



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»
Физический факультет
Кафедра общей и экспериментальной физики

УТВЕР-
ЖДАЮ
Декан ~~Г.М. Буднев~~
«20» июня 2017 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Наименование дисциплины (модуля): Теоретические основы физики конденсированного состояния

Код дисциплины Б1.В.ОД.11

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Тип образовательной программы Академический бакалавриат

Профиль подготовки: Физика конденсированного состояния.

Степень (квалификация) выпускника - бакалавр

Форма обучения: очная.

Согласовано с УМК физического факультета.
Протокол № 8
от 19 июня 2017 г.

Зам. председателя УМК
В.В. Чумак

Рекомендовано кафедрой
общей и экспериментальной физики.
Протокол №12
от 13 июня 2017 г.

Зав. кафедрой

А.А. Гаврилюк

Иркутск 2017 г.

Оглавление

1. Цели и задачи курса.....	3
2. Место дисциплины в структуре ООП.....	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины.....	3
4. Объем дисциплины и виды учебной работы.....	4
5. Содержание программы.....	5
5.1. Содержание разделов и тем дисциплины.....	5
5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами.....	6
5.3 Разделы и темы дисциплины и виды занятий.....	6
6. Перечень практических занятий.....	6
6.1. План самостоятельной работы студентов.....	6
6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов	9
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии):.....	10
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....	10
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины:.....	11
10. Образовательные технологии:.....	11
11. Оценочные средства (ОС):.....	11
Приложение: Фонд оценочных средств	

1. Цели и задачи курса.

Целями освоения дисциплины «Теоретические основы Физики конденсированного состояния» являются:

- изучение основ зонной теории и деления твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики;
- знание основных электрических и магнитных свойств твердых тел;
- овладение навыками измерения параметров полупроводников.

Задачи дисциплины

- Знать фундаментальные физические закономерности, определяющие свойства твердых тел;
- Уметь применять полученные знания для расчетов физических характеристик твердотельных материалов;
- Иметь навыки экспериментальных исследований и анализа полученных результатов.

Программа ориентирована на развитие у студентов интереса к познанию физических явлений, приобретение навыков самостоятельного изучения фундаментальных основ науки и их приложений.

2. Место дисциплины в структуре ООП.

Дисциплина «Теоретические основы Физики конденсированного состояния» входит в модуль Б1.В.ОД.11, относящийся к вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 03.03.02 Физика. При изучении дисциплины «Теоретические основы физики конденсированного состояния» используются знания, приобретенные при изучении курсов «Общей физики» и «Высшей математики».

Общая трудоемкость дисциплины – 2 зачетные единицы.

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующей компетенции: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1).

В результате изучения дисциплины студент должен:

- знать:* теоретические основы физики конденсированного состояния;
- уметь:* понимать, излагать и критически анализировать базовую общезначимую информацию; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями физики;
- владеть:* методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информацией.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры			
		5	-	-	-
Аудиторные занятия (всего)	40/1.1	40/1.11	-	-	-
В том числе:	-	-	-	-	-
Лекции	-	-	-	-	-
Практические занятия (ПЗ)	36/1	36/1	-	-	-
Коллоквиум	-	-	-	-	-
Лабораторные работы (ЛР)	-	-	-	-	-
Контроль самостоятельной работы (КСР)	4/0.1	4/0.1	-	-	-
Самостоятельная работа (всего)	32/0.9	32/0.9	-	-	-
В том числе:	-	-	-	-	-
Курсовой проект (работа)	-	-	-	-	-
Расчетно-графические работы	-	-	-	-	-
Реферат (при наличии)	32/0.9	32/0.9	-	-	-
<i>Домашние контрольные работы</i>	-	-	-	-	-
Вид аттестации экзамен			-	-	-
Общая трудоемкость часы	72	72	-	-	-
Зачетные единицы	2	2	-	-	-

5. Содержание программы

5.1. Содержание разделов и тем дисциплины.

I. ВВЕДЕНИЕ

Тема 1. Введение

Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы развития физики твердого тела. Связь дисциплины с другими разделами.

Тема 2. Классификация твердых тел по типам связи

Типы химических связей. Металлические, ионные, ковалентные, молекулярные кристаллы. Энергия связи кристаллической решетки.

Тема 3. Тепловые колебания кристаллической решетки

Гармонические колебания кристаллической решетки. Нормальные моды. Спектр колебаний кристаллической решетки. Акустические и оптические колебания. Квантовая теория колебаний кристаллической решетки. Фононы. Энергия и импульс фонона. Статистика фононов. Зависимость концентрации фононов и энергии кристаллической решетки от температуры, температура Дебая. Теплоемкость кристаллической решетки. Тепловое расширение твердых тел.

Тема 4. Основы зонной теории твердых тел

Обобществление электронов в кристалле. Энергетический спектр электронов в твердых телах. Движение электронов в периодическом поле кристаллической решетки, эффективная масса электронов. Деление твердых тел на диэлектрики, полупроводники и металлы. Собственные полупроводники. Понятие о дырке. Примесные полупроводники. Некристаллические твердые тела. Неупорядоченные системы. Ближний и дальний порядок. Энергетические состояния электронов в неупорядоченных твердых телах. Плотность состояний. Локализация Андерсена. Переход Андерсена. Порог подвижности.

Тема 5. Статистика свободных носителей заряда в твердых телах

Статистический подход к описанию микрочастиц. Распределение электронов по состояниям, функция плотности состояний. Функции распределения Ферми-Дирака и Максвелла-Больцмана. Вырожденные и невырожденные коллективы частиц. Статистика электронов в металлах. Уровень Ферми и его связь с концентрацией носителей в невырожденных полупроводниках. Температурная зависимость концентрации свободных носителей заряда в полупроводниках. Компенсированные полупроводники. Сильно легированные полупроводники. Закон действующих масс.

Тема 6. Неравновесные носители заряда в полупроводниках

Неравновесные носители заряда в полупроводниках. Скорость генерации и скорость рекомбинации. Механизмы рекомбинации. Диффузия и дрейф неравновесных носителей в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Диффузионный и дрейфовый токи. Эффективный коэффициент диффузии. Диффузионная длина. Диффузия в случае монополярной генерации. Дебаевская длина экранирования.

Тема 7. Кинетические явления в твердых телах

Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации.

Дрейф свободных носителей заряда в твердых телах. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электропроводность полупроводников и металлов. Время релаксации и подвижность свободных носителей. Зависимость подвижности от температуры при различных механизмах рассеяния. Температурная зависимость электропроводности полупроводников и металлов.

Тема 8. Сверхпроводимость

Сверхпроводящее состояние. Идеальный диамагнетизм. Энергетическая щель. Эффект Джозефсона. Критическое магнитное поле и критическая плотность тока. Глубина проникновения магнитного поля. Сверхпроводники I и II рода. Высокотемпературные сверхпроводники.

Тема 9. Магнитные свойства твердых тел

Магнитные моменты атомов и магнитные свойства твердых тел. Природа диамагнетизма. Диамагнетизм свободного электронного газа. Уровни Ландау. Парамагнетизм Паули. Природа ферромагнетизма. Магнитное упорядочение. Спонтанная намагниченность. Обменное взаимодействие. Ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики. Доменная структура, механизмы намагничивания, гистерезис.

5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых дисциплин	№ № тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых дисциплин (вписываются разработчиком)								
		Тема 2	Тема 3	Тема 4	Тема 6	Тема 7	Тема 9			
1.	Физика диэлектриков									

5.3 Разделы и темы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела Наименование темы	Виды занятий в часах					
		Лекц.	Практ. зан.	Семина	Лаб. зан.	СРС	Всего
1	Введение		2			4	6
2	Классификация твердых тел по типам связи		4			4	8
3	Тепловые колебания кристаллической решетки		6			4	10
4	Основы зонной теории твердых тел		4			4	8
5	Статистика свободных носителей заряда в твердых телах		4			4	8
6	Неравновесные носители заряда в полупроводниках		4			4	8
7	Кинетические явления в твердых телах		4			4	8
8	Сверхпроводимость		4			4	8
9	Магнитные свойства твердых тел		4			-	4

6. Перечень практических занятий

6.1. План самостоятельной работы студентов

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1	Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы развития физики конденсированного состояния. Связь дисциплины с другими разделами.	2		ПК-1
2	Тема 2	Типы химических связей. Металлические, ионные, кристаллы.	2		ПК-1
3	Тема 2	Типы химических связей. Ковалентные, молекулярные. Энергия связи кристаллической решетки.	4		ПК-1
4	Тема 3	Гармонические колебания кристаллической решетки. Нормальные моды. Спектр колебаний кристаллической решетки.	2		ПК-1

5	Тема 3	Акустические и оптические колебания. Квантовая теория колебаний кристаллической решетки. Фононы. Энергия и импульс фонона. Статистика фононов.	2		ПК-1
6	Тема 4	Обобществление электронов в кристалле. Энергетический спектр электронов в твердых телах. Движение электронов в периодическом поле кристаллической решетки, эффективная масса электронов. Деление твердых тел на диэлектрики, полупроводники и металлы. Собственные полупроводники. Понятие о дырке. Примесные полупроводники.	4		ПК-1
7	Тема 4	Некристаллические твердые тела. Неупорядоченные системы. Ближний и дальний порядок. Энергетические состояния электронов в неупорядоченных твердых телах. Плотность состояний. Локализация Андерсена. Переход Андерсена. Порог подвижности.	2		ПК-1
8	Тема 5	Статистический подход к описанию микрочастиц. Распределение электронов по состояниям, функция плотности состояний. Функции распределения Ферми-Дирака и Максвелла-Больцмана. Вырожденные и невырожденные коллективы частиц.	2		ПК-1
9	Тема 5	Статистика электронов в металлах. Уровень Ферми и его связь с концентрацией носителей в невырожденных полупроводниках. Температурная зависимость концентрации свободных носителей заряда в полупроводниках. Компенсированные полупроводники. Сильно легированные полупроводники. Закон действующих масс.	2		ПК-1
10	Тема 6	Неравновесные носители заряда в полупроводниках. Скорость генерации и скорость рекомбинации. Механизмы рекомбинации.	2		ПК-1
11	Тема 6	Диффузия и дрейф неравновесных носителей в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Диффу-	2		ПК-1

		зионный и дрейфовый токи. Эффективный коэффициент диффузии. Диффузионная длина. Диффузия в случае монополярной генерации. Дебаевская длина экранирования.			
12	Тема 7	Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации. Дрейф свободных носителей заряда в твердых телах. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электропроводность полупроводников и металлов. Время релаксации и подвижность свободных носителей.	2		ПК-1
13	Тема 7	Зависимость подвижности от температуры при различных механизмах рассеяния. Температурная зависимость электропроводности полупроводников и металлов.	2		ПК-1
14	Тема 8	Сверхпроводящее состояние. Идеальный диамагнетизм. Энергетическая щель. Эффект Джозефсона.	2		ПК-1
15	Тема 8	Критическое магнитное поле и критическая плотность тока. Глубина проникновения магнитного поля. Сверхпроводники I и II рода. Высокотемпературные сверхпроводники.	2		ПК-1
16	Тема 9	Магнитные моменты атомов и магнитные свойства твердых тел. Природа диамагнетизма. Диамагнетизм свободного электронного газа. Уровни Ландау.	2		ПК-1
17	Тема 9	Парамагнетизм Паули. Природа ферромагнетизма. Магнитное упорядочение. Спонтанная намагниченность. Обменное взаимодействие. Ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики. Доменная структура, механизмы намагничивания, гистерезис.	2		ПК-1

6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Цель самостоятельной работы студента – осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою профессиональную квалификацию.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная – самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию;
- внеаудиторная – самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа помогает студентам:

1) овладеть знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;
- работа со справочниками и др. справочной литературой;
- ознакомление с нормативными и правовыми документами;
- учебно-методическая и научно-исследовательская работа;
- использование компьютерной техники и Интернета и др.;

2) закреплять и систематизировать знания:

- работа с конспектом лекции;
- обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;
- подготовка плана;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- подготовка ответов на контрольные вопросы;
- заполнение рабочей тетради;
- аналитическая обработка текста;
- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению на семинаре (конференции, круглом столе и т.п.);
- подготовка реферата;
- составление библиографии использованных литературных источников;
- тестирование и др.;

3. формировать умения:

- решение ситуационных задач и упражнений по образцу;
- выполнение расчетов (графические и расчетные работы);
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к тестированию;
- опытно-экспериментальная работа;
- подготовка к курсовым работам.

7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии):

не предусматривается

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Щербаченко Л.А. Физика конденсированного состояния. Часть 1. Учебно-методическое пособие в 2-х частях. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 98с. (50 экз.)
2. Щербаченко Л.А. Физика конденсированного состояния. Часть 2. Учебно-методическое пособие в 2-х частях. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 95 с. (50 экз.)
3. Душутин Н.К., Моховиков А.Ю. Из истории физики конденсированного состояния. Учебное пособие. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. – 337 с. (8 экз.)
4. Байков Ю.А. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс]: - ЭВК. – М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2013. – (Учебник для высшей школы). – Режим доступа: ЭЧЗ «Библиотех». – Неогранич. доступ.

Сверено с №5 ИГУ

Дополнительная литература

1. Аграфонов Ю.В. Физика конденсированного состояния вещества. Метод функций распределения [Электронный ресурс] : - Иркутский гос. ун-т, Науч. б-ка. – Электрон. текстовые дан. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2005
2. Валишев М.Г., Повзнер А.А. Курс общей физики [Электронный ресурс]. – 2010. Режим доступа: ЭБС «Издательство «Лань». – Неогранич. доступ.
3. Епифанов Г.И. Физика твердого тела [Электронный ресурс]. – 2011. Режим доступа: ЭБС «Издательство «Лань». – Неогранич. доступ.

1) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы: интернет ресурсы в свободном доступе и на сайте ИГУ www.isu.ru и физического факультета ИГУ.

2) программное обеспечение:

QTI-plot Пакет для построения графиков. Лицензия GPL

базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

1. интернет ресурсы в свободном доступе и на сайте ИГУ www.isu.ru
2. Сайт кафедры экспериментальной физики <http://medphysics-irk.ru>
3. Hamamatsu «Handbook of photomultipliers» [Электронный ресурс]: https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/PMT_handbook_v3aE.pdf

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Стандартные средства для представления и демонстрации презентаций.

10. Образовательные технологии:

При освоении дисциплины используются следующие сочетания видов учебной работы с методами и формами активизации познавательной деятельности бакалавров для достижения запланированных результатов обучения и формирования компетенций: на лекционных занятиях – дискуссии, индивидуальное обучение и обучение на основе опыта; на практических занятиях – дискуссия, работа в команде, индивидуальное обучение, обучение на основе опыта, исследовательский метод.

Для достижения поставленных целей преподавания дисциплины реализуются следующие средства, способы и организационные мероприятия:

- изучение теоретического материала дисциплины на лекциях с использованием компьютерных и интерактивных технологий;
 - самостоятельное изучение теоретического материала дисциплины с использованием Интернет-ресурсов, информационных баз, методических разработок, специальной учебной и научной литературы;
 - закрепление теоретического материала при проведении практических занятий с использованием демонстрационного и наглядного (графического) материалов, специальной литературы, выполнение индивидуальных заданий.
- Занятия проводятся с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Имеется комплект компьютерных презентаций по всем разделам курса (авт. Шалаев А.А).

11. Оценочные средства (ОС):

Фонд оценочных средств представлен в Приложении к программе

11.1. Оценочные средства для входного контроля (могут быть в виде тестов с закрытыми или открытыми вопросами).

11.2. Оценочные средства текущего контроля формируются в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе университета.

Перечень контрольных вопросов для самостоятельной работы студентов

1. Структура кристаллов
2. Химические связи и энергия решетки
3. Упругость кристаллов
4. Электронная теория металлов
5. Зонная структура кристаллов.
6. Полупроводники
7. Контактные явления. Потенциальные барьеры. Работа выхода
8. Точечные дефекты. Диффузия в твердых телах.
9. Неупорядоченные материалы. Атомная структура.

Примечание: Студент готов к экзамену, если он знает и понимает основные формулы и законы, умеет их применять для решения задач, знает методы решения задач.

11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации в форме экзамена.

Вопросы к экзамену:

1. С какой силой взаимодействуют между собой соседние ионы цезия и хлора в кристалле хлористого цезия ?
2. Сколько атомов содержится в каждой элементарной ячейке кристалла, если она является: а) простой; б) объемно центрированной; в) гранецентрированной кубической ячейкой?
3. Сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку в кристаллах с простой, объемноцентрированной и гранецентрированной кубической структурой?
4. Сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку в кристаллах с простой и плотноупакованной гексагональной структурой?
5. Показать, что для идеальной гексагональной структуры с плотной упаковкой $c/a = 1,633$.
6. Доказать, что направление $[hkl]$ в кубической решетке нормально к плоскости (hkl) .
7. Какие плоскости в структуре гранецентрированного куба и объемноцентрированного куба имеют наибольшую плотность упаковки атомов? В каких направлениях в этих плоскостях линейная плотность расположения атомов максимальна?
8. Вычислить минимальную длину волны Дебая в титане, если его характеристическая температура 5°C , а скорость распространения звука $6 \cdot 10^3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.
9. Какова максимальная энергия фононов в кристалле свинца, если характеристическая температура его 94 K ?
10. Какова удельная теплоемкость цинка при 100°C ?
11. Удельная теплоемкость алюминия при 20°C равна $840 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Выполняется ли при этой температуре для него закон Дюлонга и Пти?
12. Вычислить удельную теплоемкость алмаза при температуре 30 K .
13. Как образуются зоны разрешенных энергий электронов в кристаллах?
- 14. Каковы длины волн де Бройля для электрона, движущегося у верхнего или нижнего края свободной зоны?**
15. В чем смысл адиабатического и одноэлектронного приближений при решении уравнения Шредингера для электрона в кристалле? Вид волновой функции и энергии в рамках этих приближений.
16. Что такое зона Бриллюэна? Сформулируйте правило построения зон Бриллюэна.
17. Сущность приближений почти свободных и почти связанных электронов. Какие основные выводы можно сделать из решения уравнения Шредингера этими методами. Какие еще методы решения вы знаете?
18. Чем отличаются зонные схемы для полупроводников, диэлектриков и металлов?
19. Перечислите различные типы локальных уровней энергии электронов в запрещенной зоне.
20. Что понимается под идеальной кристаллической решеткой? Как идеальная решетка воздействует на движение электрона по кристаллу?
21. Эффективная масса электрона в кристалле. Ее физический смысл.
22. Связь эффективной массы с кривизной изоэнергетической поверхности, скоростью и квазиимпульсом
23. Понятие полупроводника, металла, диэлектрика в зонной теории.
24. Что такое водородоподобная модель примесных состояний?
- 25. В кристалле кремния массой 120 г равномерно по объему распределены $25,7 \mu\text{кг}$ фосфора и $38,2 \mu\text{кг}$ галлия. Считая, что атомы примеси полностью ионизированы, вычислить удельное сопротивление кристалла.**
26. Объясните, как вычисляется концентрация электронов в зоне проводимости собственного полупроводника или диэлектрика. Какова зависимость этой концентрации от температуры?
27. Как влияет температура на концентрацию свободных электронов в примесном полупроводнике?
28. Сопротивление кристалла PbS при температуре 20°C равно 10^4 Ом . Определить его сопротивление при температуре $+80^\circ \text{C}$.
29. Каковы особенности заполнения электронами локальных уровней в запрещенной зоне?

30. Вычислите плотность тока термоэлектронной эмиссии j (при равном нулю электрическом поле) для вольфрама при температуре 2500К.
31. Начертите зонную схему, соответствующую контакту металл - полупроводник n -типа для случая, когда термодинамическая работа выхода электрона из полупроводника больше, чем из металла.
32. Чем объясняется искривление энергетических зон у поверхности полу проводника?

Разработчик:



к.ф.-м.н., доцент С.М. Зубрицкий

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики
« 13 » июня 2017 г.

Протокол № 12

Зав. кафедрой



д.ф.-м.н., профессор А.А. Гаврилюк