Приложение 4

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 6 от 31.05.2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика конденсированного состояния

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы
Физика конденсированного состояния

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.1.11 Физика конденсированного состояния относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	**Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции**		**Наименование оценочного средства**	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	**Результаты обучения по дисциплине**	**Для текущего контроля успеваемости**	**Для промежуточной аттестации**
ПК-1: Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	*ИД ПК-1: Демонстрация способности использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин*	*ИД ПК-1: Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы применительно к физике конденсированного состояния*	*Задания*	*Экзамен: Задачи*

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	**4**
Часов по учебному плану	**144**
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	**48**
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	**0**
- КСР	**2**
самостоятельная работа	**58**
Промежуточная аттестация	**36 Экзамен**

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе	
		Контактная работа (работа во	Самостоятельная

		взаимодействии с преподавателем), часы из них			работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	оф о	оф о	оф о	оф о	оф о
Тема 1. Введение	2	1	0	1	1
Тема 2. Методы исследования структуры твердого конденсированного состояния	6	2	0	2	4
Тема 3. Межатомные взаимодействия в конденсированном состоянии	5	3	0	3	2
Тема 4. Дефекты в кристаллах	3	1	0	1	2
Тема 5. Деформация в твердом конденсированном состоянии	6	2	0	2	4
Тема 6. Упругие волны в кристаллах	4	2	0	2	2
Тема 7. Собственные колебания кристаллической решетки. Фононы.	8	4	0	4	4
Тема 8. Динамика кристаллической решетки (фононная модель кристалла).	8	4	0	4	4
Тема 9. Поляризация диэлектриков.	6	4	0	4	2
Тема 10. Поляризация диэлектрических кристаллов, не имеющих центра симметрии.	6	2	0	2	4
Тема 11. Электронные теории Друде-Лоренца и Зоммерфельда.	4	2	0	2	2
Тема 12. Принципы зонной теории твердого тела.	6	4	0	4	2
Тема 13. Электрическая проводимости кристаллов в зонной теории.	6	2	0	2	4
ТЕМА 14. Оптические свойства конденсированного состояния.	4	2	0	2	2
Тема 15. Принципы полупроводниковой электроники.	4	2	0	2	2
Тема 16. Особенности электронных свойств аморфных веществ	5	2	0	2	3
Тема 17. Магнитные явления в конденсированном состоянии. Диа- и парамагнетизм.	7	3	0	3	4
Тема 18. Магнитный порядок в конденсированном состоянии.	6	2	0	2	4
Тема 19. Магнитные резонансы.	4	2	0	2	2
Тема 20. Сверхпроводимость.	6	2	0	2	4
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	144	48	0	50	58

Содержание разделов и тем дисциплины

Тема1. Введение.
Типы конденсированных веществ. Особенности твердого конденсированного состояния.

Тема 2. Методы исследования структуры твердого конденсированного состояния. Дифракционные методы. Геометрическая теория дифракции. Методы электронной микроскопии, в том числе микроскопии высокого разрешения. Методы атомно-силовой микроскопии.

Тема 3. Межатомные взаимодействия в конденсированном состоянии.
Энергетические параметры для описания межатомного взаимодействия. Энергия взаимодействия в двухатомной молекуле и кристалле. Карты электронной плотности в различных веществах и

классификация веществ по типам связи. Модель Ван-дер-Ваальса для молекулярных кристаллов. Расчет энергии связи в ионных кристаллах. Качественное описание ковалентного взаимодействия, s-p3гибридизация. Ионная модель металлической связи.

Тема 4. Дефекты в кристаллах.
Классификация дефектов. Собственные точечные дефекты: модели Френкеля и Шоттки. Примесные дефекты и комплексы. Радиационные дефекты. Явление диффузии точечных дефектов, уравнения Фика. Дислокации.

Тема 5. Деформация в твердом конденсированном состоянии.
Понятия деформации и механических напряжений. Виды деформаций. Закон Гука для изотропного и анизотропного тела. Механизмы пластической деформации.

Тема 6. Упругие волны в кристаллах.
Поперечные и продольные волны. Законы дисперсии в главных направлениях кубического кристалла.

Тема 7. Собственные колебания кристаллической решетки. Фононы.
Упругие колебания одномерных дискретных цепочек. Законы дисперсии. Акустические и оптические колебания. Обобщение на трехмерный кристалл. Зоны Бриллюэна. Граничные условия Борна-Кармана. Нормальные координаты. Понятие фонона.

Тема 8. Динамика кристаллической решетки (фононная модель кристалла).
Модели решеточной теплоемкости Эйнштейна и Дебая. Ангармонические эффекты: тепловое расширение, решеточная теплопроводность.

Тема 9. Поляризация диэлектриков.
Механизмы поляризации диэлектриков, их спектральная зависимость. Поле Лоренца. Уравнение Клаузиуса-Мосотти. Диэлектрические потери.

Тема 10. Поляризация диэлектрических кристаллов, не имеющих центра симметрии. Поляризация нецентросимметричных диэлектриков при различных внешних воздействиях. Сегнетоэлектрики 1-го и 2-го рода. "Поляризационная катастрофа". Применение теории фазовых переходов Гинзбурга-Ландау для описания перехода "сегнетоэлектрик-параэлектрик".

Тема 11. Электронные теории Друде-Лоренца и Зоммерфельда.
Принципы электронной теории Друде-Лоренца и ее применение для объяснения и описания некоторых законов и эффектов: закон Ома, закон Видемана-Франца, эффект Холла, металлический блеск и ультрафиолетовая прозрачность металлов. Противоречия теории Друде-Лоренца. Принципы электронной теории Зоммерфельда. Плотность состояний, уровень Ферми. Электронная теплоемкость.

Тема 12. Принципы зонной теории твердого тела.
Гамильтониан кристалла. Адиабатическое, валентное и одноэлектронное приближения. Свойства одноэлектронной волновой функции в кристалле. Теорема Блоха. Детерминант Слэтера. Свойства волнового вектора электрона в кристалле. Квазиимпульс. Граничные условия Борна-Кармана. Модель Кронига-Пени. Энергетические зоны. Зоны Бриллюэна. Эффективная масса электрона в кристалле. Влияние степени ковалентности, ионности и металличности химической связи по Харисону на параметры зонной структуры тетраэдрических кристаллов. Влияние дефектов на энергетический спектр электронов в кристалле. Поверхностные состояния. Поверхность Ферми.

Тема 13. Электрическая проводимости кристаллов в зонной теории.

Температурные зависимости концентраций носителей заряда в собственном и примесном полупроводнике. Уравнение электронейтральности. Температурные зависимости подвижности в металлах и полупроводниках. Температурные зависимости проводимости в металлах и полупроводниках. Особенности проводимости диэлектриков. Эффект Пула-Френкеля. Поляронная проводимость. Диэлектрики в сильных электрических полях. Ионная проводимость. Суперионные диэлектрики.

Тема 14. Оптические свойства конденсированного состояния.
Основные понятия и термины. Механизмы поглощения и излучения света в конденсированном состоянии. Принципы работы твердотельных лазеров.

Тема 15. Принципы полупроводниковой электроники.
Контактные явления. Диоды Шоттки, диоды с p-n-переходом, диоды на гетеропереходах. Свето- и фотодиоды, полупроводниковые лазеры. Биполярные и полевые транзисторы.

Тема 16. Особенности электронных свойств аморфных веществ.
Главные отличия аморфных веществ от кристаллов. Модели Лифшица и Андерсона. "Хвосты" зонных состояний, оптическая щель и щель подвижности. Температурная зависимость проводимости аморфных полупроводников.

Тема 17. Магнитные явления в конденсированном состоянии.
Магнитное поле в среде. Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость. Диамагнетизм и парамагнетизм Ланжевена, закон Кюри. Парамагнетизм Ва-Флека. Парамагнетизм Паули и диамагнетизм Ландау. Электроны проводимости в сильных магнитных полях. Уровни Ландау и плотность состояний. Эффекты де Гааза-ван Альфена и Шубникова-де Гааза, их применение для исследования поверхности Ферми в металлах. Циклотронный резонанс в полупроводниках.

Тема 18. Магнитный порядок в конденсированном состоянии.
Классификация магнитно упорядоченных веществ. Модель обменного взаимодействия Гейзенберга. Модель усредненного обменного поля. Температура Кюри и закон Кюри-Вейсса. Доменная структура ферромагнетиков.

Тема 19. Магнитные резонансы.
Принципы электронного парамагнитного резонанса. Уравнения Блоха. Линии поглощения и дисперсии. Спиновый гамильтониан. Тонкая и сверхтонкая структура спектра. Другие виды резонансов: ядерный магнитный резонанс, двойной электронно-ядерный резонанс, форромагнитный резонанс, антиферромагнитный резонанс.

Тема 20. Сверхпроводимость.
Основные свойства сверхпроводников. Сверхпроводники 1-го и 2-го рода. Термодинамика сверхпроводников. 1-е и 2-е уравнения Лондонов, лондоновская глубина проникновения магнитного поля. Подходы в теории Гинзбурга-Ландау к описанию сверхпроводимости, вихри Абрикосова. Принципы теории Бардина-Купера-Шрифера. Контактные явления на сверхпроводниках: туннелирование Дживера, эффекты Джозефсона. Сверхпроводящая электроника, СКВИД. Высокотемпературные сверхпроводники.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Павлов Павел Васильевич. Физика твердого тела : учебник. - 3-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2000. - 494 с. - 78.54.
Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / [пер. под общ. ред. А. А. Гусева]. - Изд. 2-е, стер., перепеч. с изд. 1978 г. - М. : МедиаСтар, 2006. - 792 с. - 525.00.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

Тест 1: «Методы исследования структуры твердого конденсированного состояния. Химическая связь в твердом конденсированном состоянии».

1. Перечислите основные рентгеновские методы исследования кристаллов. Какую информацию можно получить в каждом из них?
2. Что является конечным результатом расшифровки рентгенограмм, электронограмм, нейтронограмм для кристаллов?
3. Какие энергетические параметры атомов определяют их химическую активность?
4. Изобразите график зависимости энергии связи в двухатомной молекуле. При каком условии будет возникать «потенциальная яма»?
5. Какие химические элементы склонны образовывать ионные соединения?

Тест 2: «Упругие колебания в кристаллах. Фононная модель кристаллической решетки».

1. Почему упругие волны в монокристаллах распространяются с разной скоростью в разных направлениях?
2. Почему продольные упругие волны в кристаллах распространяются быстрее поперечных?
3. Почему в сплошной бесконечной струне закон дисперсии ($\omega=f(k)$) имеет линейный вид, а в дискретной, состоящей из упруго связанных шариков, он становится периодическим с предельной частотой колебаний? Чем обусловлен период закона дисперсии в дискретной цепочке? Какими параметрами дискретной цепочки определяется предельная частота?
4.

Тест 3: «Поляризация диэлектриков».

1. Перечислить основные виды электрической поляризации диэлектриков. В каких диапазонах длин волн (или частот переменного электрического поля) реализуется каждый из них?
2. Что такое «поляризуемость» (α)? От каких параметров зависит ее величина в каждом из видов электрической поляризации?
3. С чем связано то, что упругие виды поляризации не зависят от температуры (α=const), а для релаксационных поляризуемость подчиняется закону Кюри (α~1/T)?
4. Запишите уравнение Клазиуса-Мосотти и назовите величины, в него входящие. Для каких веществ оно справедливо? Применимо ли оно для кристаллов кварца и для кварцевого стекла?
5.

Тест 4: «Электронные тории».

1. В чем заключаются сходства и отличия в подходах теории Друде-Лоренца и теории Зоммерфельда?
2. Какие приближения и упрощения позволяют в зонной теории перейти от многоэлектронного уравнения Шредингера к одноэлектронному?
3. Сформулируйте теорему Блоха.
4. Зачем нужен детерминант Слэтера?
5. Дайте определение 1-ой зоны Бриллюэна.
6. Сформулируйте граничные условия Борна-Кармана. Когда они применимы и что из них следует?
7. Какие особенности имеет спектр электронов в аморфном веществе по сравнению с кристаллом?

Тест 5: «Сверхпроводимость».

1. Перечислить основные свойства сверхпроводников.
2. Какой термодинамический смысл имеет критическое магнитное поле для сверхпроводника?
3. Какие важнейшие свойства сверхпроводников описывает теория братьев Лондонов?
4. Каким условиям должны соответствовать электроны в сверхпроводнике для образования куперовских пар?
5. Перечислить основные параметры куперовской пары.
6. При каком условии сверхпроводник будет сверхпроводником 2-го рода?
7. В чем заключается туннельный эффект Гиавера (Дживера)?
8. Какой важный параметр сверхпроводника можно определить по вольтамперной характеристике туннельного контакта «металл-диэлектрик-сверхпроводник»?
9. В чем заключаются стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона?
10. В чем заключаются отличительные особенности высокотемпературных сверхпроводников на основе купрата бария по сравнению с элементарными сверхпроводниками (Hg, Pb, Nb и т.д.)?

Тест 6: «Принципы магнетизма».

1. Какие вклады в магнитную восприимчивость могут быть и при каких условиях в веществах без магнитного порядка? Какие из них имеют температурную зависимость?
2. Почему электроны проводимости в металле проявляют парамагнитные свойства, а в полупроводниках - диамагнитные?
3. Почему трехмерный электронный газ в металле под действием сильного магнитного поля (B>1 Тл) становится одномерным?
4. Почему электронная магнитная восприимчивость осциллирует в сильном магнитном поле?
5. Каково условие циклотронного резонанса?
6. В чем причина магнитного порядка в ферро- и антиферромагнетиках?
7. Какими величинами определяется температура Кюри у ферромагнетика?
8. Почему кривая намагничивания ферромагнетика имеет гистерезис?
9. Какими воздействиями на ферромагнетик можно менять параметры петли гистерезиса (коэрцитивная сила, остаточная намагниченность) при перемагничивании?
10. Почему массивные ферромагнетики имеют доменную структуру, а их мелкие частицы остаются однодоменными?

Тест 7: «Магнитные резонансы».

1. Перечислить условия электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).
2. Назвать основные характеристики спектра ЭПР.
3. При каких условиях возникает тонкая структура спектра?
4. С чем связано возникновение сверхтонкой структуры спектра ЭПР?
5. Перечислить основные возможности метода ЭПР.
6. Какую полезную информацию дает метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР)? Почему этот метод массово применяется в органической химии, но крайне редко для исследования кристаллов?
7. Какую информацию о парамагнитных центрах позволяет получить метод двойного электронно-ядерного резонанса?
8. В чем главное отличие ферромагнитного резонанса (ФМР) от ЭПР и ЯМР?
9. Какую информацию можно получить из спектров ФМР?
10. Какие изменения в спектре антиферромагнитного резонанса (АФМР) следует ожидать, если образец будет находиться в постоянном магнитном поле?

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент владеет материалом, правильно отвечает на вопросы
не зачтено	Студент не владеет материалом, путается в терминах

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	**плохо**	**неудовлетворительно**	**удовлетворительно**	**хорошо**	**очень хорошо**	**отлично**	**превосходно**
	не зачтено		**зачтено**				
Знания	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
Умения	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
Навыки	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		**Уровень подготовки**
зачтено	**превосходно**	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы

		знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	**неудовлетворительно**	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Используя построение Эвальда, доказать справедливость соотношения:

,
где – волновой вектор, , – вектор обратной решетки кристалла.

1. Доказать эквивалентность двух вариантов записи интерференционного уравнения:

и ,
где – вектор обратной решетки кристалла, , – направляющие косинусы, λ – длина волны, – волновой вектор, .

1. Показать, что решетки ГЦК и ОЦК являются взаимно обратными.

1. Исходя из принципа плотнейшей упаковки, оценить максимальный радиус атомов, способных создать твердый раствор внедрения в цинке без образования химических связей. Цинк имеет ГПУ-решетку, минимальное межатомное расстояние – 0,266 нм.

1. Оценить радиус нейтральных примесных атомов, которые могли бы разместиться в октаэдрических междозлиях железа (ОЦК – решетка, минимальное расстояние между атомами 0,255 нм.)

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Павлов Павел Васильевич. Физика твердого тела : [учеб. пособие для вузов по специальности "Физика"]. - М. : Высшая школа, 1985. - 384 с. : ил. - 1.10., 34 экз.
2. Павлов Павел Васильевич. Физика твердого тела : учеб. для вузов, обучающихся по направлению "Физика" и специальностям "Физика и технология материалов и компонентов электронной техники", "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы". - Н. Новгород : Изд-во ННГУ , 1993. - 491 с. - ISBN 5-230-03839-х : 5000.00., 384 экз.
3. Павлов Павел Васильевич. Физика твердого тела : учебник. - 3-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2000. - 494 с. - 78.54., 33 экз.
4. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / [пер. под общ. ред. А. А. Гусева]. - Изд. 2-е, стер., перепеч. с изд. 1978 г. - М. : МедиаСтар, 2006. - 792 с. - 525.00., 45 экз.
5. Киттель Чарлз. Введение в физику твердого тела / пер. с 4-го америк. изд.: А. А. Гусева, А. В. Пахнева ; под общ. ред. А. А. Гусева. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. - 791 с. : ил. - 2.10., 28 экз.

Дополнительная литература:

1. Блейкмор Дж. Физика твердого тела / пер. с англ. под ред. Д. Г. Андрианова, В. И. Фистуля. - М. : Мир, 1988. - 608 с. : ил. - Расшир. и доп. изд. кн. "Физика твердого состояния". - ISBN 5-03-001256-7 : 3.00., 4 экз.
2. Анималу А. О. Е. Квантовая теория кристаллических твердых тел / пер. с англ. Е. Л. Ивченко, А. Л. Эфроса. - М. : Мир, 1981. - 574 с. : ил. - 2.60., 5 экз.
3. Гуртов Валерий Алексеевич. Физика твердого тела для инженеров : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям 210100 "Электроника и наноэлектроника", 223200 "Техн. физика". - Изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Техносфера, 2012. - 560 с. - (Мир физики и техники ; 2 - 27). - ISBN 978-5-94836-327-1 : 400.00., 1 экз.
4. Гуртов Валерий Алексеевич. Физика твердого тела для инженеров : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 210101 "Физ. электроника" / науч. ред. Л. А. Алешина. - М. : Техносфера, 2007. - 520 с. - (Мир физики и техники ; 2 - 08). - ISBN 978-5-94386-141-3 : 130.00., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Учебные аудитории оснащены компьютерами с установленными программными пакетами и доступом в сеть "Интернет"

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Видеопроектор, экран.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Карзанов Вадим Вячеславович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Рецензент(ы): Бурдов Владимир Анатольевич, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Павлов Дмитрий Алексеевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 20.05.2023, протокол № б/н.