

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


_____ Н.В.Лобов

« 23 » апреля 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: _____ **Физика твердого тела** _____
(наименование)

Форма обучения: _____ **очная** _____
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: _____ **бакалавриат** _____
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: _____ **216 (6)** _____
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: _____ **12.03.03 Фотоника и оптоинформатика** _____
(код и наименование направления)

Направленность: _____ **Фотоника и оптоинформатика (общий профиль, СУОС)** _____
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины «Физика твёрдого тела» состоит в том, чтобы сформировать у студентов представление об основных положениях физики твердого тела, которые являются естественно-научным базисом подготовки бакалавров по направлению «Фотоника и оптоинформатика», об особенностях структуры кристаллов, о роли, которую играет симметрия при объяснении свойств твёрдых тел, развить у студентов системное понимание.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Элементы кристаллографии; экспериментальные дифракционные методы; сканирующая зондовая микроскопия; дефекты в твёрдых телах; квантовые статистики для электронного, фотонного и фононного газа; тепловые свойства твёрдых тел; электропроводность твёрдых тел.

1.3. Входные требования

Данная дисциплина базируется на знаниях, полученных студентами в процессе изучения дисциплин: "Физика", "Математика", "Специальные разделы физики", "Дискретные и непрерывные статистические распределения"

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.3	ИД-1пк-1.3	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> – систему понятий и представлений о различных типах симметрии, используемых для характеристики структуры и свойств твёрдых тел; – об основных типах дефектов твёрдых тел; – об особенностях исследования структуры твёрдых тел с помощью как классических дифракционных, так и новейших микроскопических методов; – о зонной структуре кристаллов, о квантово-статистических подходах описания их свойств; – о теориях теплоёмкости, теплопроводности и электропроводности твёрдых тел. 	<p>Знает методы обработки результатов измерений параметров однородных, композиционных и наноструктурных материалов.</p>	Дифференцированный зачет
ПК-1.3	ИД-2пк-1.3	<p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> – объяснять основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических теорий; – работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории; – использовать различные методики физических измерений и обработки экспериментальных данных; – определять ширину запрещённой зоны полупроводника; – снимать вольт-амперную характеристику металлов, 	<p>Умеет применять методы обработки результатов измерений параметров однородных, композиционных и наноструктурных материалов.</p>	Защита лабораторной работы

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		<p>полупроводников, р-п-переходов (прямых и обратных), контактов металл-полупроводник;</p> <p>– применять физические законы, математические методы и вычислительную технику для решения практических задач;</p> <p>– применять навыки работы со справочной литературой по физико-химическим свойствам кристаллов для учебно-методических целей или для научной работы;</p>		
ПК-1.3	ИД-3пк-1.3	<p>Владеет:</p> <p>– навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории;</p> <p>– методами обработки и интерпретирования результатов эксперимента;</p> <p>– методами физического моделирования в инженерной практике.</p>	<p>Владеет навыками определения степени достоверности результатов экспериментальных исследований и составления реестра параметров наноструктурных материалов.</p>	Защита лабораторной работы

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		5	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	108	108	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	50	50	
- лабораторные работы (ЛР)	36	36	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	18	18	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	108	108	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9	9	
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18	18	
Общая трудоемкость дисциплины	216	216	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	
5-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Элементы кристаллографии	14	6	6	28
Трансляционная симметрия кристаллов. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решётки Браве. Простые и сложные решётки. Элементы точечной симметрии. Ограничения, накладываемые на точечную симметрию кристаллов. Классы кристаллов. Псевдокристаллы. Обратная решётка, связь параметров прямой и обратной решёток. Зоны Бриллюэна. Индексы Миллера. Условия дифракции рентгеновских лучей. Геометрическая интерпретация Эвальда. Формула Вульфа-Брегга. Экспериментальные дифракционные методы. Метод Лауэ. Метод Дебая. Методики, использующие рассеяние нейтронов и электронов. Ионный проектор. Сканирующая зондовая микроскопия. Туннельные микроскопы. Классификация дефектов. Точечные дефекты. Вакансии. Равновесные и неравновесные дефекты решётки. Центры окраски. Агрегатные центры. Дислокации. Пластическая деформация, скольжение. Плоскости скольжения. Краевые и винтовые дислокации. Экспериментальные методы наблюдения дислокаций. Плотность дислокаций. Упругое поле дислокаций. Остаточные напряжения. Взаимодействие дислокаций. Движение дислокаций. Дислокации и рост кристаллов. Дислокационные границы кристаллических блоков.				
Квантовые статистики	6	0	2	12
Уравнение Шрёдингера для системы частиц. Принцип неразличимости тождественных частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Фермионы и бозоны. Система N невзаимодействующих тождественных частиц. Принцип Паули. Квантовые статистики Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Фазовое пространство. Свойства квантовых распределений. Число фазовых ячеек. Распределение Ферми-Дирака для электронов в металле. Нахождение энергии Ферми. Фотонный газ в замкнутой полости. Формула Планка для равновесного излучения абсолютно черного тела				
Тепловые свойства твёрдых тел	14	0	4	28
Колебания линейной цепочки с одним и двумя атомами в примитивной ячейке. Оптические и акустические колебания. Спектр колебательных частот твёрдого тела. Ангармонизм колебаний. Гармоническое приближение. Тепловое				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
расширение твёрдых тел. Ангармоническая составляющая. Теплоёмкость твёрдых тел. Теории теплоёмкости: классическая, Эйнштейна и Дебая. Представление о фононах. Фононный газ в кристалле. Нормальные колебания и взаимодействие фононов. Тепловое равновесие. Баллистический и диффузионный режимы распространения фононов. Теплопроводность.				
Электропроводность твёрдых тел	16	30	6	40
Закон Видемана-Франца. Электронная (классическая) теория электропроводности металлов. Понятие о квантовой теории электропроводности металлов. Сверхпроводимость. Эффект Мейснера. Изотопический эффект. Теория Боголюбова. Теория Купера (БКШ). Сверхпроводники I и II рода. Эффект Джозефсона. Зонная теория твёрдых тел. Приближения сильной и слабой связи. Теорема Блоха. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Металлы, диэлектрики и полупроводники по зонной теории Уравнение движения электрона в кристалле. Эффективная масса электрона в кристалле. Зависимость эффективной массы электрона от волнового числа. Полупроводники. Собственная и примесная проводимость. Энергия активации. Энергия и уровень химического потенциала (Ферми). Фотопроводимость. Эффект Холла. Закон действующих масс. Концентрация собственных носителей. p-n переход. Физические процессы в p-n – переходе. Пропускной и запирающий слои. Вольт – амперная характеристика p-n –перехода. Виды пробоя. Контакт металл – полупроводник.				
ИТОГО по 5-му семестру	50	36	18	108
ИТОГО по дисциплине	50	36	18	108

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Решётки Браве. Симметрия. Обратная решётка, связь параметров прямой и обратной решёток. Зоны Бриллюэна
2	Индексы направлений и плоскостей (Миллера). Формула Вульфа-Брегга
3	Нахождение энергии Ферми
4	Уравнение движения электрона в кристалле

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Выращивание кристаллов из растворов
2	Определение ширины запрещенной зоны полупроводника
3	Исследование электропроводности полупроводников и металлов
4	Изучение физических процессов в р-п переходе
5	Изучение явления туннельного пробоя в р-п переходе
6	Изучение физических процессов, возникающих в контакте металл-полупроводник
7	Изучение эффекта Холла в примесных полупроводниках: измерение концентрации и подвижности основных носителей тока, типа полупроводника

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Экспериментальное изучение спектра спонтанного излучения оптоволокна, легированного эрбием
2	Сборка и определение характеристик волоконного лазера
3	Сборка волоконного усилителя и определение оптимальной длины активного волокна
4	Экспериментальное исследование двоконверсионных свойств кристалла ниобата лития
5	Экспериментальное изучение эффекта Фарадея в оптоволокне: определение зависимости постоянной вращения от величины магнитного поля
6	Экспериментальное изучение эффекта Погкельса в оптоволокне
7	Экспериментальное изучение эффекта Керра в оптоволокне
8	Волоконные Брэгговские решётки и изоляторы. Экспериментальное определение их спектральных характеристик
9	Скалывание и сварка различных типов оптоволокна. Экспериментальное определение коэффициента поглощения сварного шва
10	Экспериментальное измерение изгибных потерь в оптоволокне
11	Экспериментальное изучение спектральных характеристик различных типов оптоволокна
12	Экспериментальное изучение влияния внешних факторов на поляризационно-модовую дисперсию
13	Влияние симметрии структуры на свойства твердых тел
14	Особенности технологии синтеза для получения высококачественных кристаллов
15	Потери в оптических резонаторах. Неустойчивые оптические резонаторы. Взаимодействие излучения и атомные системы. Спонтанные переходы между атомными уровнями – однородное и неоднородное уширение
16	Насыщение усиления в лазерных средах с однородным уширением. Насыщение усиления в лазерных средах с неоднородным уширением

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
17	Оптические резонаторы. Эталон Фабри_Перо. Лазер с резонатором Фабри-Перо
18	Частота генерации. Стандарты частоты. Эталоны частоты (времени), длины (длины волны)
19	Оптимальная обратная связь в лазерном генераторе
20	Многочастотная лазерная генерация и синхронизация мод. Генерирование гигантских импульсов (режим модуляции добротности). Выжигание дыр и образование лэмбовских провалов в доплеровски уширенной линии излучения газовых лазеров. Накачка и к.п.д. лазера.
21	Лазеры: на кристалле граната с неодимом YAG: Nd ³⁺ ; на двуокиси углерода; ионный аргоновый; полупроводниковый; волоконный; фемтосекундный; гамма-лазер; лазер на свободных электронах; химический; атомный (на выбор).
22	Конденсат Бозе-Эйнштейна
23	Сверхтекучесть

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Епифанов Г. И. Физика твёрдого тела : учебное пособие для вузов / Г. И. Епифанов. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2010.	22
2	Физика твёрдого тела / Г. Н. Елманов [и др.]. - Москва: , Изд-во МИФИ, 2012. - (Физическое материаловедение : учебник для вузов : в 7 т.; Т. 1).	1
3	Физика твердого тела : учебное пособие для вузов / И. К. Верещагин [и др.]. - Москва: Высш. шк., 2001.	39
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников : учебное пособие для вузов / А.И. Ансельм. - СПб: Лань, 2008.	8
2	Гинзбург И. Ф. Введение в физику твердого тела. Основы квантовой механики и статистической физики с отдельными задачами физики твердого тела : учебное пособие / И. Ф. Гинзбург. - СПб: Лань, 2007.	5
3	Гуртов В. А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие для вузов / В. А. Гуртов, Р. Н. Осауленко. - Москва: Техносфера, 2007.	12
4	Павлов П. В. Физика твердого тела : учебник для вузов / П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов. - Москва: Высш. шк., 2000.	46
2.2. Периодические издания		
	Не используется	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Методические указания для студентов по освоению дисциплины	Методические указания для студентов по освоению дисциплин	http://pstu.ru/files/2/file/kafedra/fpmm/of/Metodicheskie_ukazaniya_dlya_studentov_po_osvoeniyu_disciplini.pdf	сеть Интернет; свободный доступ
Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента	http://pstu.ru/files/2/file/kafedra/fpmm/of/Dlya_samostoyatelnoy_raboty_studenta.pdf	сеть Интернет; свободный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Adobe Acrobat Reader DC. бесплатное ПО просмотра PDF
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	https://www.scopus.com/
База данных Web of Science	http://www.webofscience.com/
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	https://elibrary.ru/
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Виртуальный читальный зал Российской государственной библиотеки	https://dvs.rsl.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовая работа	аудитория для самостоятельной работы	1
Лабораторная работа	Модульный учебный комплекс МУК-ТТ1 "Физика твердого тела"	6
Лекция	Проектор, экран (в мультимедийной учебной аудитории)	1
Практическое занятие	маркерная или меловая доска	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«Физика твердого тела»

Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки: 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

**Направленность (профиль)
образовательной программы:** Волоконная оптика

Квалификация выпускника: «Бакалавр»

Выпускающая кафедра: Общая физика

Форма обучения: Очная

Курс: 1

Семестр: 5

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 6 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 216 ч.

Форма промежуточной аттестации:

Дифференцированный зачёт: 5 семестр

Курсовая работа: 5 семестр

Пермь 2020

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Физика твердого тела» является приложением (частью) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в 5-м семестре и разбито на 4 учебных модуля. Предусмотрены аудиторские лекционные, практические и лабораторные занятия, самостоятельная работа студентов, а также написание курсовой работы. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам, дифференцированного зачета и защиты курсовой работы. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Промежуточный	
	С	ТО	ОЛР	ТО/КР	Курс.раб	Дифф. зачет
Усвоенные знания						
Знает: – систему понятий и представлений о различных типах симметрии, используемых для характеристики структуры и свойств твёрдых тел; – об основных типах дефектов твёрдых тел; – об особенностях исследования структуры твёрдых тел с помощью как классических дифракционных, так и новейших микроскопических методов; – о зонной структуре кристаллов, о квантово-статистических подходах описания их свойств; – о теориях теплоёмкости, теплопроводности и электропроводности твёрдых тел.		ТО		КР1, 2, 3, 4	ИЗ	ТВ
Освоенные умения						
Умеет: – объяснять основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических теорий; – работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории; – использовать различные методики физических измерений и обработки экспериментальных данных;			ОЛР	ТО		ПЗ

– определять ширину запрещённой зоны полупроводника; – снимать вольт-амперную характеристику металлов, полупроводников, р-п-переходов (прямых и обратных), контактов металл-полупроводник; – применять физические законы, математические методы и вычислительную технику для решения практических задач; – применять навыки работы со справочной литературой по физико-химическим свойствам кристаллов для учебно-методических целей или для научной работы						
Приобретенные владения						
Владеет: – навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории; – методами обработки и интерпретирования результатов эксперимента; – методами физического моделирования в инженерной практике			ОЛР	С		

С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); ИЗ – индивидуальное задание; ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание экзамена или дифференцированного зачёта.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля, а также оценка за курсовую работу.

2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с «Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры» в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;
- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;
- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;
- контроль остаточных знаний.

2.1. Текущий контроль усвоения материала

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ.

2.2.1. Защита лабораторных работ

Всего запланировано 7 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Проверка *владений* производится при выполнении лабораторных работ

Типовые вопросы теоретического опроса при защите лабораторных работ (проверка *умений*):

1. Начертить электрические схемы для проведения измерений электрического сопротивления полупроводника с использованием генератора тока и с использованием генератора напряжения. В каком случае необходимо использовать ограничивающее сопротивление и почему?
2. Как экспериментально определить ширину запрещённой зоны полупроводника?
3. Как снимать вольт-амперную характеристику металлов, полупроводников, р-п-переходов (прямых и обратных), контактов металл-полупроводник.
4. Как зависит собственная электропроводность полупроводников от температуры (количественно).
5. Как зависит электропроводность металлов от температуры.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов.

Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

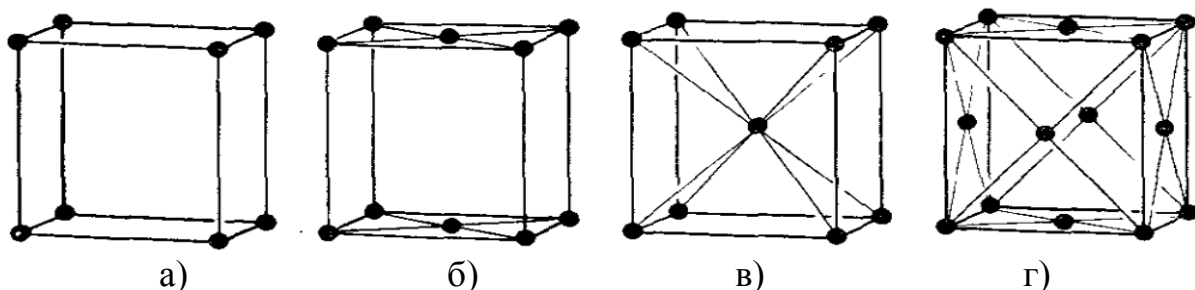
2.2.2. Рубежная контрольная работа

Запланировано 4 рубежных контрольных работы (КР) после освоения студентами соответствующих учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю

1 «Элементы кристаллографии», вторая КР – по модулю 2 «Квантовые статистики», третья КР – по модулю «Тепловые свойства твёрдых тел», четвёртая КР – по модулю «Электропроводность твёрдых тел».

Типовые задания первой КР:

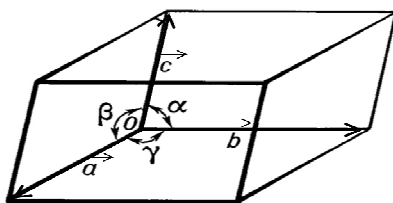
1. Базоцентрированная ячейка кристалла.



2. Осей симметрии какого порядка не бывает?

- а) L_2 ; б) L_3 ; в) L_4 ; г) L_5 ; д) L_6 .

3. Общий вид элементарной ячейки.



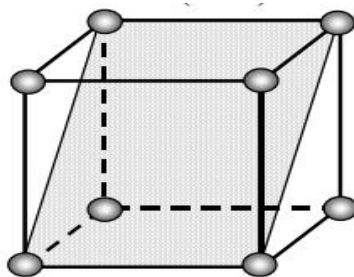
Для моноклинной системы справедливо:

- а) $a \neq b \neq c \neq a, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq \alpha \neq 90^\circ$; б) $a \neq b \neq c \neq a, \alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma \neq 120^\circ$;
 в) $a \neq b \neq c \neq a, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$; г) $a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$;
 д) $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma < 120^\circ \neq 90^\circ$

4. Вид кристаллографической системы, у которой ось симметрии третьего порядка.

- а) тетрагональная; б) моноклинная; в) орторомбическая;
 г) триклинная; д) тригональная

5. Индексы Миллера для выделенной плоскости



- а) (100); б) (200); в) (012); г) (111); д) (101)

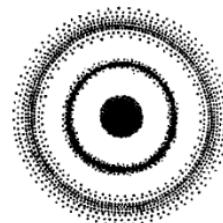
6. Какое из перечисленных свойств обратной решётки неверно?

- а) плоскость, имеющая индексы Миллера (h, k, l) , перпендикулярна вектору обратной решётки $h\vec{b}_1 + k\vec{b}_2 + l\vec{b}_3$;

- б) объём элементарной ячейки обратной решётки обратно пропорционален объёму элементарной ячейки прямой решётки;
- в) прямая решётка является обратной по отношению к своей обратной;
- г) обратная решётка является зеркальным отражением своей прямой решётки;
- д) Элементарная ячейка обратной решётки не обязательно представляет собой параллелепипед.

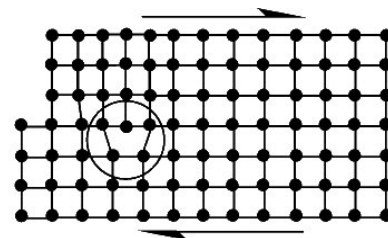
7. Изучив угловое распределение интенсивности рассеяния исследуемым веществом излучения, определите – в каком состоянии находится твердое тело:

- а) в монокристаллическом;
- б) в поликристаллическом;
- в) в аморфном;
- г) данных недостаточно.



8. Опишите принцип работы туннельного микроскопа. Методы постоянного тока и постоянной высоты.

9. Укажите вид дислокации и направление её движения (влево, вправо, вверх, вниз) при указанных касательных нагрузках.



10. Приведите пример поверхностных дефектов.

Типовые задания второй КР:

1. Сформулируйте Принцип неразличимости тождественных частиц.
2. Чему равен спин фонона?
3. Какие частицы описываются симметричными волновыми функциями?
4. Объекты изучения квантовых статистик.
5. Как определить среднее число частиц в одной фазовой ячейке с энергией E_i для бозонов? Пример.
6. Определите число фазовых ячеек в интервале энергий $[E, E + \delta E]$ для электронов.
7. Как связана концентрация частиц в интервале энергий $[E, E + \delta E]$ с числом фазовых ячеек в единице объёма?

Типовые задания третьей КР:

1. Какая средняя энергия приходится на одну степень свободы частицы в классической теории теплоёмкости твёрдого тела?
2. Сформулируйте физическую идею (Дебая), позволившую уточнить теорию (Эйнштейна) теплоёмкости твёрдых тел.
3. Существуют ли фононы в вакууме? Почему?
4. Как рассматривается *Механизм переноса тепла в диэлектриках* согласно квантовой теории

Типовые задания четвертой КР:

1. Год открытия явления сверхпроводимости
 - а) 1908;
 - б) 1911;
 - в) 1928;
 - г) 1934;
 - д) 1945.
2. Эффект Мейснера
3. Чему равен заряд куперовской пары
4. В чем заключается *Адиабатическое приближение* в Зонной теории твердых тел
5. В чем заключается *приближение слабой связи* в Зонной теории твердых тел
6. Теорема Блоха
7. Валентная зона
8. Какие полупроводники называются собственными?
9. $p - n$ – переход

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация по дисциплине, согласно РПД, проводится в виде защиты курсовой работы и сдачи дифференцированного зачета устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

Типовые темы курсовых работ приведены в РПД.

2.3.1. Типовые вопросы и задания дифференцированного зачета

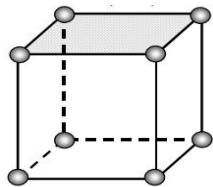
Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Агрегатное состояние вещества. Кристаллические и аморфные твёрдые тела, их принципиальные отличия. Моно и поликристаллы. Кристаллическая решётка. Элементарная кристаллическая ячейка. Примитивная ячейка. Простая и сложная решётка. Ячейка Вигнера-Зейтца, её особенность. Понятие трансляционной и точечной симметрии.

2. Элементы точечной симметрии. Ограничения, накладываемые на точечную симметрию кристаллов. Понятие группы точечной симметрии, класса симметрии и пространственной группы симметрии кристаллов. Решётки Браве, условия для их выбора.
3. Кристаллографические индексы направлений. Индексы узлового направления. Индексы Миллера. Обратная решётка, связь параметров прямой и обратной решёток. Свойства обратной решётки.
4. Обратная решётка. Условия дифракции рентгеновских лучей (по Лауэ и через вектор обратной решётки). Геометрическая интерпретация Эвальда. Формула Вульфа-Брегга.
5. Закон Видемана-Франца. Электронная (классическая) теория электропроводности металлов. Понятие о квантовой теории электропроводности металлов.
6. Сверхпроводимость. Эффект Мейснера. Изотопический эффект. Теория Боголюбова. Теория Купера (БКШ). Эффект Джозефсона.
7. Зонная теория твёрдых тел. Приближения сильной и слабой связи. Теорема Блоха. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Металлы, диэлектрики и полупроводники по зонной теории.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. 1. Определите индексы Миллера для выделенной плоскости



2. Как связана концентрация частиц в интервале энергий $[E, E + \delta E]$ с числом фазовых ячеек в единице объёма?
3. Определите интервал импульсов электронов, соответствующий интервалу энергий $[E, E + \delta E]$.
4. Определите интервал импульсов фотонов, соответствующий интервалу энергий $[E, E + \delta E]$.
5. Определите число фазовых ячеек в интервале энергий $[E, E + \delta E]$ для электронов.
6. Определите число фазовых ячеек в интервале энергий $[E, E + \delta E]$ для фотонов.
7. Определите число фазовых ячеек в интервале энергий $[E, E + \delta E]$ для фононов.

Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.

2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения и дифференцированном зачете

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче дифференцированного зачета и курсовой работы для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций на дифференцированном зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3.2. Оценка уровня сформированности компетенций

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде дифференцированного зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.