

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Институт естественных наук и математики
Физико-технологический институт
Институт фундаментального образования

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке
А.В. Германенко

« _____ » 20 ____ г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Перечень сведений о рабочей программе дисциплины	Учетные данные
Программа аспирантуры Физика конденсированного состояния	Код ПА 1.3.8.
Группа специальностей Физические науки	Код 1.3.
Федеральные государственные требования (ФГТ)	Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951
Самостоятельно утвержденные требования (СУТ)	Приказ «О введении в действие «Требований к разработке и реализации программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре УрФУ» №315/03 от 31.03.2022

Екатеринбург
2022 г.

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Структурное подразделение
1	Бабушкин Алексей Николаевич	д.ф.-м.н., профессор	Профессор	Кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем Института естественных наук и математики
2	Иванов Владимир Юрьевич	к.ф.-м.н., доцент	Зав. кафедрой	Кафедра экспериментальной физики Физико-технологического института
3	Жидков Иван Сергеевич	к.ф.-м.н., доцент	Доцент	Кафедра электрофизики Физико-технологического института
4	Мазуренко Владимир Владимирович	д.ф.-м.н., доцент	Зав. кафедрой	Кафедра теоретической физики и прикладной математики Физико-технологического института
5	Никифоров Сергей Владимирович	д.ф.-м.н., профессор	Зав. кафедрой	Кафедра физических методов и приборов контроля качества Физико-технологического института
6	Повзнер Александр Александрович	д.ф.-м.н., профессор	Зав. кафедрой	Кафедра физики Института фундаментального образования

Рекомендовано:

Учебно-методическим советом института естественных наук и математики

Председатель учебно-методического совета ИЕНиМ
Протокол № 5 от 17.05.2022 г.

Е.С. Буянова

Учебно-методическим советом физико-технологического института

Председатель учебно-методического совета ФТИ
Протокол № 9 от 13.05.2022 г.

С.В. Никифоров

Учебно-методическим советом института фундаментального образования

Председатель учебно-методического совета ИнФО
Протокол № 5 от 27.05.2022 г.

П.Л. Резник

Согласовано:

Начальник ОПНПК

Е.А. Бутрина

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

1.1. Аннотация содержания дисциплины

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» является базовой. Изучение данной дисциплины направлено на теоретическое и экспериментальное исследование природы кристаллических и аморфных, неорганических и органических веществ в твердом и жидком состояниях и изменение их физических свойств при различных внешних воздействиях. Курс предполагает наличие у аспирантов знаний основ физики конденсированного состояния в объеме специалитета или магистерских программ высшего образования. Знания и навыки, полученные аспирантами при изучении данного курса, необходимы при подготовке и написании научно-квалификационной работы по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

1.2. Язык реализации дисциплины – русский.

1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- физические свойства, явления и процессы в металлах и их сплавах, неорганических и органических соединениях, диэлектриках и, в том числе, материалах световодов как в твердом, так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления;
- основы физических свойств неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы и дисперсные системы;
- основы технических и технологических приложений физики конденсированного состояния.

Уметь:

- разрабатывать математические модели построения фазовых диаграмм состояния и прогнозирования изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения;
- развивать экспериментальные методы изучения физических свойств и физические основы промышленных технологий получения материалов с определенными свойствами.

Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности):

- навыками работы с научной литературой и базами данных с целью определения направления исследования и решения специализированных задач;
- навыками научной коммуникации;
- методами экспериментального исследования конденсированных веществ (сильное сжатие, ударные воздействия, изменение гравитационных полей, низкие температуры), фазовых переходов в них и их фазовых диаграмм состояния;
- методами экспериментального и теоретического исследования воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ.

1.4. Объем дисциплины

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	6
1.	Аудиторные занятия	4	4	4
2.	Лекции	4	4	4
3.	Практические занятия	0	0	0
4.	Самостоятельная работа аспирантов, включая все виды текущей аттестации	104	1	104
5.	Промежуточная аттестация	Экзамен	1	Экзамен, 18
6.	Общий объем по учебному плану, час.	108	5	108
7.	Общий объем по учебному плану, з.е.	3		3

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Силы связи в твердых телах. <i>Самостоятельная работа аспиранта, 8 часов.</i>	Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь. Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO ₃ . Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.
P2	Симметрия твердых тел. <i>Самостоятельная работа аспиранта, 8 часов.</i>	Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии. Элементы теории групп, группы

		симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.
P3	Дефекты в твердых телах. <i>Лекции 2 часа; самостоятельная работа аспиранта, 10 часов.</i>	Точечные дефекты, классификация. Энергия образования. Дефекты Френкеля и Шоттки. Механизмы образования радиационно-индуцированных дефектов. Люминесценция. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.
P4	Дифракция в кристаллах. <i>Самостоятельная работа аспиранта, 9 часов.</i>	Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.
P5	Колебания решетки. <i>Самостоятельная работа аспиранта, 8 часов.</i>	Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.
P6	Тепловые свойства твердых тел. <i>Самостоятельная работа аспиранта, 8 часов.</i>	Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости. Классическая и квантовая теория теплоемкости. Температура Дебая.
P7	Электронные свойства твердых тел. <i>Самостоятельная работа аспиранта, 8 часов.</i>	Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Энергетический спектр электрона в кристалле. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

P8	<p>Магнитные свойства твердых тел. <i>Самостоятельная работа аспиранта, 8 часов.</i></p>	<p>Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля). Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков. Спиновые волны, магноны. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.</p>
P9	<p>Оптические свойства твердых тел. <i>Лекции 2 часа; самостоятельная работа аспиранта, 10 часов.</i></p>	<p>Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра). Проникновение высокочастотного поля в проводник Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.</p>
P10	<p>Сверх-проводимость. <i>Самостоятельная работа аспиранта, 9 часов.</i></p>	<p>Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.</p>

3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1. Практические занятия

Не предусмотрено.

3.2. Примерная тематика самостоятельной работы

3.2.1. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

Не предусмотрено

3.2.2. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

Не предусмотрено

4. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 1)

4.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений аспирантов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
Знания	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
Умения	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
Личностные качества	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

4.2. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

4.2.1. Перечень примерных вопросов для зачета

Не предусмотрено

4.2.2. Перечень примерных вопросов для экзамена

1. Молекула водорода, возникновение химической связи. Перекрытие атомных орбиталей, ковалентность.
2. Энергетический спектр и волновые функции электрона в идеальном кристалле. Энергетические зоны.
3. Энергия связи ядра. Формула Вайцекера для энергии связи и ее обоснование.
4. Элементарные и составные частицы. Частицы (мезоны, барионы, кварки, лептоны) - источники полей.
5. Спин электрона. Уравнение Паули. Спиновая волновая функция. Спиноры.
6. Теория симметрии. Точечные группы. Неприводимые представления точечных групп и классификация терминов. Таблицы характеров. Правила отбора. Примеры представлений.
7. Связь между симметрией кристаллической структуры, точечной симметрией и физическими свойствами кристаллов.
8. Типы сил связи, их особенности. Энергия кристаллической решетки. Структурные типы. Элементарная ячейка, координационное число, координационные сферы. Плотнейшие упаковки.
9. Кристаллическая структура твердых тел. Типичные структуры металлических и полупроводниковых фаз.
10. Дифракция волн в кристаллах и основные методы исследования кристаллических структур, принцип, возможности и особенности.
11. Оптические свойства кристаллов и точечная симметрия. Классификация кристаллов по оптическим свойствам.
12. Электроны в металле. Модель свободных электронов. Поверхности Ферми металлов. Остаточное электросопротивление. Магнитосопротивление и эффект Холла.
13. Полупроводники. Электронный спектр полупроводников. Собственная проводимость. Примесное состояние. Дефектные уровни и зоны.
14. Диэлектрики. Связанные заряды. Поляризация диэлектриков в электрическом поле. Вектор поляризации. Электрическая восприимчивость (поляризуемость). Полярные и неполярные диэлектрики. Особенности их поведения в постоянных и переменных полях.
15. Сверхпроводимость. Теория БКШ. Электрические и магнитные свойства сверхпроводников. Высокотемпературная сверхпроводимость.
16. Оптика кристаллов. Показатель преломления и поляризуемость. Двойное лучепреломление в кристалле.
17. Спектры поглощения и люминесценции кристаллов. Фотопроводимость. Оптические свойства кристаллов с дефектами.
18. Нелинейные оптические явления: вынужденное комбинационное рассеяние, генерация гармоник, самофокусировка.
19. Экситоны Ванье-Мотта (водородоподобные экситоны в 3-х и 2-х мерных полупроводниковых системах).
20. Электронно-дырочная жидкость в полупроводниках. Фазовая диаграмма: экситонный газ - ЭДЖ. Экспериментальные методы изучения электронно-дырочной жидкости.
21. Магнитные свойства вещества. Вектор намагниченности. Молекулярные токи. Диа-, пара- и ферромагнетики. Природа диамагнетизма. Теорема Лармора.
22. Парамагнетизм Ланжевена. Замораживание орбитальных моментов в кристаллическом поле. Парамагнетизм ионов группы железа и редких земель. Спин-орбитальное взаимодействие. Анизотропия g-фактора парамагнитных ионов в твердых телах. Ядерный парамагнетизм.

23. Непереходные металлы. Парамагнетизм Паули. Диамагнетизм Ландау. Эффект Газа - Ван Альфена.
24. Резонансные методы исследования веществ (ЭПР, ЯМР и др.).
25. Ферромагнетизм, антиферромагнетизм. Термодинамическая теория. Поведение вблизи точки Кюри. Магнитная симметрия. Обменное взаимодействие. Энергия магнитной анизотропии, магнитострикция. Энергетический спектр магнетиков. Спиновые волны. Домены и доменные границы. Теория технической кривой намагничивания.
26. Размерное квантование в квазидвумерных системах. Подзоны. Экранирование. Рассеяние квазидвумерных электронов.
27. Примеры квазидвумерных систем в полупроводниках: гетероструктуры, МДП-структуры. Квазидвумерные системы в квантующем магнитном поле. Тензоры проводимости и электросопротивления.
28. Целочисленный квантовый эффект Холла. Экспериментальные аспекты и метрологические возможности. Роль дефектов и локализация. Представление Бюттикера.
29. Внутренняя энергия, теплота и работа. Первое начало термодинамики. Изопрцессы и газовые законы на примере идеального газа и газа Ван дер Ваальса. Применение первого
30. начала термодинамики к изопрцессам в идеальном газе.
31. Циклические процессы, тепловая и холодильная машины. Обратимые и необратимые процессы Второе начало термодинамики. Энтропия. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов.
32. Термодинамические условия фазовых равновесий в одно- и многокомпонентных системах. Правило фаз. Функции состояния. Химические потенциалы. Фазовые переходы I и II рода.
33. Метастабильные состояния. Тройная точка. Критическая точка. Правило фаз Гиббса.
34. Типы фаз в твердых телах. Химические соединения. Твердые растворы внедрения и замещения. Промежуточные фазы. Упорядоченные твердые растворы. Фазы Юм-Розери, фазы Лавеса. Фазы внедрения.
35. Диаграммы состояния. Типы фазовых диаграмм. Диаграммы состояния, базовый и структурный состав твердых тел.
36. Фазовое пространство. Ансамбль Гиббса (статистический ансамбль). N-частичная функция распределения. Теорема Лиувилля. Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса.
37. Распределение Максвелла-Больцмана. Большое каноническое распределение Гиббса. Квантовая статистика. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Общие свойства ферми-газов и бозе-газов. Распределение вероятностей флуктуаций (распределение Гаусса). Флуктуации в идеальном газе.
38. Кинетика фазовых превращений в твердых телах. Стабильные и нестабильные фазы. Фазовые превращения, сопровождающиеся изменением состава фаз. Превращения без изменения состава фаз. Кооперативные и некооперативные фазовые превращения. Особенности механизма кинетики кооперативных фазовых превращений в твердых телах.
39. Связь между фазовым составом, микроструктурой и физическими свойствами твердых тел. Основные методы исследования фазовых превращений в твердых телах.
40. Диффузия. Законы диффузии Фика.
41. Механизмы внутреннего трения (вязкости) в газах, жидкостях, твердых телах. Теплопроводность в газах, жидкостях, твердых телах. Зависимость от температуры.
42. Точечные дефекты. Вакансии. Атомы внедрения. Их образование и движение. Реакции точечных дефектов, электронные свойства точечных дефектов. Комбинации атомных дефектов.
43. Дислокации. Энергия дислокации. Пластическая деформация как результат движения дислокации. Процессы размножения дислокации, источники дислокации. Вектор Бюргенрса.
44. Геометрические характеристики дислокации. Упругие поля дислокации. Атомная структура ядер дислокации. Частичные дислокации и дефекты упаковки.
45. Экспериментальные методы изучения дислокации.

46. Влияние дислокации на физические свойства кристаллов (электрические, оптические, тепловые).
47. Спектроскопические методы исследования свойств твердого тела; абсорбционная спектроскопия, люминесцентная спектроскопия, термоактивационная спектроскопия, спектроскопия в рентгеновском диапазоне, EXAFS – спектроскопия. Спектроскопия редкоземельных ионов.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Рекомендуемая литература

5.1.1. Основная литература

1. Киттель, Чарльз. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель ; пер. с англ. А. А. Гусева, А. В. Пахнева ; под общ. ред. А. А. Гусева .— Москва : Наука, 1978 .— 791 с. : ил. ; 22 см .— Пер. изд.: Introduction to solid state physics / C. Kittel. — Библиогр.: с. 769-791. (44 экз.)
2. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела : [в 2 т.]. Т. 2 / пер. с англ. К. И. Кугеля, А. С. Михайлова под ред. М. И. Каганова / Н. Ашкрофт, Н. Мермин .— Москва : Мир, 1979 .— 422 с. : ил. ; 25 см .— Предм. указ.: с. 392-417. Пер. изд.: Solid state physics / N. W. Ashcroft, N. D. Mermin. New York etc, 1976. (5 экз.)
3. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела. Т. 1 / пер. с англ. А. С. Михайлова под ред. М. И. Каганова / Н. Ашкрофт, Н. Мермин .— Москва : Мир, 1979 .— 400 с. : ил. ; 25 см .— Пер. изд.: Solid state physics / N. W. Ashcroft, N. D. Mermin. New York etc, 1976. (4 экз.)
4. Займан, Дж. М. Принципы теории твердого тела / Дж. М. Займан ; пер. с англ. под ред. В. Л. Бонч-Бруевича .— Москва : Мир, 1974 .— 472 с. : ил. ; 22 см .— Пер. изд.: Principles of the theory of solids / J. M. Ziman. — Библиогр.: с. 455-464 .— Предм. указ.: с. 465-469 (39 экз.)
5. Павлов, Павел Васильевич. Физика твердого тела : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению "Физика" и специальностям "Физика и технология материалов и компонентов электронной техники", "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы" / П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов .— 3-е изд., стер .— Москва : Высшая школа, 2000 .— 494 с. : ил. — Предм. указ.: с.484-490. — рекомендовано в качестве учебника .— ISBN 5-06-003770-3 : 69.00 : 105.50. (47 экз.)
6. Вонсовский, Сергей Васильевич. Магнетизм / С. В. Вонсовский .— М. : Наука, 1984 .— 208с (11 экз.)
7. Бонч-Бруевич, Виктор Леопольдович. Физика полупроводников / В. Л. Бонч-Бруевич, С. Г. Калашников .— М. : Наука, 1990 .— 688 с. : ил. — ISBN 5-02-014032-5 : 2-00 (18 экз.)
8. Физика твердого тела : Учеб. пособие для студентов втузов / И.К. Верещагин, С.М. Кокин, В.А. Никитенко и др. ; Под ред. И.К. Верещагина .— 2-е изд., испр. — М. : Высшая школа, 2001 .— 237 с. : ил. ; 20 см .— Авт. указаны на обороте тит. л. — Библиогр.: с. 235-237 (61 назв.). — допущено в качестве учебного пособия .— ISBN 5-06-004024-0 : 52.00 (29 экз.)
9. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учебное пособие / Д. В. Сивухин .— 4-е изд., стереот. — Москва : Физматлит. — 2005 Том 1. Механика. — 560 с. Режим доступа: электронная библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE», требуется авторизация .— ISBN 5-9221-0225-7 .— <URL:https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82978>.
10. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учебное пособие / Д. В. Сивухин .— Изд. 6-е, стер. — Москва : Физматлит, 2014. — Том 2. Термодинамика и молекулярная физика. — 544 с. : ил. Режим доступа: электронная библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE», требуется авторизация .— ISBN 978-5-9221-1513-1. - ISBN 978-5-9221-1514-8 .— <URL:https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275624>.
11. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учебное пособие / Д. В. Сивухин .— 5-е изд., стер. — Москва : Физматлит, 2009 .— Том 3. Электричество .— 655 с. Режим доступа: электронная библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE», требуется авторизация .— ISBN 978-5-9221-0673-3 .— <URL:https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82998>.

12. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учебное пособие / Д. В. Сивухин .— 3-е изд., стереот. — Москва : Физматлит, 2002.— Том 4. Оптика.— 792 с. Режим доступа: электронная библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE», требуется авторизация .— ISBN 5-9221-0228-1 .— <URL:https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82981>. Т4
13. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учебное пособие / Д. В. Сивухин .— 2-е изд., стереот. — Москва : Физматлит, 2002 .— Том 5. Атомная и ядерная физика .— 783 с. Режим доступа: электронная библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE», требуется авторизация .— ISBN 5-9221-0230-3 .— <URL:https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82991>.

5.1.2. Дополнительная литература

1. Ван, Бюрен. Дефекты в кристаллах / Б. Ван ; пер. с англ. под ред. А. Н. Орлова, В. Р. Регеля .— М. : Изд-во иностр. лит., 1962 .— 584 с. : ил. — Библиогр.: с. 532-564 .— 3-47 .— 57-00 (4 экз.)
2. Келли, А. Кристаллография и дефекты в кристаллах / А. Келли, Г. Гровс ; пер. с англ. С. Н. Горина [и др.] ; под ред. [и с предисл.] М. П. Шаскольской .— Москва : Мир, 1974 .— 496 с., [4] л. ил. : черт. ; 22 см .— Библиогр. в конце гл.— Предм. указ.: с. 486-492 (7 экз.)
3. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика : В 10 т.: Учеб. пособие. Т. 1. Механика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .— 4-е изд., испр. — М. : Наука, 1988 .— 215 с.— ISBN 5-02-013850-9 : 20-00 .— 3200-00 .— 0-90. (106 экз.)
4. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика : в 10 т. : учеб. пособие для вузов. Т. 2. Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 8-е изд., стер. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006 .— 536 с. : ил. — Рек. М-вом образования РФ. — ISBN 5-9221-0053-X. (3 экз.)
5. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика : Учеб. пособие для физ. спец. ун-тов : В 10 т. Т. 3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. - 5-е изд., стер. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц; Под ред. Л.П. Питаевского .— М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001 .— 808 с. ; 22 см .— На корешке только загл. тома. — Предм. указ.: с. 801-803. — рекомендовано в качестве учебного пособия .— ISBN 5-922100-53-X : 80.00.(2 экз.)
6. Ландау, Л. Д. Электродинамика сплошных сред : монография / Л. Д. Ландау .— Москва : Государственное издательство физико-математической литературы, 1959 .— 532 с. — Режим доступа: электронная библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE», требуется авторизация .— <URL:https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=474070>.
7. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика: В 10 т. : Учеб. пособие. Т. 5. Статистическая физика, ч. 1 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; Под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стер. — М. : Физматлит, 2001 .— 616 с. — Рек. М-вом образования РФ .— ISBN 5-9221-0054-8 : 138-00 .— ISBN 5-9221-0053-X : 50-00. (49 экз.)
8. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика : Учеб. пособие для вузов. Т. 9. Статистическая физика, ч. 2: Теория конденсированного состояния / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; Под ред. Л. П. Питаевского .— 3-е изд., стер. — М. : Физматлит, 2001 .— 496 с. — Рек. М-вом образования РФ .— ISBN 5-9221-0124-2 : 125-00 .— ISBN 5-9221-0053-X. (50 экз.)
9. Блохинцев, Дмитрий Иванович. Основы квантовой механики : учеб. пособие / Д. И. Блохинцев .— 7-е изд., стер. — СПб.; М.; Краснодар : Лань, 2004 .— 672 с. : ил. ; 22 см .— Библиогр. в примеч. — допущено в качестве учебного пособия.(4 экз.)
10. Ландсберг, Г. С. Оптика : учебное пособие / Г. С. Ландсберг .— 7-е изд., стер. — Москва : Физматлит, 2017 .— 852 с. : табл., граф., схем. — Режим доступа: электронная библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE», требуется авторизация .— ISBN 978-5-9221-1742-5 .— <URL:https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485257>.
11. Пустоваров, Владимир Алексеевич. Люминесценция твердых тел и релаксация электронных возбуждений : учебное пособие / В. А. Пустоваров ; науч. ред. Б. В. Шульгин ; Урал. гос.

- техн. ун-т - УПИ. — Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2003. — 54 с. : ил. ; 21 см. — Авт. указан на обороте тит. л. — Библиогр.: с. 52-53 (19 назв.). — ISBN 5-321-00299-1 : 25.00 (5 экз.)
12. Никифоров, В. С. Радиационно-индуцированные процессы в широкозонных нестехиометрических оксидных диэлектриках : практическое пособие / В. С. Никифоров, В. С. Кортов. — Москва : Техносфера, 2017. — 272 с. : ил.,табл., схем. — (Мир физики и техники). — Библиогр.: с. 225-259. — Режим доступа: электронная библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE», требуется авторизация. — ISBN 978-5-94836-490-2. — <URL:<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=496558>>.
 13. Огородников, Игорь Николаевич. Радиационные воздействия излучений на материалы электронной техники. Оксид бериллия : учебное пособие для студентов вуза, обучающихся по направлениям подготовки магистров 14.04.02 "Ядерная физика и технологии", 12.04.04 "Биотехнические системы и технологии" и специальности 14.05.04 "Электроника и автоматика физических установок" / И. Н. Огородников, В. Ю. Иванов ; науч. ред. А. В. Кружалов; Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, [Физ.-технол. ин-т]. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2019. — 319, [1] с. : ил. — Библиогр.: с. 259-298 (635 назв.). — Предм.-имен. указ.: с. 299-308. — ISBN 978-5-7996-2601-3, 40 экз.
 14. Гусева, Валентина Борисовна. Применение радиоспектроскопии для изучения радиационных дефектов в твердых телах : Учеб.-метод. пособие / В. Б. Гусева, А. Ф. Зацепин, С. О. Чолах; Науч. ред. Г. И. Пилипенко; Урал. гос. техн. ун-т - УПИ. — Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2003. — 66 с. : ил. ; 21 см. — Библиогр.: с. 63 (7 назв.). — 30.00. — полный текст (20 экз.)

5.2. Методические разработки

Не используются.

5.3. Программное обеспечение

1. Microsoft office (Word, Excel, Power point);
2. Adobe Reader X
3. ChemOffice 2010
4. Isis Draw (Version 2.5)
5. Mercury (Version 2.4.5)
6. AutoDock (Version 1.5)
7. MestReNova (Version 6.0.2)
8. Open Babel (Version 2.3.1)
9. Avogadro (Version 1.0.3)
10. RasMol (Version 2.7.5.2)
11. Jmol (Version 12.0.45)
12. MiKTeX (<https://miktex.org>)
13. SRIM (<http://www.srim.org>)
14. MathCad 14.0

5.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Зональная научная библиотека <http://library.urfu.ru/>
2. Каталоги библиотеки <http://library.urfu.ru/about/department/catalog/rescatalog/>
3. Электронный каталог <http://library.urfu.ru/resources/ec/>
4. Ресурсы <http://library.urfu.ru/resources>
5. Поиск <http://library.urfu.ru/search/>;
6. Электронные ресурсы по подписке УрФУ, например, база данных «Scopus».
7. Российская электронная научная библиотека. – Режим доступа: <http://www.elibrary.ru>
8. Поисковые системы публикаций отечественных и зарубежных научных изданий: <http://www.sciencedirect.com>, <http://www.ingentaconnect.com>

7. Интеллектуальная поисковая система Нигма.РФ . режим доступа: <http://www.nigma.ru>.

5.5. Электронные образовательные ресурсы

Не используются

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

Уральский федеральный университет имеет специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории.

Уральский федеральный университет имеет материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации программы аспирантуры, обеспечения дисциплин, научно-исследовательской работы и практик, в соответствии с требованиями к материально-техническому и учебно-методическому обеспечению направленности программы.