освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния» - дать аспирантам, обучающимся по научной специальности 01.04.02 «Теоретическая физика», знания о фундаментальных закономерностях, лежащих в основе науки о конденсированном состоянии вещества, и современных методах исследования, о новейших результатах исследований и их практическом применении.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» входит в вариативную часть учебного плана подготовки аспирантов по специальности 01.04.02.

Содержание дисциплины служит основой для:

- подготовки к сдаче экзамена по специальности;
- написания кандидатской диссертации;
- осуществления дальнейшей профессиональной деятельности.

Обучение ведется в форме аудиторных занятий и самостоятельной подготовки.

В результате прохождения курса обучения по данной программе, аспирант должен освоить базовые принципы физики твердого тела в русле проблематики лаборатории (группы), где работает его научный руководитель, и где будет проходить самостоятельная научная работа аспиранта. Изучение данной дисциплины и специфика подачи отдельных вопросов может варьироваться в зависимости от индивидуального плана работы аспиранта, согласованного с его научным руководителем в целях оптимального соответствия решаемым задачам.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ООП по направлению подготовки «Физика и астрономия»:

3.1. Универсальные компетенции:

- способность 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).

3.2. Общепрофессиональные компетенции:

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

3.3. Профессиональные компетенции:

- способность планировать и организовывать работу по теоретическим проектам, направленных на изучение новых физических эффектов (ПК-1);
- способность получать и обрабатывать информацию по новым методам расчетов в области теоретической физики (ПК-2);
- способность анализировать и систематизировать научную информацию по современным достижениям в области общей физики и специальных областей физики по теме исследования (ПК-3);
- способность анализировать физические явления на качественном уровне, умение делать оценки и развить навыки работы с экспериментальными данными (ПК-4).

4. Структура и содержание дисциплины «Физика конденсированного состояния»:

общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72 часа).

4.1. Объем дисциплины и количество учебных часов:

Вид учебной работы	Трудоемкость (в часах)
Аудиторные занятия	36
Лекции	36
Семинары	-
Лабораторные занятия	-
Другие виды учебной работы (промежуточный зачет)	
Внеаудиторные занятия	36
Самостоятельная работа аспиранта	36
ИТОГО	72
Вид итогового контроля	зачет

4.2. Структура дисциплины

№ п/п	Тема	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу, и трудоемкость (в часах)			
		Объем	ЛЕК	Лаб	СР
1	Кристаллические и аморфные твердые тела. Методы исследования структуры	8	4		4
2	Дефекты кристаллической решетки	10	4		6
3.	Основы зонной теории кристаллов	14	8		6
4	Электронные состояния в твердых телах	8	4		4
5	Процессы переноса и теплоемкость твердых тел	8	4		4
6	Диамагнетизм, парамагнетизм и ферромагнетизм твердых тел	8	4		4
7	Сверхпроводимость	8	4		4
8	Оптические свойства твердых тел	8	4		4
9	Промежуточный зачет				
	ИТОГО	72	36		36

5. Содержание разделов (тем) дисциплины

5.1. Содержание аудиторных занятий

Тема 1 – Кристаллические и аморфные твердые тела. Методы исследования структуры (лекции - 4 часа)

Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная, ковалентная, металлическая. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структуры типа алмаза и графита. Кристаллические и аморфные твердые тела. Дифракция рентгеновских лучей, электронов и нейтронов в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей. Брэгговское отражение.

(СР - 4 часа)

Поверхности и границы раздела твердых тел. Структура поверхности и химическая связь, релаксировавшие и реконструированные поверхности. Экспериментальные методы приготовления поверхностей и исследования их атомарной структуры.

Тема 2 – Дефекты кристаллической решетки

(лекции - 4 часа)

Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации. Движение дислокаций. Подвижность и размножение дислокаций. Взаимодействие дислокаций. Теоретическая прочность твердых тел. Кинетическая природа разрушения. Долговечность и ее зависимость от напряжения и температуры. Формула Журкова. Элементарные акты разрушения. Флуктуации энергии. Квантовые эффекты в разрушении.

(СР - 6 часов):

Внутреннее трение, его микромеханизмы. Активная деформация. Ползучесть, ее стадии, температурно-силовая зависимость. Ротационные эффекты при деформации. Деформационное упрочнение, его механизмы. Электро-, фото- и магнито-пластические эффекты. Электронные процессы при деформировании твердых тел. (3 часа)

Микротрещины. Зарождение, рост, накопление, возможности их залечивания. Виды разрушения. Хрупкое и вязкое разрушение. Усталостное разрушение. Коррозионное разрушение. Разрушение композиционных материалов. Роль поверхностей раздела. Прогнозирование разрушения. (3 часа).

Тема 3 – Основы зонной теории кристаллов

(лекции - 8 часов)

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна-Кармана. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Квазиимпульс. Обратная решетка и ее свойства. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве. Кристаллические структуры, отвечающие плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, типа CsCl и NaCl.

(СР - 4 часа)

Метод эффективной массы. Искривление энергетических зон в электрическом поле. Движение электронов и дырок в магнитном поле; циклотронный резонанс и определение эффективных масс носителей.

Тема 4 – Электронные состояния в твердых телах

(лекции - 4 часа)

Приближение почти свободных электронов. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Проводимость, эффект Холла, термо- ЭДС, фотопроводимость. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости. Спиновые волны. Магноны.

(СР -4 часа)

Уровни энергии, создаваемые примесными центрами. Водородоподобные примесные центры. Расчет энергии связи мелких и глубоких уровней в кристаллах.

Тема 5 – Тепловые колебания и процессы переноса в твердых телах

(лекции - 4 часа)

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная решетки, одномерные цепочки атомов. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие. Тепловое расширение твердых тел, его физическое происхождение. Ангармонические колебания. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы. Границы справедливости классической теории. Квантовая теория теплоемкости твердых тел по Эйнштейну и Дебаю. Температура Дебая. Решеточная теплоемкость и ее температурная зависимость. Электронная теплоемкость и ее температурная зависимость. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон

Видемана – Франца для электронной теплопроводности.

(СР - 4 часа):

Формула Друде для проводимости. Рассеяние на заряженных и нейтральных примесях. Рассеяние на акустических и оптических фононах. Общие характеристики различных механизмов рассеяния. Упругое и неупругое рассеяние. Время релаксации импульса и время релаксации энергии.

Тема 6 – Диамагнетизм, парамагнетизм и ферромагнетизм твердых тел

(лекции - 4 часа)

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики и парамагнетики. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя. Электронный парамагнитный резонанс. Природа ферромагнетизма. Фазовые переходы в ферромагнитное состояние.

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

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля.

(СР - 4 часа):

Магнитное упорядочение и его природа; термодинамика ферромагнетиков; спин-орбитальное взаимодействие и магнитная анизотропия; кривые намагничивания; ферромагнитные доменные стенки и их строение, доменные структуры; магнитострикция; магнитный резонанс и спиновые волны. (2 часа)

Параметр порядка антиферромагнетиков; магнитная анизотропия; фазовые переходы; антиферромагнитные домены и доменные стенки; антиферромагнитный резонанс и спиновые волны; магнитоэлектрический и пьезомагнитный эффекты в антиферромагнетиках. (2 часа)

Тема 7 – Сверхпроводимость

(лекции - 4 часа)

Сверхпроводимость. Эффекты Мейснера и Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель. Сверхпроводники I-го и II-го рода.

Сверхпроводники и их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Высокотемпературные сверхпроводники.

(СР - 4 часа):

Основные экспериментальные факты - характеристики сверхпроводимости. Критическая температура. Разрушение сверхпроводимости магнитным полем. Теория сверхпроводимости Гинзбурга-Ландау. Микроскопическая теория сверхпроводимости (БКШ). Связь БКШ с теорией Гинзбурга-Ландау. Слабая сверхпроводимость. Применения сверхпроводников.

Тема 8 – Оптические явления в твердых телах

(лекции - 4 часа)

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Поглощение света в полупроводниках (поглощение свободными носителями, решеткой, межзонное и примесное поглощение). Свободные и связанные экситоны. Экситонное поглощение и излучение. Магнитооптические эффекты Фохта и Керра. Магнитооптический эффект Фарадея.

(СР - 4 часа)

Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов. Экситон-фононное взаимодействие в оптических спектрах полупроводников и щелочно-галогидных кристаллов. Автолокализация экситонов. Собственная излучательная рекомбинация и рекомбинация с участием примесей и дефектов. Спектры возбуждения люминесценции.

5.2. Самостоятельная работа аспиранта

Самостоятельная работа аспиранта включает повторение лекционного материала по темам, чтение рекомендованной литературы и научной периодики, а также изучение методических рекомендаций к работе в лаборатории.

6. Оценочные средства для текущего контроля и промежуточной аттестации

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

6.1. Текущий контроль

Текущий контроль проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность аспирантов на лекциях, уровень подготовки.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений.

6.2. Промежуточная аттестация

По окончании лекций по дисциплине Физика конденсированного состояния аспиранты сдают зачет.

Контрольные вопросы:

Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Квантовая теория теплоемкости твердых тел по Эйнштейну и Дебаю. Температура Дебая.

Точечные дефекты, их образование и диффузия

Дифракция рентгеновских лучей, электронов и нейтронов в кристаллах.

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

Решеточная теплоемкость и ее температурная зависимость.

Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная, ковалентная, металлическая.

Электронная теплоемкость и ее температурная зависимость.

Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решетка Браве.

Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структуры типа алмаза и графита.

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов.

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

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

Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний.

Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

Химическая связь и валентность. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями.

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

Обратная решетка и ее свойства. Зона Бриллюэна.

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные.

Коэффициенты поглощения и отражения.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Линейчатый спектр энергии.

Дифракция рентгеновских лучей. Брэгговское отражение.

Кристаллические и аморфные твердые тела.

Кристаллические структуры, отвечающие плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПЦ, типа CsCl и NaCl.

Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Теорема Блоха. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна

Спиновые волны. Магноны.

Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон

дисперсии.

Поглощение света в полупроводниках (поглощение свободными носителями, решеткой).

Тепловое расширение твердых тел, его физическое происхождение. Ангармонические колебания

Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики и парамагнетики.

Металлы, диэлектрики, полупроводники.

Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость.

Электронный парамагнитный резонанс.

Магнитооптический эффект Фарадея.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний.

Природа ферромагнетизма. Фазовые переходы в ферромагнитное состояние.

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

Ядерный магнитный резонанс.

Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Поглощение света в полупроводниках (межзонное и примесное поглощение).

Высокотемпературные сверхпроводники.

Сверхпроводники I-го и II-го рода.

Магнитооптические эффекты Фохта и Керра.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна-Кармана

Сверхпроводники и их магнитные свойства. Вихри Абрикосова.

Сверхпроводимость. Эффекты Мейснера и Джозефсона.

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость.

Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

7. Образовательные технологии

В процессе обучения применяются следующие образовательные технологии:

1. Сопровождение лекций показом визуального материала;
2. Использование компьютерных моделей физических процессов в полупроводниках;

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Учебные, учебно-методические и иные библиотечно-информационные ресурсы обеспечивают учебный процесс и гарантируют возможность качественного освоения аспирантом образовательной программы. ФТИ им. А.Ф.Иоффе располагает обширной библиотекой, включающей общенаучную и специальную литературу.

8. Литература

Основная литература:

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. Учебное руководство, 2-е изд./ Ч. Киттель. – 2006. М. ООО «МедиаСтар» и предшествующие издания.
2. Фейнман Р.Ф. Фейнмановские лекции по физике. Вып.7. Физика сплошных тел. 3-е изд./ Р. Ф. Фейнман 2008. М. изд. «УРСС» и предшествующие издания.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Кн.5/ И. В. Савельев. – 2007. М. изд. «АСТ» и предшествующие издания.
4. Воронов В.К. Современная физика: Конденсированное состояние: Учебное пособие/ В. К. Воронов. - 2008. М. изд. ЛКИ.
5. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. М., Наука, 2000
6. Питер Ю, Мануэль Кардона. Основы физики полупроводников. М. Физмат- лит, 2002
7. Отечественные журналы:
Физика Твёрдого Тела (бумажная версия)

8. Иностранные журналы:

Nature (бумажная версия)

Phys. Rev. B (бумажная версия)

Physics E: Solid State (бумажная версия)

Дополнительная литература

1. Кейси Х., Паниш М. «Лазеры на гетероструктурах», 2 тома. М.: Мир, 1981
2. Р.Смит «Полупроводники». М.:Мир, 1982
3. Херман М. «Полупроводниковые сверхрешетки». М.: Мир, 1989
4. Воробьев Л.Е. «Фотоэлектрические явления в полупроводниках и размерно-квантовых структурах». СПб: Наука, 2001
5. Винтайкин Б.Е. «Физика твердого тела». М.: МГТУ, 2008

10. Программное обеспечение

1. Новые полупроводниковые материалы. Наноструктуры. Характеристики и свойства. База данных разработана и поддерживается сектором теоретических основ микроэлектроники: <http://www.matprop.ru/>
2. Углеродные наноструктуры. Информационно-библиографическая база данных, поддерживаемая лабораторией физики кластерных структур: <http://www.Ioffe.ru/db-vul/>

11. Интернет-ресурсыОтечественные журналы:

1. Физика твердого тела
электронная версия; доступ с 1992 по текущий год
2. Физика и техника полупроводников
электронная версия; доступ с 1992 по текущий год
3. ЖЭТФ; электронная версия; доступ с 2001 по текущий год
4. Письма в ЖЭТФ электронная версия; доступ с 2008 по текущий год
5. Успехи физических наук электронная версия; доступ с 1988 по текущий год

Иностранные журналы:

1. Physical Review B (American Physical Society) электронная версия; доступ с 1970 по текущий год;
2. Physical Review Letters (American Physical Society) электронная версия; доступ с 1958 по текущий год;
3. Applied Physics A: Materials Science & Processing (Springer) подписка с 2013 года
4. Central European Journal of Physics доступ с 2003 по текущий год
5. The European Physical Journal B Condensed Matter and Complex Systems (Springer) подписка с 2013 года
6. International Journal of Modern Physics B (World Scientific Publishing Company) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год
7. Journal of Physics and Chemistry of Solids (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 1958 по 2009
8. Journal of Physics : Condensed Matter (UK Institute of Physics) электронная версия; доступ с 1989 по текущий год
9. Journal of Non-crystalline Solids (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год
10. Journal of Magnetism and Magnetic Materials (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год
11. Nanotechnology (UK Institute of Physics) электронная версия; доступ с 1990 по текущий год
12. Nature (Nature Publishing Group) электронная версия; доступ с 1997 по текущий год
13. Nature Materials (Nature Publishing Group) электронная версия; доступ с 2002 по текущий год
New Journal of Physics" (UK Institute of Physics) электронная

- версия; доступ с 1999 по текущий год
14. Philosophical Magazine (Taylor & Francis Group) электронная версия; доступ с 1798 по текущий год
 15. Philosophical Magazine Letters (Taylor & Francis Group)) электронная версия; доступ с 1987 по текущий год
 16. Physica B (Condensed Matter) (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 1999 по текущий год
 17. Physica C (Superconductivity)) (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 1999 по текущий год
 18. Physica E (Nanostructures)) (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год
 19. Physica Status Solidi A (Wiley) электронная версия; доступ с 1996 по текущий год
 20. Physica Status Solidi B (Wiley) электронная версия; доступ с 1996 по текущий год
 21. Physica Status Solidi C (Wiley) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год
 22. Physica Status Solidi RRL (Wiley) электронная версия; доступ с 2007 по текущий год
 23. Solid State Communications (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 1972 по 2010

11. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН располагает материально-технической базой, соответствующей санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренной учебным планом.

Наименование оборудования для проведения занятий по дисциплине:

1. Лекционная аудитория
2. Мультимедийный проектор
3. Персональный компьютер
4. Лаборатория оптики полупроводников и лаборатория спектроскопии твердого тела, располагающие экспериментальными комплексами для исследования оптических спектров излучения, поглощения, рассеяния и отражения твердыми телами в широком спектральном интервале от ближней ИК-области до ближней УФ-области спектра.
5. Лаборатория оптики поверхности, имеющая оборудование для исследования поверхности методами сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии, в том числе и в высоком вакууме.
6. Лаборатория микроволновой спектроскопии кристаллов с оборудованием для исследования спектров ЭПР, двойного электронно-ядерного резонанса, а также оптического детектирования магнитного резонанса.
7. Лаборатории физики профилированных кристаллов, физики прочности и динамики материалов располагают оборудованием для контроля физических процессов при деформировании и разрушении твердых тел в статических и динамических условиях нагрузки.

Программа разработана вед.н.с., д.ф.-м.н. А.Н.Резницким