



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физического факультета

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Энергетический спектр электронов и фононов

Кафедра физики конденсированного состояния и наносистем

Образовательная программа

03.03.02 – Физика

Профиль подготовки:

Фундаментальная физика

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Форма обучения:

Очная

Статус дисциплины:

по выбору

Махачкала, 2017 год

Рабочая программа дисциплины «Энергетический спектр электронов и фононов» составлена в 2017 году в соответствии с требованиями ФГОС+ ВО по направлению подготовки **03.03.02 – Физика** (уровень: бакалавриат), профиль подготовки: Фундаментальная физика

Разработчик(и): кафедра физики конденсированного состояния и наносистем, д.ф.-м.н., профессора Палчаев Д.К. и Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры физика конденсированного состояния и наносистем от «25» марта 2017г., протокол №7.

Зав. кафедрой _____ Рабаданов М.Х.

На заседании Методической комиссии физического факультета от «31» марта 2017г, протокол №7.

Председатель _____ Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением
« 03 04 _____ 2017г. _____ Гасангаджиева А.Г.

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина Энергетический спектр электронов и фононов входит в вариативную часть образовательной программы бакалавриата по направлению (специальности) 03.03.02 – физика.

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой физики конденсированного состояния и наносистем.

Спецкурс «Энергетический спектр электронов, фононов и тепловые свойства твердых тел» является одним из основополагающих разделов физики конденсированных сред, в том числе наноразмерных. Цель спецкурса не только в получении фундаментальных знаний, но в расширении кругозора студентов, необходимого при решении нестандартных задач, в том числе и прикладного характера.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: общекультурных – ОК-1, общепрофессиональных – ОПК-3, профессиональных – ПК-2, ПК-5.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме – контрольная работа, коллоквиум и промежуточный контроль в форме зачета.

Объем дисциплины 72 часа, 2 зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Се- местр	Учебные занятия						СРС, в том числе зачет	Форма промежу- точной аттеста- ции (зачет, диф- ференцированный зачет, экзамен)
	в том числе							
	Контактная работа обучающихся с преподавателем					СРС, в том числе зачет		
	Все- го	из них						
	Лекции	Лабо- ра- торные занятия	Практи- ческие занятия	КСР	консуль- тации			
5	72	18		34			20	зачет

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины (модуля) «Энергетический спектр электронов и фононов» являются: формирование у студентов системы знаний по физике конденсированного состояния, общекультурных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 - Физика.

В результате изучения данной дисциплины студенты приобретают сведения о природе формирования энергетического спектра электронов и фононов, а также знания, необходимые для оценок свойств металлов и неметаллов. Кроме изложения основных вопросов курса рассматриваются связи кинетических свойств между собой и их связи с другими свойствами. Изучение этого спецкурса будет способствовать формированию навыков при решении задач и постановке простейших экспериментов, использования компьютера для математического моделирования процессов, необходимых для расширения кругозора, понимания и дальнейшего изучения различных разделов физики. В конечном итоге, все это направлено на подготовку профессиональных и конкурентоспособных специалистов в области физики конденсированного состояния, способных работать на инженерно-

технических должностях в научно-исследовательских лабораториях НИИ, вузов, предприятий.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Энергетический спектр электронов и фононов» входит в вариативную часть дисциплин по выбору образовательной программы бакалавриата по направлению (специальности) 03.03.02 - физика.

Настоящая программа по дисциплине "Энергетический спектр электронов и фононов" предназначена для подготовки бакалавров по направлению «Физика» в соответствии с требованиями, отраженными в государственных образовательных стандартах. Особенность программы состоит в фундаментальном характере изложения дисциплины с целью не только сообщения студентам определенной суммы конкретных сведений, но и формирования у них физического мировоззрения как базы общего естественно - научного и развития соответствующего способа мышления.

В условиях возросшей актуальности в разработке технологии новых конструктивных материалов, в частности наноразмерных, необходимо повышение уровня образования студентов за счет изучения связи параметров неравновесной с параметрами равновесной термодинамики. Изучение особенностей энергетического спектра электронов и фононов в расширяет возможности для понимания соответствующих процессов, происходящих в твердых телах, связанных с динамикой решетки атомов.

Микроскопическое рассмотрение природы формирования электро- и теплопроводности и их температурной зависимости с учетом ангармонизма колебаний атомов, в том числе в наноразмерных объектах, вырабатывает способность к абстрактному мышлению, применению математического аппарата, выявлению в том или ином процессе причинно-следственной связи. Совокупность приобретенных знаний может быть полезной при создании и аттестации эксплуатационных характеристик новых конструктивных материалов.

Наряду с выше изложенным, изучение настоящего спецкурса необходимо для облегчения усвоения студентами других разделов физики твердого тела: физики диэлектриков, физики полупроводников, физики металлов и физики магнитных явлений.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).

Компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
ОК-1	способностью использовать основы философских знаний для формирования мировоззренческой позиции (ОК-1);	<u>Знать:</u> основные законы и категории мировоззрения: мироощущение, мировосприятие, миропонимание; <u>Уметь:</u> вырабатывать суждения о различных явлениях, процессах, эффектах, событиях; использовать разнообразные подходы приемы, позволяющие не только погружаться в детали данной области знаний, но и диагностировать ее целостно. <u>Владеть:</u> когнитивной составляющей (познавательной функцией) научных знаний

ОПК-3	<p>способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3);</p>	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • теоретические основы, основные понятия, законы и модели общей физики; • базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики; • уравнение Шредингера, распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна; • приближение сильной и слабой связи, приближение слабых возмущений; энергию гармонического осциллятора; • основные различия и связь теорий теплоемкости Эйнштейна и Дебая; иметь представления о температурной зависимости фононной тепло-проводности. <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию об кинетических свойствах твердых тел, влиянии на них тепловых возбуждений решетки; • применять полученные знания в области исследования и расшифровки результатов исследований температурных зависимостей электро- и теплосопротивления проводников и диэлектриков, а также при интерпретации свойств соответствующих наносистем: <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области кинетических свойств твердых тел; • способом прогнозирования поведения кинетических свойств материалов с различной структурой и типом межатомной связи; • методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области кинетических свойств твердых тел.
ПК-2	<p>способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта (ПК-2);</p>	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • основы метода измерения температурных зависимостей электросопротивления и теплового расширения твердых тел в одном эксперименте; • методы измерения температурных зависимостей теплосопротивления и теплоемкости твердых тел; <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • пользоваться современной приборной базой для проведения экспериментальных и теоретических физических исследований кинетических свойств материалов; • анализировать устройство исполь-

		<p>зуемых приборов и принципов их действия, приобрести навыки выполнения физических измерений, проводить обработку результатов измерений с использованием статистических методов и современной вычислительной техники;</p> <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками исследования температурных зависимостей электросопротивления и теплового расширения, а так же теплосопротивления в твердых телах; • навыками проведения научных исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта; • способностью анализировать влияния особенностей структуры и фононного спектра на кинетические свойства и прогнозировать их для объемных и наноструктурированных объектов.
ПК-5	<p>способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований (ПК-5);</p>	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • современные методы обработки, анализа и синтеза информации, полученной в эксперименте; • различные модели и методы теоретических расчетов кинетических свойств. <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области исследования кинетических свойств твердых тел; • применять полученные знания при решении задач на семинарских занятиях и при выступлении на студенческих научных форумах; • применять полученные теоретические знания при решении конкретных задач при исследованиях кинетических свойств твердых тел с учетом отечественного и зарубежного опыта; <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками решения задач для описания поведения кинетических свойств металлов, в том числе сплавов, и неметаллов в зависимости от структуры и типа межатомной связи; • современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированных сред; • навыком прогнозирования кинетических свойств при создании новых материалов.

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учеб. раб., включая самост. раб. студ. и трудо- емкость (в часах)				Форма текущего контроля успева- емости. (по неделям се- местра.) Форма промежу- точной аттеста- ции (по неделям се- местра)
				Трудоёмкость, час	Лекции	Прак. Зан.	Контроль са- мост. работы	
Модуль 1. Электронная структура и свойства металлов								
1.	Тема 1. Классические и квантово - механические представления в теории металлов. Приближение свободных электронов.	5	1-2	8	2	4	2	Контр. раб.
2	Тема 2. Магнитная восприимчивость и теплоемкость Ферми-газа. Плотность электронных состояний. Приближение почти свободных электронов.	5	3-4	8	2	4	2	Контр. раб.
3	Тема 3. Зоны Бриллюэна. Закон дисперсии для обобществленных электронов в поле периодического потенциала.	5	5-6	10	2	4	4	Тест
4	Тема 4. Кинетические свойства металлов. Соотношения Онзагера. Обобщенные уравнения переноса.	5	7-8	10	2	4	4	Тест
	Итого по модулю 1			36	8	16	12	
Модуль 2. Энергетический спектр фононов и тепловые свойства								
3	Тема 1. Фононы Границы частотного спектра колебаний решетки. Колебания цепочки из атомов одного сорта.	5	9-10	4	2	2		Коллоквиум.
4	Тема 2. Колебания цепочки из атомов двух сортов. Акустические и оптические моды колебаний.	5	11-12	8	2	4	2	Контр. Раб.

5	Тема 3. Теплоемкость твердых тел. Приближение Эйнштейна. И Дебая. Функции спектральной плотности состояний в модели Дебая и Эйнштейна..	5	12-13	8	2	4	2	Тест
6	Тема4. Тепловое расширение Микроскопическаяи феноменологические теории.Истинные и средние значения КТР.	5		8	2	4	2	Тест
7	Тема 5. Теплопроводность. Решеточн. теплопроводность. Расчет теплопроводности в квазигармоническом приближении (формула Лейбфрида и Шломана).	5		8	2	4	2	Контр. Раб.
8	Итого по модулю 2			36	10	18	8	
9	Итого			72	18	34	20	

Модуль 1. Электронная структура и свойства металлов..

Лекции.

Тема 1.Понятие металла. Классическая электронная теория металлов.

Квантово-механические представления в теории металлов. Приближение свободных электронов.

Тема 2. Магнитная восприимчивость и теплоемкость Ферми-газа. Плотность электронных состояний. Приближение почти свободных электронов.

Тема 3.Зоны Бриллюэна. Построение зон Бриллюэна. Закон дисперсии для обобществленных электронов в поле периодического потенциала. Сравнение моделей слабой и сильной связей.

Тема 4.Кинетические свойства металлов. Соотношения Онзагера. Обобщенные уравнения переноса. Механизмы рассеяние электронов в переходных и непереходных металлах. Длина свободного пробега.

Практические занятия

1. Энергия электронного газа.
2. Псевдопотенциал.
3. Заполнение энергетических зон значениями энергий.
4. Электронная структура жидких металлов.
5. Гальваномагнитные свойства металлов.
6. Формулы для расчета электросопротивления (Блоха-Грюнайзена, Дж. Займана, Кубо).
7. Закон Видемана-Франца.
8. Природа связи электросопротивления с термической деформацией металлов

Модуль 2. Энергетический спектр фононов и тепловые свойства

Лекции.

Тема 1.Уравнение упругой волны. Границы частотного спектра колебаний решетки. Нулевые колебания. Фононы. Колебания цепочки из атомов одного сорта.

Тема 2. Колебания цепочки из атомов двух сортов. Закон дисперсии в акустической и оптической ветвях колебаний атомов.

Тема 3. Теплоемкость твердых тел. Функции спектральной плотности состояний в модели Дебая и Эйнштейна. Приближение Эйнштейна. Приближение Дебая. Соотношение между характеристическими температурами Дебая и Эйнштейна.

Тема 4. Тепловое расширение. Микроскопическая и феноменологические теории. Истинные и средние значения КТР.

Тема 5. Решеточная теплопроводность. Нормальные процессы и процессы переброса. Выражение для расчета теплопроводности в квазигармоническом приближении (Лейбфрида и Шломана).

Практические занятия

1. Нулевые колебания. Характеристическая температура.
2. Закон дисперсии частоты, фазовой и групповой скоростей для цепочки из атомов одного сорта.
3. Особенности акустических и оптических мод колебаний для цепочки из атомов 2^x сортов. Ионно-плазменная частота. Запрещенная зона частот в ионных кристаллах.
4. Учет влияния взаимодействия атома с 4мя ближайшими соседями.
5. Расчет теплоемкости по модели Дебая и сравнение с экспериментом. Особенности теплоемкости в наноразмерных системах.
6. Особенности теплового расширения анизотропных и рыхлоупакованных структур (отрицательные значения КТР).
7. Особенности теплового расширения композиционных сплошных и пористых материалов.
8. Учет влияния анизотропии при расчетах теплосопротивления. Связь теплосопротивления с изобарной термической деформацией.
9. Особенности теплосопротивления анизотропных и рыхлоупакованных структур.

5. Образовательные технологии:

активные и интерактивные формы, лекции, практические занятия, контрольные работы, коллоквиумы, зачеты и экзамены. В процессе преподавания дисциплины «Энергетический спектр электронов и фононов» применяются следующие образовательные технологии: развивающее обучение, проблемное обучение, коллективная система обучения, лекционно-зачетная система обучения. При чтении данного курса применяются такие виды лекций, как вводная, лекция-информация, обзорная, проблемная, лекция-визуализация. Лекции сопровождаются представлением материалов виде презентаций с использованием анимации, выход на сайты, где представлены соответствующие иллюстрации и демонстрации для излагаемого материала.

При проведении занятий используются компьютерные классы, оснащенные современной компьютерной техникой: мультимедиа проекционным оборудованием и интерактивной доской.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах (лекция-беседа, лекция-дискуссия, лекция-консультация, проблемная лекция, лекция-визуализация, лекция с запланированными ошибками), определяется главной целью (миссией) программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием конкретных дисциплин, и в целом, в учебном процессе по данной дисциплине они должны составлять не менее 20 часов аудиторных занятий. Число лекций от общего числа аудиторных занятий определено учебной программой.

Для выполнения физического практикума и подготовке к практическим (семинарским) занятиям изданы учебно-методические пособия и разработки, которые в сочетании

с внеаудиторной работой способствуют формированию и развития профессиональных навыков обучающихся. В процессе лабораторного практикума формируется у студентов умение производить расчеты с помощью пакета стандартных компьютерных математических программ, что позволяет существенно приблизить уровень культуры статистической обработки результатов измерений в практикуме к современным стандартам, принятым в науке и производственной деятельности. На этих занятиях студенты закрепляют навыки (приобретенные на 1-2 курсах) по оценке погрешностей результатов измерений, что совершенно необходимо для работы в специальных учебных и производственных лабораториях. В рамках учебного процесса предусмотрено приглашение для чтения лекций ведущих ученых из центральных вузов и академических институтов России.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студентов, предусмотрена учебным планом в объеме не менее 50%, в том числе подготовка к экзаменам и зачетам, от общего количества часов. Она необходима для более глубокого усвоения изучаемого курса, формирования навыков исследовательской работы и умение применять теоретические знания на практике. Самостоятельная работа должна носить систематический характер. Результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации студента (зачет, экзамен). При этом проводятся: тестирование, экспресс-опрос на семинарских и практических занятиях, заслушивание докладов, проверка письменных работ и т.д.

Самостоятельная работа студентов реализуется в виде:

- повторения пройденного материала;
- подготовки к лабораторно-практическим работам;
- оформления лабораторно-практических работ (заполнение таблиц, решение задач, написание выводов);
- подготовки к контрольным работам;
- выполнения индивидуальных заданий по основным темам дисциплины;

Примерные вопросы для самостоятельной работы по дисциплине

1. Температурная зависимость электросопротивления металлов (сплавов);
2. Температурная зависимость теплового расширения металлов (сплавов);
3. Зависимость электросопротивления от термической деформации металлов (сплавов);
4. Разделение механизмов рассеяния электронов в различных проводниках;
5. Температурная зависимость магнитной восприимчивости металлов (сплавов);
6. Температурная зависимость теплопроводности металлов (сплавов);
7. Особенности изменения свойств металлов (сплавов) при фазовых переходах первого и второго рода;
8. Зависимость характеристического электросопротивления в зависимости от концентрации в двойных сплавах.
9. Связь между различными равновесными и неравновесными свойствами;
10. Особенности свойств сплавов с: гигантским магнитосопротивлением, обладающих памятью, сплавов, обладающих сверхпластичностью и т.д.
11. Температурная зависимость теплопроводности кремния в области низких температур от 80 до 300К.
12. Расчет теплопроводности кремния по формуле Лебфрида-Шломана
13. Сравнение расчетов теплоемкости неметаллов по моделям Дебая и Эйнштейна.
14. Расчет характеристического фононного теплосопротивления для ионных и ковалентных соединений.
15. Расчет характеристического фононного теплосопротивления для соединений с рыхлоупакованной структурой.

16. Построение корреляций теплосоппротивление – термическая деформация для изотропных веществ.

17. Построение корреляций теплосоппротивление – термическая деформация для анизотропных веществ.

18. Зависимость теплопроводности неметаллов от размера наночастиц.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

Компетенция	Знания, умения, навыки	Процедура освоения
ОК-1	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные законы и категории мировоззрения: мироощущение, мировосприятие, миропонимание; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • вырабатывать суждения о различных явлениях, процессах, эффектах, событиях; • использовать разнообразные подходы и приемы, позволяющие не только погружаться в детали данной области знаний, но и обобщать, и диагностировать ее целостно. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • когнитивной составляющей (познавательной функцией) научных знаний. 	Устный опрос
ОПК-3	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • теоретические основы, основные понятия, законы и модели общей физики; • базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики; • уравнение Шредингера, распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна; • приближение сильной и слабой связи, приближение слабых возмущений; энергию гармонического осциллятора; • основные различия и связь теорий теплоемкости Эйнштейна и Дебая; иметь представления о температурной зависимости фононной теплопроводности. <p><u>Уметь:</u></p> <p>понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию об кинетических свойствах твердых тел, влиянии на них тепловых возбуждений решетки;</p>	Устный опрос, письменный опрос

	<p>применять полученные знания в области исследования и расшифровки результатов исследований температурных зависимостей электро- и теплосопротивления проводников и диэлектриков, а также при интерпретации свойств соответствующих наносистем.</p> <p><u>Владеть:</u> методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области кинетических свойств твердых тел; способом прогнозирования поведения кинетических свойств материалов с различной структурой и типом межатомной связи;</p> <ul style="list-style-type: none"> • методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области кинетических свойств твердых тел. 	
ПК-2	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • основы метода измерения температурных зависимостей электросопротивления и теплового расширения твердых тел в одном эксперименте; • методы измерения температурных зависимостей теплосопротивления и теплоемкости твердых тел; <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • пользоваться современной приборной базой для проведения экспериментальных и теоретических физических исследований кинетических свойств материалов; • анализировать устройство используемых приборов и принципов их действия, приобрести навыки выполнения физических измерений, проводить обработку результатов измерений с использованием статистических методов и современной вычислительной техники; <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками исследования температурных зависимостей электросопротивления и теплового расширения, а так же теплосопротивления в твердых телах; • навыками проведения научных исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта; • способностью анализировать влияния особенностей структуры и фононного спектра 	Устный опрос, письменный опрос

	на кинетические свойства и прогнозировать их для объемных и наноструктурированных объектов.	
ПК-5	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • современные методы обработки, анализа и синтеза информации, полученной в эксперименте; • различные модели и методы теоретических расчетов кинетических свойств. <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области исследования кинетических свойств твердых тел; • применять полученные знания при решении задач на семинарских занятиях и при выступлении на студенческих научных форумах; • применять полученные теоретические знания при решении конкретных задач при исследованиях кинетических свойств твердых тел с учетом отечественного и зарубежного опыта; <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками решения задач для описания поведения кинетических свойств металлов, в том числе сплавов, и неметаллов в зависимости от структуры и типа межатомной связи; • современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированных сред; • навыком прогнозирования кинетических свойств при создании новых материалов. 	Устный опрос, письменный опрос

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.

ОК-1.

Схема оценки уровня формирования компетенции «Способностью использовать основы философских знаний для формирования мировоззренческой позиции»

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Представление о наиболее общих законах, категориях и принципах, по которым происходят процессы в обществе и физическом мире. Формировать ми-	Ознакомлен с фундаментальными законами и категориями философии.	Демонстрирует: реалистическое мироощущение, мировосприятие, миропонимание.	Показывает навыки успешного использования базовых знаний по философии для решения перспектив-

	ровозрение, позволяющее всесторонне изучать и систематизировать различную информацию и из нее получать знания.			ных исследовательских разработок.
--	--	--	--	-----------------------------------

ОПК-3

Схема оценки уровня формирования компетенции «Способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач».

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Представление способности использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.	Ознакомлен с базовыми теоретическими знаниями фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.	Демонстрирует хорошие знания базовых теоретических знаний фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.	Показывает навыки успешного использования базовых теоретических знаний фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.

ПК-2

Схема оценки уровня формирования компетенции «Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта».

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Проведение научных исследований в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.	Ознакомлен с проведением научных исследований в области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отече-	Демонстрирует знания проведения научных исследований в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий	Показывает навыки успешного проведения научных исследований в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий

		ственного и зарубежного опыта.	с учетом отечественного и зарубежного опыта.	с учетом отечественного и зарубежного опыта.
--	--	--------------------------------	--	--

ПК-5

Схема оценки уровня формирования компетенции «Способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований».

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Представление использования современных методов обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований	Ознакомлен с использованием современных методов обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований	Демонстрирует умение пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований	Показывает умение пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований

Если хотя бы одна из компетенций не сформирована, то положительная оценки по дисциплине быть не может.

7.3. Типовые контрольные тестовые задания**7.3.1. «Электронная структура и свойства металлов»****ВАРИАНТ 1**

1. Что является следствием ограниченности размеров кристалла при рассмотрении поведения свободного электрона в металле?
 - 1) Верхний предел энергии свободных электронов.
 - 2) Дискретность энергетического спектра.
 - 3) Возможность пренебрежения общей потенциальной энергией.
 - 4) Рассмотрение поведения электронов в потенциальной яме (в металле)
 - 5) Возможность пренебрежения периодическим потенциалом.
2. Чем обусловлена слабость периодического потенциала?
 - 1) Малостью потенциальной энергии взаимодействия электрона с ионом.
 - 2) Экранировкой ионов быстрыми электронами.
 - 3) Малостью превышения кинетической энергии над потенциальной.
 - 4) Большими значениями энергии Ферми.
 - 5) Незначительным превышением потенциальной энергии над кинетической.
3. Какие волновые вектора эквивалентны друг другу?
 - 1) Отличающиеся на $2\pi/L$.
 - 2) Отличающиеся на $2\pi/a$
 - 3) Максимальный и минимальный вектора.
 - 4) Отличающиеся на K_F

- 5) Отличающиеся на $2\pi/\lambda$.
4. Чем обусловлена температурная зависимость электросопротивления металлов?
- 1) Изменением вкладов рассеяния на дефектах при изменении температуры.
 - 2) Изменением амплитуды колебаний с температурой.
 - 3) Изменением ангармонизма колебаний с температурой.
 - 4) Изменением частоты колебаний атомов.
 - 5) Возрастанием числа статических дефектов решетки с температурой.
5. В каком случае закон дисперсии для электрона непрерывен?
- 1) Электрон в металле.
 - 2) Электрон в роле периодического потенциала.
 - 3) Электрон в бесконечном пространстве.
 - 4) Электрон в межатомном пространстве.
 - 5) Электрон осциллирует вблизи иона.
6. Число занятых энергетических состояний для трехвалентного металла:
- 1) $\frac{1}{2} N$; 2) N ; 3) $2N$; 4) $\frac{3}{2} N$; 5) $\frac{1}{3} N$.
7. Параметр, определяющий энергию Ферми:
- 1) Число электронов
 - 2) Валентность металла
 - 3) Размеры кристалла
 - 4) Плотность вещества
 - 5) Концентрация электронов.
8. Какие основные упрощения используются при рассмотрении приближения почти свободных электронов?
- 1) Пренебрегаются потенциалом взаимодействия электрона с ионом.
 - 2) Пренебрегается энергией, необходимой для вырывания электрона из металла.
 - 3) Пренебрегается суммарной потенциальной энергией электрона.
 - 4) Рассматривается электрон в потенциальной яме.
 - 5) Рассматривается движение одного электрона в поле ионов, экранированных остальными электронами.
9. Каким параметром определяется зона Бриллюэна?
- 1) Размером кристалла.
 - 2) Межатомным расстоянием.
 - 3) Импульсом Ферми.
 - 4) Энергией Ферми.
 - 5) Волновым вектором Ферми.

ВАРИАНТ 2

1. Каким параметром определяется минимальное и максимальное значения импульса электрона в металле, соответственно
- 1) Размером кристалла и межатомным расстоянием.
 - 2) Фермиевской скоростью и массой электрона.
 - 3) Размером кристалла и размером атома.
 - 4) Размером атома и размером межатомного расстояния.
 - 5) Массой электрона и фермиевской скоростью.
2. Чем обусловлена слабость потенциала взаимодействия электрона с ионом?
- 1) Экранировкой иона электронами.

- 2) Явлением, приводящим к Фриделевским осцилляциям.
 - 3) Периодичностью потенциала.
 - 4) Большими значениями скорости Ферми электронов.
 - 5) Величиной разности кинетической и потенциальной энергии электрона.
3. Почему импульсы электронов в поле периодического потенциала не могут принимать значения выше $2\pi\hbar/a$?
- 1) Значение импульса ограничено размерами кристалла.
 - 2) Вследствие многозначности импульса.
 - 3) Вследствие периодичности потенциала.
 - 4) Значение импульса ограничено межатомным расстоянием.
 - 5) Вследствие дискретности спектра.
4. Отличается ли температурный коэффициент фононного электросопротивления металла в твердом и жидком состояниях?
- 1) Не отличается.
 - 2) В жидком больше, чем в твердом.
 - 3) В жидком меньше, чем в твердом.
 - 4) Определяется ходом изменения теплоемкости.
 - 5) Определяется ходом изменения теплового расширения.
5. Отличается ли закон дисперсии электрона в поле периодического потенциала от закона дисперсии свободного электрона в пределах зоны Бриллюэна?
- 1) Отличается существенно.
 - 2) Не отличается.
 - 3) Отличается незначительно.
 - 4) Отличается в пределе малых энергий.
 - 5) Отличается в пределе больших энергий.
6. Какой объем приходится на разрешенные состояния импульсов в импульсном пространстве?
- 1) $4/3\pi P_F^3$; 2) $\pi^2\hbar^3/L^3$; 3) $(2\pi/L)^3$; 4) $2\pi\hbar/V$; 5) $(2\pi\hbar/L)^3$.
7. Как зависит электросопротивление металлов от силы межатомного взаимодействия?
- 1) Однозначная прямая пропорциональность.
 - 2) Неоднозначная прямая пропорциональность.
 - 3) Однозначная обратная пропорциональность.
 - 4) Неоднозначная обратная пропорциональность.
 - 5) Не зависит.
8. Чем обусловлены Фриделевские осцилляции?
- 1) Периодичностью потенциала.
 - 2) Осцилляциями электрона вблизи иона.
 - 3) Корпускулярно-волновым дуализмом свойств электрона.
 - 4) Экранировкой ионов электронами.
 - 5) Интерференцией быстрых электронов в решетке.
9. Каков объем сферы Ферми для двухвалентного металла?
- 1) Больше зоны Бриллюэна в 2 раза.
 - 2) Меньше зоны Бриллюэна в 2 раза.
 - 3) Равен зоне Бриллюэна.
 - 4) Значительно больше зоны Бриллюэна.
 - 5) Значительно меньше зоны Бриллюэна.

ВАРИАНТ3

1. Каким параметром определяется интервал между состояниями энергий электронов?
 - 1) Энергией Ферми.
 - 2) Размером металла.
 - 3) Размерами атомов.
 - 4) Межатомным расстоянием.
 - 5) Плотностью металла.
2. О чем гласит теорема Блоха?
 - 1) Волновое уравнение с периодическим потенциалом имеет вид произведения функции плоской волны на функцию, периодическую с периодом решетки.
 - 2) Собственные функции периодические с периодом кристалла имеют вид функции плоской волны на функцию, описывающую периодическим потенциалом.
 - 3) Собственные функции волнового уравнения имеют вид произведения плоской волны на функцию, описывающую периодичность потенциала с периодом решетки.
 - 4) Собственные функции волнового уравнения с периодическим потенциалом имеют вид произведения функции плоской волны на функцию потенциала - периодическую в решетке кристалла.
 - 5) Волновое уравнение с периодическим потенциалом имеет вид произведения периодической функции плоской волны на периодическую функцию потенциала.
3. Интервал физически значимых волновых векторов:
 - 1) $0 \div K_F$.
 - 2) Интервал волновых векторов, отличающихся от $2\pi/L$.
 - 3) Зона Бриллюэна.
 - 4) Зона запрещенных значений энергий.
 - 5) Зона разрешенных значений энергий.
4. Что в основном обуславливает рост теплоемкости металлов при высоких температурах?
 - 1) Термическое возбуждение обобществленных электронов.
 - 2) Термическое возбуждения ионов.
 - 3) Термическое возбуждение быстрых электронов.
 - 4) Термическое возбуждение быстрых электронов и ионов.
 - 5) Термическое возбуждение ионов и обобществленных электронов.
5. Чем определяется периодичность закона дисперсии энергии электронов в зависимости от импульса?
 - 1) Волновыми свойствами электронов.
 - 2) Многозначностью волнового вектора
 - 3) Принципом Паули.
 - 4) Импульсом Ферми.
 - 5) Величиной псевдопотенциала.
6. Чему равно число занятых электронами энергетических состояний?
 - 1) $ZN/2$; 2) $2ZN$; 3) $Z N$; 4) $Z N e^{-\frac{\epsilon_F}{K_B T}}$; 5) $Z N e^{\frac{\epsilon_n - \epsilon_F}{K_B T}}$
7. Максимальное значение энергии, которую теряет электрон при взаимодействии с фононом:
 - 1) Равно значению энергии Ферми.
 - 2) Равно разности значений энергии Ферми и максимальной энергии колебаний атома.

- 3) Равно значению тепловой энергии электрона.
 - 4) Равно максимальному значению энергии колебаний иона.
 - 5) Равно суммарному значению тепловых энергий электрона и фонона.
8. Какие основные упрощения используются при рассмотрении приближения свободных электронов?
- 1) Пренебрегаются потенциалом взаимодействия электрона с ионом.
 - 2) Пренебрегается энергией, необходимой для вырывания электрона из металла.
 - 3) Пренебрегается суммарной потенциальной энергией электрона.
 - 4) Рассматривается электрон в потенциальной яме.
 - 5) Рассматривается движение одного электрона в поле ионов, экранированных остальными электронами.
9. Каким параметром определяется зона Бриллюэна?
- 1) Размером кристалла.
 - 2) Межатомным расстоянием.
 - 3) Импульсом Ферми.
 - 4) Энергией Ферми.
- 5) Волновым вектором Ферми.

ВАРИАНТ 4

1. Почему импульсы электронов в металле принимают дискретные значения?
 - 1) Из-за взаимодействия с ионами.
 - 2) Из-за взаимодействия с поверхностью металла.
 - 3) Из-за ограниченности размеров кристалла.
 - 4) Из-за периодичности потенциала.
 - 5) Из-за проявления волновой природы электронами.
2. Чем определяется интервал запрещенных значений энергий электронов?
 - 1) Энергией Ферми.
 - 2) Псевдопотенциалом.
 - 3) Периодом изменения потенциала.
 - 4) Размерами кристалла.
 - 5) Типом связи.
3. Чем различаются размеры зоны Бриллюэна различных металлов?
 - 1) Числом энергетических состояний.
 - 2) Числом физически значимых импульсов.
 - 3) Размером решетки.
 - 4) Размером обратной решетки.
 - 5) Размером поверхности Ферми.
4. Чем обусловлена теплопроводность металлов?
 - 1) Электронами.
 - 2) Больше электронами, меньше фононами.
 - 3) Меньше электронами, больше фононами.
 - 4) Электронами и фононами в равной мере.
 - 5) Фононами.
5. В чем причина разделения энергетического спектра электронов в поле периодического потенциала на разрешенные и запрещенные значения?
 - 1) В различии зарядов ионов и электронов.

- 2) В сильной подвижности электронов.
 - 3) В многозначности волнового вектора.
 - 4) В дифракции электронов на решетке ионов.
 - 5) В периодичности потенциала.
6. В чем основное различие интерпретаций физических свойств металлов в рамках квантовой и классической механики?
- 1) Числом электронов, формирующих свойства металлов.
 - 2) Величиной подвижности электронов.
 - 3) Разностью величин подвижности электронов и ионов
 - 4) Представлениями о длине свободного пробега.
 - 5) Представлениями об эффективной массе.
7. Что из себя представляет металл?
- 1) Вещество, содержащее совокупность сильно связанных ионов и относительно свободных электронов, участвующих в проводимости тока.
 - 2) Вещество. Представляющее собой совокупность системы положительно заряженных ионов, образующих кристаллическую решетку (пространственную структуру) и системы сильно подвижных электронов.
 - 3) Совокупность ионов, образующих пространственную структуру и относительно сильно подвижных электронов, наделяющих вещество специфическими свойствами.
 - 4) Совокупность системы положительных, малоподвижных ионов, образующих пространственную структуру и системы свободных электронов, участвующих в проводимости тока.
 - 5) Совокупность системы положительных относительно малоподвижных ионов, образующих пространственную структуру (решетку) и системы сильно подвижных электронов, наделяющих вещество специфическими электронными свойствами.
8. Основное упрощение при рассмотрении приближения почти свободных электронов:
- 1) Одноэлектронное приближение.
 - 2) Строгая периодичность потенциала.
 - 3) Адиабатическое приближение.
 - 4) Малость потенциала взаимодействия электрона с ионами.
 - 5) Блоховская функция.
9. Что понимается под одномерной зоной Бриллюэна?
- 1) Интервал, определяемый величиной $2\pi/a$.
 - 2) Интервал, определяемый величиной ϵ_F .
 - 3) Интервал, определяемый величиной $2\pi/L$.
 - 4) Интервал, определяемый величиной k_F .
 - 5) Интервал, определяемый величиной $2\pi/L$.

ВАРИАНТ 5

1. Что является следствием периодичности волновой функции электрона в кристалле?
 - 1) Дискретность энергетического спектра.
 - 2) Многозначность спектра.
 - 3) Квазинепрерывность спектра.
 - 4) Осцилляции электрона вблизи иона.
 - 5) Возникновение зон запрещенных значений.
2. К чему приводит ограниченность размеров металла?

- 1) К верхнему пределу энергии обобществленных электронов.
 - 2) К дискретности энергетического спектра.
 - 3) К возможности пренебрежения общей потенциальной энергией.
 - 4) К рассмотрению поведения электронов в потенциальной яме.
 - 5) К возможности пренебрежения периодическим потенциалом.
3. Что определяет малость псевдопотенциала?
- 1) Малость потенциальной энергии взаимодействия электрона с ионом.
 - 2) Экранировка ионов электронами.
 - 3) Малость превышения кинетической энергии под потенциальной.
 - 4) Большие значения энергии Ферми.
 - 5) Незначительность превышения потенциальной энергии над кинетической.
4. Чем определяется эквивалентность волновых векторов?
- 1) Величиной $2\pi/L$
 - 2) Величиной $2\pi/a$.
 - 3) Максимальным и минимальным значениями волнового вектора.
 - 4) Величиной k_F .
 - 5) Величиной $2\pi/\lambda$.
5. Температурная зависимость электросопротивления металлов обусловлена:
- 1) Изменением вкладов рассеяния на дефектах при изменении температуры.
 - 2) Изменением амплитуды колебаний с температурой.
 - 3) Изменением ангармонизма колебаний с температурой.
 - 4) Изменением частоты колебаний атомов.
 - 5) Возрастанием числа статических дефектов решетки с температурой.
6. Закон дисперсии для электронов непрерывен, если рассматривается:
- 1) Электрон в металле.
 - 2) Электрон в поле периодического потенциала.
 - 3) Электрон в бесконечном пространстве.
 - 4) Электрон в межатомном пространстве.
 - 5) Осциллирующий электрон вблизи иона.
7. Занятые энергетические состояния двухвалентного металла:
- 1) $\frac{1}{2} N$; 2) N ; 3) $2N$; 4) $\frac{3}{2} N$; 5) $\frac{1}{3} N$.
8. Что определяет значение энергии Ферми?
- 1) Число электронов.
 - 2) Валентность металла.
 - 3) Размеры кристалла.
 - 4) Плотность электронов.
 - 5) Концентрация электронов.
9. Закон дисперсии вблизи границы зоны Бриллюэна:
- 1) Такой же, как и в центре зоны.
 - 2) Кривая, описывающая закон дисперсии перпендикулярна границе зоны.
 - 3) Кривая, описывающая закон дисперсии, образует положительный угол с границей.
 - 4) Кривая, описывающая закон дисперсии, образует отрицательный угол.
 - 5) Кривая, описывающая закон дисперсии, параллельна границе.

Вариант 6

1. Значением какого параметра задается минимальная энергия, которой может обладать электрон в металле?
 - 1) Фермиевской скоростью.
 - 2) Размером кристалла.
 - 3) Размером атома.
 - 4) Массой электрона.
 - 5) Межатомным расстоянием.
2. Почему потенциал взаимодействия электрона с ионами в металле оказывается малым?
 - 1) Из-за экранировки иона электронами.
 - 2) Из-за фриделевских осцилляций.
 - 3) Из-за периодичности потенциала.
 - 4) Ввиду больших значений скоростей фермионов.
 - 5) Из-за малости разности кинетической и потенциальной энергий электрона.
3. Почему волновые вектора электронов в поле периодического потенциала не могут принимать любые значения ниже $2\pi/L$?
 - 1) Значение импульса ограничено размерами кристалла.
 - 2) Ввиду многозначности импульса.
 - 3) Вследствие периодичности потенциала.
 - 4) Значение импульса ограничено межатомным расстоянием.
 - 5) Из-за дискретности спектра.
4. Сферы Ферми трехвалентного металла заполняют:
 - 1) Зону Бриллюэна.
 - 2) Две зоны Бриллюэна.
 - 3) Полторы зоны Бриллюэна.
 - 4) Три зоны Бриллюэна.
 - 5) Половину зоны Бриллюэна.
5. Как отличается температурный коэффициент электросопротивления металла в жидком состоянии от температурной зависимости электросопротивления в твердом состоянии?
 - 1) Не отличается.
 - 2) В жидком больше, чем в твердом.
 - 3) Определяется ходом изменения теплового расширения.
 - 4) В жидком меньше, чем в твердом.
 - 5) Определяется ходом изменения теплоемкости.
6. Как отличается закон дисперсии электрона в поле периодического потенциала от закона дисперсии свободного электрона в пределах зоны Бриллюэна?
 - 1) Отличается незначительно.
 - 2) Отличается существенно.
 - 3) Не отличается.
 - 4) Отличается в пределе больших энергий.
 - 5) Отличается в пределе малых энергий.
7. Зависимость электросопротивления от силы межатомного взаимодействия:
 - 1) Однозначная обратная пропорциональность.
 - 2) Однозначная прямая пропорциональность.

- 3) Неоднозначная прямая пропорциональность.
 - 4) Неоднозначная обратная пропорциональность.
 - 5) Не зависит.
8. Какой объем приходится на разрешенное состояние волнового вектора?
- 1) $2/3 k_F$; 2) $(\pi/L)^3$; 3) $(2\pi/L)^3$; 4) $2\pi/V$; 5) $(2\pi)^3/L$
9. Фриделевские осцилляции являются результатом:
- 1) Осцилляций электрона вблизи иона.
 - 2) Интерференцией быстрых электронов в решетке.
 - 3) Корпускулярно-волновым дуализмом свойств электрона.
 - 4) Периодичностью потенциала.
 - 5) Экранировкой ионов электронами.

ВАРИАНТ 7

1. Что понимается под интервалом физически значимых волновых векторов?
 - 1) Зона разрешенных значений энергий.
 - 2) Зона Бриллюэна.
 - 3) Зона запрещенных значений энергий.
 - 4) Интервал волновых векторов, отличающихся на $2\pi/a$.
 - 5) $0 \div k_F$.
2. Отличается ли характер рассеяния электронов на тепловых колебаниях атомов в твердом и жидком состояниях металла?
 - 1) Отличается незначительно.
 - 2) Отличается существенно.
 - 3) Не отличается.
 - 4) Зависит от скачка объема при плавлении.
 - 5) Зависит от концентрации электронов в твердом и жидком состояниях.
3. Каким параметром определяется кратность импульса электрона в металле?
 - 1) Энергией Ферми.
 - 2) Размером металлического образца.
 - 3) Размером атомов.
 - 4) Межатомным расстоянием.
 - 5) Плотностью металла.
4. Теорема Блоха:
 - 1) Волновое уравнение с периодическим потенциалом имеет вид произведения функции плоской волны на функцию периодическую с периодом решетки.
 - 2) Собственные функции волнового уравнения с периодическим потенциалом имеют вид произведения функции плоской волны на функцию потенциала - периодическую в решетке кристалла.
 - 3) Собственные функции периодические с периодом кристалла имеют вид функции плоской волны на функцию, описывающую периодический потенциал.
 - 4) Собственные функции волнового уравнения имеют вид произведения плоской волны на функцию, описывающую периодичность потенциала кристалла.
 - 5) Волновое уравнение с периодическим потенциалом имеет вид произведения периодической функции плоской волны на периодическую функцию потенциала.
5. Параметр, определяющий зону Бриллюэна:
 - 1) Энергия Ферми.
 - 2) Межатомное расстояние.

- 3) Размер кристалла.
 - 4) Импульс Ферми.
 - 5) Волновой вектор Ферми.
6. Чему обязана периодичность закона дисперсии электронов в зависимости от импульса?
- 1) Многозначности волнового вектора.
 - 2) Принципу Паули.
 - 3) Волновым свойствам электронов.
 - 4) Импульсу Ферми.
 - 5) Величине псевдопотенциала.
7. Чем определяется число занятых энергетических состояний?
- 1) $ZN/2$; 2) $2ZN$; 3) ZN ; 4) $Z N e^{-\frac{\epsilon F}{K_B T}}$; 5) $Z N e^{\frac{\epsilon_n - \epsilon_F}{K_B T}}$
8. Предельная энергия, теряемая электроном при взаимодействии с фононом равна:
- 1) Максимальной энергии Ферми.
 - 2) Максимальному значению энергии колебаний ионов.
 - 3) Значению тепловой энергии электрона.
 - 4) Разности значений энергии Ферми и максимальной энергии атома.
 - 5) Суммарной тепловой энергии электрона и фонона.
9. Упрощения, используемые при рассмотрении приближения свободных электронов:
- 1) Рассматривается электрон в потенциальной яме.
 - 2) Пренебрегают потенциалом взаимодействия электрона с ионом.
 - 3) Пренебрегают энергией, необходимой для вырывания электрона из металла.
 - 4) Пренебрегают суммарной потенциальной энергией электрона.
 - 5) Рассматривается движение электрона в поле ионов, экранированных остальными электронами.

Вариант 8

1. Почему импульсы электронов в металле не могут принимать любые значения?
 - 1) Из-за взаимодействия с ионами.
 - 2) Из-за взаимодействия с поверхностью металла.
 - 3) Из-за периодичности потенциала.
 - 4) Из-за ограниченности размеров кристалла.
 - 5) Из-за проявления волновой природы электронами.
2. Интервал запрещенных значений энергий определяется:
 - 1) Энергией Ферми.
 - 2) Периодом изменения потенциала.
 - 3) Типом связи.
 - 4) Псевдопотенциалом.
 - 5) Размером кристалла.
3. Размеры зоны Бриллюэна определяется:
 - 1) Числом энергетических состояний.
 - 2) Числом физически значимых импульсов.
 - 3) Размером обратной решетки.
 - 4) Размером прямой решетки.
 - 5) Размером поверхности Ферми.
4. Теплопроводность металлов определяется:

- 1) Электронами.
 - 2) Меньше электронами, больше фононами.
 - 3) Больше электронами, меньше фононами.
 - 4) Электронами и фононами в равной мере.
 - 5) Фононами.
5. Почему энергетический спектр электронов имеет запрещенные значения энергий для электронов?
- 1) Из-за различия зарядов ионов и электронов.
 - 2) Из-за сильной подвижности электронов.
 - 3) Из-за многозначности волнового вектора.
 - 4) Из-за дифракции электронов на решетке ионов.
 - 5) Из-за периодичности потенциала.
6. Чем различаются интерпретации физических свойств металлов в рамках квантовых и классических представлений?
- 1) Величиной подвижности электронов.
 - 2) Числом электронов, формирующих свойства металлов.
 - 3) Разностью величин подвижности электронов и ионов.
 - 4) Представлениями о длине свободного пробега.
 - 5) Представлениями об эффективной массе.
7. Что понимается под зоной Бриллюэна?
- 1) Интервал, определяемый величиной ϵ_F .
 - 2) Интервал, определяемый величиной $2\pi/a$.
 - 3) Интервал, определяемый величиной $2\pi/L$.
 - 4) Интервал, определяемый величиной k_F .
 - 5) Интервал, определяемый величиной P_F .
8. Что наделяет металл специфическими электронными свойствами?
- 1) Свободные электроны.
 - 2) Валентные электроны.
 - 3) Обобществленные электроны.
 - 4) Электроны проводимости.
 - 5) Связанные электроны.
9. Какие основные упрощения используются при рассмотрении приближения почти свободных электронов?
- 1) Малость потенциала взаимодействия электрона с ионом.
 - 2) Блоховская функция.
 - 3) Одноэлектронное приближение.
 - 4) Строгая периодичность потенциала.
 - 5) Адиабатическое приближение.

Правильные ответы на тестовые вопросы
к курсу “Электронная структура и свойства металлов”

№ вопроса вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	2	3	3	4	5	2	2
2	1	5	4	3	5	5	3	5	3
3	2	4	3	2	2	1	4	3	2
4	3	2	4	2	4	1	5	4	1

5	2	2	3	2	3	3	2	5	2
6	2	5	1	3	4	4	1	3	2
7	2	3	2	2	2	1	1	2	4
8	4	4	3	3	4	2	2	3	1

7.3.2. «Энергетический спектр фононов и тепловые свойства»

ВАРИАНТ 1

1. Полная энергия колебаний кристаллической решетки равна:

1) $E=1/4M\omega^2\xi^2$; 2) $E=1/2M\omega^2\xi^2$; 3) $E=M\omega^2\xi^2$; 4) $E=3/2M\omega^2\xi^2$; 5) $E=1/3M\omega^2\xi^2$,
где M , ω , ξ - масса, частота и амплитуда колебаний атомов.

2. Как связаны между собой фазовая и групповая скорости для двухатомной цепочки в длинноволновом пределе?

1) $v_{гр} = v_{ф}$; 2) $v_{ф} = 1/2 v_{гр}$; 3) $v_{ф} = 2 v_{гр}$; 4) $v_{ф} = 1/3 v_{гр}$; 5) $v_{ф} = 3/2 v_{гр}$.

3. Оптические колебания атомов возникают:

- 1) В цепочке, состоящей из атомов 2^x сортов.
- 2) В цепочке, состоящей из атомов 1^{Γ_0} сорта под действием облучения.
- 3) В цепочке, состоящей из атомов 1^{Γ_0} сорта, при температурах выше T_D .
- 4) В цепочке, состоящей из атомов 1^{Γ_0} сорта вблизи температуры плавления.
- 5) В кристалле, подвергнутом деформации сжатия.

4. В теории Дебая частота колебаний:

- 1) Одинакова для всех атомов при любой температуре.
- 2) Меняется от 0 и ограничена ω_D .
- 3) Имеет столько значений, сколько атомов в единице объема вещества.
- 4) Ниже T_D все атомы колеблются с частотой ω_1 , выше T_D - с частотой ω_2 .
- 5) Все атомы колеблются с нулевой частотой.

5. Теплоемкость твердых в теории Дебая при низких температурах изменяется пропорционально:

1) $C_v \sim T^2$; 2) $C_v \sim T^4$; 3) $C_v \sim \exp T_D / T$; 4) $C_v \sim T^3$; 5) $C_v \sim T$.

6. Коэффициент теплопроводности численно равен:

- 1) Градиенту температуры на образце.
- 2) Количеству теплоты, необходимому для нагревания тела на 1° .
- 3) Количеству теплоты, проходящему через поперечное сечение образца.
- 4) Произведению плотности вещества на теплоемкость.
- 5) Количеству теплоты, проходящему через единичное поперечное сечение образца в единицу времени при градиенте температуры, равном 1.

7. Истинное значение линейного коэффициента теплового расширения равно:

1) $\alpha = \Delta l / l$; 2) $\alpha = \Delta l / (l \Delta P)$; 3) $\alpha = da / (a dT)$; 4) $\alpha = \Delta l / (l \Delta T)$; 5) $\alpha = dV / (V dT)$; где a - межатомное расстояние, l - размер образца, T - температура, P - давление.

ВАРИАНТ 2

1. Число возбуждений в кристалле равно:

- 1) Числу атомов в единице объема N ;
- 2) $3N$; 3) $N/2$; 4) $N/3$; 5) N_A/N , где N_A - число Авогадро.

2. Среднее значение скорости звука для изотропных кубических кристаллов равно:

- 1) $v_{cp} = 2v_{\perp} + v_{\parallel}$; 2) $v_{cp} = (v_{\perp} + v_{\parallel})/2$; 3) $v_{cp} = \sqrt{v_{\perp} v_{\parallel}}$; 4) $v_{cp} = \sqrt{2v_{\perp} v_{\parallel}}$;
5) $v_{cp} = (2v_{\perp} + v_{\parallel})/3$.

3. Максимальная частота колебаний атомов в теории Дебая равна:

- 1) $\omega = v_{зв}(6\pi^2 N/V)$; 2) $\omega = v_{зв}(6\pi^2 N/V)^{1/2}$; 3) $\omega = v_{зв}(6\pi^2 N/V)^{1/3}$;
4) $\omega = v_{зв}^2(6\pi^2 N/V)$; 5) $\omega = v_{зв}(6N/V)^{1/3}$;

4. Функция плотности состояний в теории Эйнштейна имеет вид:

- 1) вертикальной прямой; 2) синусоиды; 3) экспоненты; 4) параболы; 5) гиперболы.

5. Тепловое расширение твердых тел обусловлено:

- 1) Нарастанием числа вакансий.
2) Наличием ангармонизма колебаний атомов.
3) Существованием параметра квазиупругой связи.
4) Наличием градиента температуры в образце.
5) Изменением теплоемкости вещества с изменением температуры.

6. Теплоемкость в теории Дебая при высоких температурах $T > T_D$

- 1) $C_p \sim T$; 2) $C_p \sim T^2$; 3) $C_p = \text{const}$; 4) $C_p \sim T^{-1}$; 5) $C_p \sim T^3$.

7. Теплопроводность решетки в области высоких температур меняется по закону:

- 1) $\lambda \sim T^3$; 2) $\lambda \sim \exp T_D / T$; 3) $\lambda \sim T^{-1}$; 4) $\lambda \sim T$; 5) $\lambda \sim T^{1/2}$.

ВАРИАНТ 3

1. Что означает условие $\partial\omega / \partial k = 0$?

- 1) В кристалле возбуждены только длинноволновые колебания.
2) Соседние атомы колеблются в противофазе.
3) Условие затухания упругой волны.
4) В кристалле отсутствуют длинноволновые колебания.
5) Упругих колебаний нет вообще.

2. Функция плотности состояний $D(\omega) = f(\omega)$ в теории Дебая имеет вид:

- 1) прямой; 2) синусоиды; 3) экспоненты; 4) $D(\omega) \sim \omega^2$; 5) $D(\omega) \sim \omega^3$.

3. Центр масс длинноволновых оптических мод:

- 1) Смещается в сторону тяжелого атома.
2) Смещается в сторону легкого атома.
3) Смещается вместе с атомами элементарной ячейки.
4) Изменяет свое положение по закону синуса.
5) Изменяет свое положение случайным образом.

4. Теплоемкости при постоянном давлении и объеме связаны соотношением:

- 1) $C_p = C_v(1 + \gamma\beta T)$; 2) $C_p = C_v(1 + \gamma\beta T)^{-1}$; 3) $C_p = C_v$;
4) $C_p = C_v\gamma$; 5) $C_p = C_v/\gamma$, где γ - параметр Грюнайзена, β - КТР.

5. Микроскопическая теория теплового расширения:

- 1) Не описывает ход температурной зависимости КТР при $T > T_D$.
2) Описывает ход температурной зависимости при $T < T_D$.
3) Не описывает ход температурной зависимости КТР.
4) Описывает температурную зависимость КТР от $\sim 0\text{K}$ до $T_{пл}$.
5) Описывает зависимость КТР от давления.

6. Чему равен дебаевский волновой вектор кремния, если его атомная плотность равна $5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$?

- 1) $1,43 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-1}$; 2) $5,0 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}$; 3) $4,3 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$; 4) $2,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}^{-1}$; 5) $3 \cdot 10^{-1} \text{ м}^{-1}$;

7. Закон Фурье записывается в виде:

- 1) $\alpha = L^2/\tau$; 2) $Q/s\tau = -\lambda \text{ grad } T$; 3) $Q/s = \lambda \text{ grad } T$; 4) $\lambda = 1/3C_v v l$; 5) $Q/s\tau = -T \text{ grad } \lambda$. Где α - температуропроводность, λ - теплопроводность, v - скорость звука, τ - время, s - площадь сечения, L - длина образца, Q - количество теплоты.

ВАРИАНТ 4

1. Максимальное значение волнового вектора равно:

- 1) $2\pi/L$; 2) π/L ; 3) $\pm 2\pi/\alpha_0$; 4) $\pm \pi/\alpha_0$; 5) $\pm 3/2\pi/\alpha_0$,

где L - длина образца, α - межатомное расстояние.

2. Какие волны не переносят энергию?

- 1) Бегущие; 2) Стоячие; 3) Продольные; 4) Короткие; 5) Длинные.

3. Температура Дебая - это:

- 1) Температура, при которой поляризуемость диэлектриков обращается в 0.
2) Половина температуры плавления.
3) Температура перехода вещества в сверхпроводящее состояние.
4) Температура, при которой снимается "вырождение" электронного газа.
5) Температура, при которой возбуждаются колебания со всевозможными частотами от ω_{\min} до ω_{\max} .

4. Параметр Грюнайзена показывает:

- 1) Относительное изменение температуры при относительном изменении давления.
2) Относительное изменение объема при относительном изменении давления.
3) Относительное сжатие тела при относительном растяжении.
4) Относительное изменение частоты колебаний при относительном изменении объема.
5) Изменение энтропии с температурой при постоянном объеме.

5. Функция спектральной плотности состояний в теории Дебая $D(\omega)$ определяет:

- 1) Плотность заполнения спектрального участка от ω до $\omega+d\omega$.
2) Определяет среднее число возбужденных квантов.
3) Вероятность того, что колебания с частотой ω_i имеет энергию ϵ_i
4) Среднее значение энергии осцилляторов при некоторой температуре.
5) Концентрацию фононов при данной температуре.

6. Теплоемкость в теории Эйнштейна при низких температурах пропорциональна:

- 1) $C_v \sim T$; 2) $C_v \sim T^3$; 3) $C_v \sim T^4$; 4) $C_v \sim \exp(-h\nu/k_B T)$; 5) $C_v \sim (T/T_0)^2$.

7. Теплосоппротивление - это:

- 1) Величина, обратная теплопроводности.
2) Произведение электросопротивления на температуру.
3) Относительное изменение размеров тела при изменении температуры.
4) Скорость распространения изотермических поверхностей по кристаллу.
5) Величина, численно равная перепаду температур на концах образца.

ВАРИАНТ 5

1. Чему равен импульс фонона?

1) $P = \hbar k$; 2) $P = h\nu$; 3) $P = kT$; 4) $P = 2\pi/\lambda$; 5) $P = \omega/K$.

2. Частота колебаний одноатомной цепочки сверху ограничена значением:

1) $\omega = 2\sqrt{\frac{\beta}{m}} \sin \frac{k\alpha}{2}$; 2) $\omega = 2\sqrt{\frac{\beta}{m}} \sin k\alpha$; 3) $\omega = 2\sqrt{\frac{\beta}{m}}$;
 4) $\omega = 2\sqrt{\frac{\beta}{m+M}}$; 5) $\omega = \alpha \left(\sqrt{\frac{\beta}{m}} \right) k$

3. В каком интервале расположены все физически значимые волновые вектора:

1) от $-\pi/L$ до $+\pi/L$; 2) от $-\pi/L$ до 0; 3) от 0 до π/L ; 4) от π/L до π/α ;
 5) от $-\pi/\alpha$ до $+\pi/\alpha$. Где α - межатомное расстояние, L - длина образца.

4. Физический смысл постоянной Больцмана в том, что это

- 1) Количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1 К.
- 2) Количество теплоты, необходимое для изменения температуры 1 моля вещества на 1 К.
- 3) Количество теплоты, необходимое для изменения температуры 1 м³ вещества на 1 К.
- 4) Теплоемкость, приходящая на 1 атом.
- 5) Количество тепловой энергии, приходящееся на 1 степень свободы атома при изменении температуры системы на 1 К.

5. Из микроскопической теории теплового расширения следует, что

1) $\beta \sim T^2$ во всем интервале температур; 2) β не зависит от температуры;
 3) $\beta \sim T^{-1}$; 4) $\beta \sim T^3$; 5) $\beta \sim \exp T$.

6. Что означает тот факт, что в длинноволновом пределе массы 2-х атомов заменяются их среднеарифметическим значением?

- 1) Решетка обладает свойствами сплошного тела при распространении длинных волн.
- 2) Массы атомов мало отличаются друг от друга.
- 3) Частота колебаний не зависит от номера атома.
- 4) Отсутствие оптических мод колебаний.
- 5) Центр масс атомов неподвижен.

7. Решеточная теплопроводность в области низких температур пропорциональна:

1) $\lambda \sim T^2$; 2) $\lambda \sim T^{-1}$; 3) $\lambda \sim T^3$; 4) $\lambda \sim T$; 5) $\lambda \sim T^3 \exp(-T_D/T)$.

Правильные ответы на тестовые вопросы по теме “Энергетический спектр фононов и тепловые свойства”.

Вопрос	1	2	3	4	5	6	7
вариант							
1	2	1	1	2	4	5	3
2	2	5	3	1	2	3	3
3	2	4	3	1	3	1	2
4	4	2	5	4	1	4	1
5	1	3	5	5	2	1	5

7.4. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Примерная оценка по 100 бальной шкале форм текущего и промежуточного контроля

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

Лекции - Текущий контроль включает:

- | | |
|--|-------------|
| ▪ посещение занятий | __10__ бал. |
| ▪ активное участие на лекциях | __15__ бал. |
| ▪ устный опрос, тестирование, коллоквиум | __60__ бал. |
| ▪ и др. (доклады, рефераты) | __15__ бал. |

Практика (р/з) - Текущий контроль включает:

(от 51 и выше - зачет)

- | | |
|---|-------------|
| ▪ посещение занятий | __10__ бал. |
| ▪ активное участие на практических занятиях | __15__ бал. |
| ▪ выполнение домашних работ | __15__ бал. |
| ▪ выполнение самостоятельных работ | __20__ бал. |
| ▪ выполнение контрольных работ | __40__ бал. |

Эти критерии носят в основном ориентировочный характер. Если в билете имеются задачи, они могут быть более четкими.

Шкала диапазона для перевода рейтингового балла в «5»-бальную систему:

- «0 – 50» баллов – неудовлетворительно
- «51 – 65» баллов – удовлетворительно
- «66 - 85» баллов – хорошо
- «86 - 100» баллов – отлично
- «51 и выше» баллов – зачет

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

Литература

8.1. Основная литература

1. Брандт Н.Б., Чудинов С.М. Экспериментальные методы исследования энергетических спектров электронов и фононов в металлах.- М.: МГУ.- 1980.
2. Займан Дж. Принципы теории твердого тела.- М.: Мир.- 1974.
3. Займан Дж. Электроны и фононы. – М.: ИЛ.- 1962.
4. Блатт Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах. – М.: Мир.- 1971.
5. Блейкмор Дж. Физика твердого тела.- М.: Мир.- 1988.
6. Берман Р. Теплопроводность твердых тел.- М.: Мир.- 1979.
7. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела.- М.: Наука.- 1978.
8. Анималу А. Квантовая теория кристаллических твердых тел.- М.: Мир.- 1981.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. - М.: Наука, 1985.
10. Кацнельсон А.А. Введение в физику твердого тела.- М.: Изд-во МГУ, 1984.
11. Рейсленд Дж. Физика фононов.- М.: Мир, 1975.
12. Жирифалько Л. Статическая теория твердого тела. - М.: Мир, 1975.
13. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. - М.: Наука, 1964.
14. Новикова С.И. Тепловое расширение твердых тел. - М.: Наука, 1974.
15. Могилевский Ф.М., Чудновский А.Ф. Теплопроводность полупроводников. - М.: Наука, 1972.

8.2. Дополнительная литература

1. Френкель Я.И. Введение в теорию металлов.- Л.: Наука.- 1972.
2. Харрисон У. Псевдопотенциалы в теории металлов.- М.: Мир.- 1968.
3. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т.1.- М.: Мир.- 1979.
4. Гроссе П. Свободные электроны в твердых телах. М.: Мир.- 1982.
5. Вакс В.Г. Межатомные взаимодействия и связь в твердых телах.
6. М.: ИздАТ-2002.
7. Задачи по физике твердого тела/под ред. Г.Дж.Гольдсмита. – М.: Наука.- 1976.
8. Варикаш В.М., Хачатрян Ю.М. Избранные задачи по физике твердого тела.- Минск: Высшая школа.- 1969.
9. Палчаев Д.К. Электронная структура и свойства металлов (методическая разработка)-Махачкала, ДГУ-1993.
10. Арсентьев П.П. Коледов Л.А. Металлические расплавы и их свойства М.: Металлургия-1976
11. Палчаев Д.К., Мурлиева Ж.Х., Палчаева Х.С. Тепловые свойства твердых тел: Методическая разработка к лабораторным работам. – Махачкала, 2003.
12. Палчаев Д.К., Мурлиева Ж.Х. Энергетический спектр фононов и тепловые свойства твердых тел. Учебное пособие. – Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2014 . – 81 с.

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. Международная база данных Scopus по разделу физика столкновений и элементарные процессы <http://www.scopus.com/home.url>
2. Научные журналы и обзоры издательства Elsevier по тематике элементарные процессы <http://www.sciencedirect.com/>
3. Ресурсы Российской электронной библиотеки www.elibrary.ru, включая научные обзоры журнала Успехи физических наук www.ufn.ru
4. Региональный ресурсный Центр образовательных ресурсов <http://trc.dgu.ru/>
5. Электронные ресурсы Издательства «Лань» <http://e.lanbook.com/>
6. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
7. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
8. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредагентства (<http://www.fepo.ru/>)
9. Физика [Электронный ресурс]: реф. журн. ВИНТИ. № 7 - 12, 2008 / Всерос. ин-т науч. и техн. информ. - М.: [Изд-во ВИНТИ], 2008.
10. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
11. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>
12. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу **Научной электронной библиотеки elibrary.ru**).
13. Федеральный центр образовательного законодательства. <http://www.lexed.ru>
14. Научная электронная библиотека РФФИ (Elibrary) (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>)
15. <http://www.sciencedirect.com> — база данных журналов издательства Эльзевир.
16. <http://publish.aps.org/> — журналы Американского физического общества
17. <http://journals.aip.org/> - журналы Американского института физики
18. <http://aps.arxiv.ru/> / - архив электронных препринтов по физике, математике и компьютерным наукам
19. <http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/> — электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.

20. <http://www.phys.spbu.ru/library/> электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.
21. <http://www.phys.spbu.ru/library/elibrary/> — некоторые вузовские учебники (электронный вариант).
22. Университетская информационная система Россия (<http://uisrussia.msu.ru/>).

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Перечень учебно-методических материалов, предоставляемых студентам во время занятий:

- рабочие тетради студентов;
- наглядные пособия;
- словарь терминов по физике конденсированного состояния;
- тезисы лекций,
- раздаточный материал по тематике лекций.

Самостоятельная работа студентов:

- проработка учебного материала (по конспектам лекций учебной и научной литературе) и подготовка докладов на семинарах и практических занятиях;
- поиск и обзор научных публикаций и электронных источников по тематике дисциплины;
- выполнение курсовых работ;
- написание рефератов;
- работа с тестами и вопросами для самопроверки;

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

1. Программное обеспечение для лекций: MS PowerPoint (MS PowerPointViewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, табличный процессор.
2. Программное обеспечение в компьютерный класс: MS PowerPoint (MS PowerPointViewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, Интернет, E-mail.

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Чтение лекций по спецкурсу сопровождается демонстрацией различных наглядных пособий в виде презентаций, рисунков и т.д. При проведении занятий используются компьютерный класс, оснащенный современной компьютерной техникой. Для математической обработки результатов лабораторных работ (с поименной распечаткой полученных результатов на принтере) используется компьютер с соответствующими программами. Программа допускает студентов к обработке результатов, если даны только правильные ответы на все контрольные вопросы к данной работе. Кроме этого имеется компьютерная программа для тестового контроля остаточных знаний, указывающая на неправильные ответы, тем самым являющаяся не только контролирующей, но и обучающей.

Закрепление теоретического материала и приобретение практических навыков использования аппаратуры для исследования кинетических и равновесных проводится на сертифицированных установках и современном оборудовании отечественных и зарубежных производителей в специализированных лабораториях.