

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила
Канта»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Физика конденсированного состояния»**

для программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в
аспирантуре

1.3.8 Физика конденсированного состояния

Калининград
2024

Лист согласования

Составитель: Куприянова Г.С., д.ф.-м.н., профессор ОНК «Институт высоких технологий»

Рабочая программа утверждена на заседании
Ученого совета ОНК «Институт высоких технологий»

Протокол № 13 от «31» 01.2024 г.

Председатель Ученого совета
ОНК «Институт высоких технологий»
Профессор, д.ф.-м.н.

Юров А.В.

Содержание

1	Общая характеристика дисциплины	5
2	Объём дисциплины	5
3	Содержание дисциплины	6
4	Учебно-тематический план дисциплины	7
5	Учебно-методическое сопровождение самостоятельной работы обучающихся	7
6	Оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся	10
7	Критерии оценивания результатов контрольно-оценочных мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине	13
8	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	13
9	Материально-техническое обеспечение дисциплины	15

1. Общая характеристика дисциплины

Учебная дисциплина «**Физика конденсированного состояния**» относится к числу дисциплин, направленных на подготовку и сдачу кандидатских экзаменов по научной специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

Изучение учебной дисциплины «**Физика конденсированного состояния**» базируется на знаниях и умениях, полученных аспирантами ранее в ходе освоения программного материала других учебных дисциплин.

Цель изучения дисциплины:

Подготовка к сдаче кандидатского экзамена, который представляет собой форму оценки степени подготовленности аспиранта к проведению научных исследований по научной специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

Подготовка научных и научно-педагогических кадров высшей квалификации с углубленными знаниями в области физики конденсированного состояния, способных самостоятельно проводить научные исследования, связанные с физикой конденсированного состояния.

Задачи дисциплины:

1. Формирование углубленных фундаментальных знаний о физике конденсированного состояния.

2. Формирование навыков теоретического анализа результатов экспериментальных исследований в области физики конденсированного состояния. методов планирования эксперимента и обработки результатов, систематизирования и обобщения как уже имеющейся в литературе, так и самостоятельно полученной в ходе исследований информации.

3. Формирование умений и навыков самостоятельной научной (научно-исследовательской) деятельности по научной специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

Язык реализации дисциплины – русский.

2. Объём дисциплины

Вид учебной работы	Всего, час.	Объём по семестрам	
		3	4
Контактная работа обучающегося с преподавателем по видам учебных занятий (КР):	72	36	36
<i>Лекционные занятия (Л)</i>	48	24	24
<i>Семинарские/ Практические занятия (СПЗ)</i>	24	12	12
Самостоятельная работа обучающегося, в том числе подготовка к промежуточной аттестации (СР)	90	36	54
Вид промежуточной аттестации: Зачет (З), Зачет с оценкой (ЗО), Экзамен (Э), Кандидатский экзамен (КЭ)	18		18 КЭ
Общий объём	В часах	180	72 108

	В зачетных единицах	5	2	3
--	---------------------	---	---	---

3. Содержание дисциплины

№ пп	Наименование раздела/ темы	Содержание темы
1	Тема 1: Электронная структура вещества.	Введение. Электронная структура атома. Свободный электрон. Решение уравнения Шредингера для электрона. Электрон в потенциальном ящике. Туннельный эффект. Электрон в периодическом поле кристалла. Энергетические зоны в кристаллах. Кристаллическая структура твердых тел. Химические связи. Основные типы химической связи между атомами в кристаллах.
2	Тема 2: Симметрия молекул и кристаллов	Преобразования симметрии. Операции симметрии. Общие свойства групп симметрии. Классификация групп симметрии. Соответствие между молекулами и группами симметрии. Симметрия потенциальной и кинетической энергий. Симметрия кристаллической решетки. Элементы симметрии кристалла. Сингонии и кристаллические классы
3	Тема 3: Дифракция на кристаллах	Дифракция излучений частиц на кристаллической решетке. Обратная решетка. Построение Эвальда. Обратная решетка поликристалла. Зоны Бриллюэна. Структурный фактор базиса. Атомный фактор рассеяния.
4	Тема 4: Электронные свойства твердых тел	Электрические свойства твердых тел. Классическая электронная теория проводимости. Квантомеханическая теория проводимости. Зона Бриллюэна. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Свободные электроны. Дифракция валентных электронов
5	Тема 5: Магнитные свойства вещества	Намагниченность и восприимчивость. Ферромагнетизм. Ферромагнитные домены. Спиновые волны. Экспериментальные методы исследования магнитных свойств вещества. Аномальный эффект Холла
6	Тема 6: Магнитные фазовые переходы	Общая информация. Введение. Сенсоры и актуаторы. Прямое преобразование тепловой энергии в механическую энергию. Прямое преобразование тепловой энергии в электрическую энергию. Магнитное охлаждение.
7	Тема 7. Сверхпроводимость	Сверхпроводимость. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание.

4. Учебно-тематический план дисциплины

Номер раздела, темы	Наименование разделов, тем	Количество часов					Форма контроля
		Всего	КР	Л	СПЗ	СР	
	Семестр 1	72	36	24	12	36	
1	Тема 1: Электронная структура вещества.	24	12	8	4	12	
2	Тема 2: Симметрия молекул и кристаллов	24	12	8	4	12	
3	Тема 3: Дифракция на кристаллах	24	12	8	4	12	
4	Семестр 2	90	36	24	12	54	КЭ
5	Тема 4: Электронные свойства твердых тел	23	9	6	3	14	
6	Тема 5: Магнитные свойства вещества	23	9	6	3	14	
7	Тема 6: Магнитные фазовые переходы	22	9	6	3	13	
8	Тема 7. Сверхпроводимость	22	9	6	3	13	
	Общий объем	180	72	48	24	90	18

5. Учебно-методическое сопровождение самостоятельной работы обучающихся

Цель самостоятельной работы обучающихся заключается в глубоком, полном усвоении учебного материала и в развитии навыков самообразования. Самостоятельная работа может включать: работу с текстами, литературой, учебно-методическими пособиями, нормативными материалами, в том числе материалами сети интернет, а также проработку конспектов лекций, подготовка презентаций, рефератов, участие в работе семинаров, научных конференциях и пр.

Примерный перечень тем презентаций

1. Методы расчета электронной структуры (выбор структуры может быть сделан самим аспирантом)
2. Аномальный эффект Холла. Электрические свойства наноструктур. (структуры могут быть выбраны аспирантом)
3. Методы достижения сверхнизких температур (0,001 К).
4. Доменная структура. Ферромагнетики. Мультиферроики.
5. Магнитокалорический эффект. Термомагнитные циклы прямого преобразования тепловой энергии в механическую энергию, оценка их эффективности
6. Особенности ФМР для исследования многослойных структур.

Примерный перечень заданий к обсуждению в рамках круглого стола

Примеры задач для промежуточной аттестации.

Задача 1. Пусть энергия частицы в поле другой частицы зависит от расстояния между центрами этих частиц следующим образом:

$$U(r) = - \frac{\alpha}{r} + \frac{\beta}{r^8},$$

где α и β - постоянные. Показать, что:

1. Показать, что эти две частицы образуют стабильное соединение при $r = r_0 = (8\beta/\alpha)^{1/7}$;
2. Показать, что в случае образования стабильной конфигурации энергия притяжения в 8 раз больше энергии отталкивания;
3. Показать, что полная потенциальная энергия двух частиц при стабильной конфигурации

$$U_{\text{ст}} = - \frac{7}{8} \left(\frac{\alpha^8}{8\beta} \right)^{1/7} = - \frac{7\alpha}{8r_0};$$

4. Показать, что если разделять частицы, то молекула разорвется, как только будет достигнуто расстояние R , где

$$R = \left(\frac{36\beta}{\alpha} \right)^{1/7} = 4,5^{1/7} r_0.$$

Задача 2. Известно, что в кристалле, в котором связи обусловлены силами Ван-дер-Ваальса, равновесное межатомное расстояние $r_0 = 1,50 \text{ \AA}$, а энергия на 10% меньше, чем в случае, когда учитываются только силы притяжения. Чему равна характерная длина ρ ,

входящая в выражение: $U = - \frac{A}{r^6} + B \exp\left(-\frac{r}{\rho}\right)$. ОТВЕТ: $\rho \approx 0,25 \text{ \AA}$.

Задача 3. Энергия взаимодействия между двумя атомами в молекуле зависит от расстояния следующим образом:

$$U(r) = - \frac{\alpha}{r^n} + \frac{\beta}{r^m}.$$

Межатомное расстояние в положении равновесия $r_0 = 3 \text{ \AA}$, энергия диссоциации (расщепления нейтральной молекулы на противоположно заряженные ионы) молекулы

$U_2 = -4$ эВ. Вычислить значения коэффициентов α и β , если $n=2$, $m=10$. Найти силы, стремящиеся вернуть атомы в положение равновесия при изменении межатомного расстояния r_0 на 10 %.

ОТВЕТ: $\alpha = 7,16 \cdot 10^{-38}$ Дж·м²; $\beta = 9,44 \cdot 10^{-115}$ Дж·м¹⁰; $F = 2,13 \cdot 10^{-9}$ Н.

Задача 4. Вычислить значение энергии кристаллической решетки NaCl, если постоянная n , характеризующая потенциал сил отталкивания, равна 9,4, а постоянная Маделунга 1,75. Постоянная решетки NaCl равна 2,81 Å.

ОТВЕТ: $U = 8,6 \cdot 10^{-5}$ Дж/моль.

Задача 5. Экспериментальное значение энергии сцепления KCl на молекулу равно 6,62 эВ. Вычислить n , считая $r_0 = 3,1$ Å и $\alpha = 1,75$.

ОТВЕТ: $n \approx 5,37$.

Задача 6. Показать, что модуль всестороннего сжатия кубической кристаллической

решетки $B = \frac{r_0^2}{9V} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} \right)_{r=r_0}$,

где r_0 - расстояние между атомами в состоянии равновесия, V - объем кристалла.

ОТВЕТ: $B = \frac{r_0^2}{9V} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} \right)_{r=r_0}$.

Задача 7. Вычислить энергию отталкивания для KCl, если энергия диссоциации равна (-4,40) эВ. Принять $r_0 = 2,79$ Å, энергию ионизации атома калия равной 4,34 эВ, энергию сродства атома хлора к электрону - (-3,82 эВ).

ОТВЕТ: $U_{от} = 0,24$ эВ.

Задача 8. Найти сжимаемость кристалла NaCl при 0К, считая, что показатель экспоненты, определяющий величину сил отталкивания, равен $m = 9,4$. Постоянная Маделунга для NaCl равна 1,75.

ОТВЕТ: $\alpha = 3,3 \cdot 10^{-11}$ м²/Н.

Задача 9. Рассмотреть к каким возможным последствиям для постоянной решетки, сжимаемости и энергии решетки, приведет удвоение заряда хлористого натрия, если считать, что потенциал отталкивания останется постоянным.

ОТВЕТ: Энергия решетки при увеличении заряда вдвое возрастет более чем в 4 раза, а сжимаемость уменьшится более чем в 4 раза.

Задача 10. Определить значение постоянной Маделунга для одномерной решетки, состоящей из последовательно чередующихся положительных и отрицательных ионов.

ОТВЕТ: $\alpha = 2 \ln 2 = 1,386$.

Задача 11. Получить выражение для модуля всесороннего сжатия кристалла с молярным объемом V_0 и общей энергией взаимодействия между атомами U_0 , считая, что энергия

взаимодействия между атомами определяется выражением $U(r) = - \frac{\alpha}{r^n} + \frac{\beta}{r^m}$.

ОТВЕТ: $|B| = |U_0| \cdot \frac{m}{9V_0}$.

Контроль самостоятельной работы осуществляется на семинарских (практических) занятиях

6. Оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся

Текущий контроль:

Примерный перечень вопросов устных опросов:

- 1) В чем суть валентного приближения в модели кристаллических сред?
- 2) В чем различие между молекулярными кристаллами и ионными?
- 3) О чем гласит теорема Блоха?
- 4) Как определяются Блоховские функции. Что такое квазиимпульс?
- 5) Что такое зона Бриллюэна? Как формируются энергетические зоны? В чем различие между металлами, диэлектриками, полупроводниками с точки зрения строения зон?
- 6) Что определяет главное квантовое число?
- 7) Что определяет граница ионизации?
- 8) Что такое вырожденное состояние?
- 9) Чем отличается спиновое квантовое число от орбитального квантового числа?
- 10) Из чего состоит полная энергия молекулы?
- 11) Каков порядок энергии движения электрона в кристаллах?
- 12) Как влияют внешние поля на положение уровней?
- 13) Как выглядит зона Бриллюэна для кубической решетки?
- 14) Как образуется ферми-поверхность?
- 15) Что такое энергия Ферми?
- 16) С точки зрения построения магнитных теплопреобразующих систем, почему важно знать, как ведут себя функции (показать графически) $j = f(H)$, $B = f(H)$, $\chi = f(H)$, $\chi = f(T)$ для а) диамагнетиков, б) парамагнетиков, в) ферромагнетиков и г) антиферромагнетиков?
- 17) Записать объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики для системы, находящейся в магнитном поле.
- 18) Что такое магнитокалорический эффект, написать основную формулу для расчета этого эффекта.
- 19) Почему магнитокалорический эффект в диамагнетиках отсутствует?

20) Использование магнитокалорического эффекта для получения сверхнизких температур. Циклы охлаждения путем адиабатического размагничивания парамагнитных солей.

21) Состояние и перспективы использования магнитного охлаждения при обычных температурах.

22) Магнитотепловой цикл и прямое преобразование тепловой энергии в механическую энергию.

23) Что такое эластокалорический эффект и каковы перспективы использования его в теплопреобразующих устройствах.

24) Что такое барокалорический эффект и каковы перспективы использования его в теплопреобразующих устройствах.

Перечень вопросов к кандидатскому экзамену:

1. Структура твердых тел: кристаллическая решетка, обратная решетка, экспериментальные методы исследования кристаллической структуры (дифракция рентгеновских лучей, рассеяние нейтронов), жидкие кристаллы; точечные дефекты, дислокации, планарные дефекты, объемные дефекты, классификация твердых тел по типу связи, химические и физические типы связи.

2. Фазовые равновесия и переходы: фазовые переходы в физике конденсированного состояния вещества, классификация фазовых переходов, примеры, Структурные фазовые переходы и фазовые превращения, кристаллизация, плавление, фазовые переходы металл-диэлектрик.

3. Динамика кристаллической решетки и тепловые свойства твердых тел: фононы, фононные спектры (теория и эксперимент), ветви колебаний, взаимодействие фононов, ангармонизм, модели Дебая и Эйнштейна, теплоемкость, тепловое расширение, теплопроводность решетки, методы измерения фононных спектров.

4. Электронные состояния в кристаллах: свободные электроны, теорема Блоха, понятие псевдопотенциала, зона Бриллюэна, зонная структура твердых тел, методы экспериментального исследования, циклотронный резонанс, эффект де-Газа-ван-Альфена, аннигиляция позитронов.

5. Термодинамика и статистика электронов в твердых телах: распределение Ферми для электронов, плотность состояний, электронная теплоемкость, статистика электронов и дырок в полупроводниках, собственный полупроводник, уровень Ферми, генерация и рекомбинация неравновесных носителей тока.

6. Зонная структура полупроводников, диэлектриков и полуметаллов: приближение эффективной массы, динамика электронов и дырок в полупроводниках, полуметаллы, диэлектрики, поляроны, экситоны, контактные явления.

7. Кинетические свойства твердых тел: электропроводность, гальваномагнитные (эффект Холла, магнетосопротивление), термоэлектрические явления, термомагнитные явления и термогальваномагнитные явления. Теплопроводность. Закон Видемана-Франца, квантовый эффект Холла.

8. Диффузия: атомная диффузия и дрейф, диффузия носителей заряда, соотношения Эйнштейна.

9. Экспериментальные методы исследования конденсированных сред. Магнитно-резонансная спектроскопия ЭПР, ЯМР, ЯКР. Релаксационные процессы. спин-спиновая и спин-решеточная релаксация. Оже-спектроскопия, Рамановское рассеяние. Рентгеновское рассеяние.

10. Сверхпроводимость: основные свойства сверхпроводников, глубина проникновения, длина когерентности, феноменологическая теория Гинзбурга-Ландау, сверхпроводники первого и второго рода, вихревые нити, энергетические щели, куперовские пары, теория Бардина-Купера-Шриффера (БКШ), туннельный эффект Джозефсона, высокотемпературная сверхпроводимость.

11. Статистика электронов и дырок в металлах и полупроводниках. Плотность квантовых состояний в зонах. Функция распределения Ферми-Дирака, степень заполнения примесных уровней. Собственный и примесной полупроводники. Невырожденный и вырожденный полупроводники. Зависимость положения уровня Ферми и концентрации носителей от температуры.

12. Контактные явления и поверхностные состояния в полупроводниках. Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки. Контакт электронного и дырочного полупроводников. Диод. Транзистор. Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля. Полевой транзистор.

13. Механизмы рассеяния носителей заряда. Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации, эффективное сечение рассеяния. Рассеяние на ионах примеси, на дислокациях. Рассеяние на тепловых колебаниях решетки. Междолинное рассеяние. Эффект Ганна.

14. Подвижность и электропроводность. Неравновесная функция распределения, удельная проводимость полупроводников. Зависимость подвижности от температуры. Электропроводность полупроводников в сильном электрическом поле. Туннельный эффект. Гальваномагнитные и термоэлектрические явления. Эффекты Холла, Зеебека, Пельтье. Генерация и рекомбинация, диффузия и дрейф носителей заряда в полупроводниках.

15. Полупроводниковые наноструктуры. Полупроводниковые и полуметаллические пленки. МДП – структуры. Гетероструктуры. Дельта – слои. Графен. Квантовые ямы. Квантовые проволоки. Квантовые точки. Сверхрешетки

16. Электрофизические размерные эффекты. Классический размерный эффект по дебаевской длине. Квантовые размерные эффекты в тонких пленках. Размерное квантование в области пространственного заряда.

17. Металлические нанокластеры. Теоретическое моделирование наночастиц. Электронная структура. Полупроводниковые наночастицы. Оптические свойства. Экситоны. Фотофрагментация.

18. Углеродные наноматериалы. Фуллерены и углеродные нанотрубки. Методы получения. Физические и химические свойства. Области применения.

19. Физика магнитных явлений. Введение, основные понятия, аспекты, теоретические модели. Типы магнитного упорядочения. Эффекты, наблюдаемые в ферромагнитных материалах. Магнетизм. Магнитное поле. Магнитный момент. Векторы магнитной индукции, намагниченности, напряженности магнитного поля. Магнитный поток.

20. Магнитный заряд. Магнитный диполь. Спиновые модели. Пара- и диамагнетизм свободных ионов. Пара- и диамагнетизм металлов. Диамагнетизм Ландау. Парамагнетизм Паули.

21. Теория молекулярного поля Вейсса. Спин-орбитальное взаимодействие. Обменное взаимодействие. Обменно усиленный парамагнетизм. Типы магнитного упорядочения. Суперпарамагнетизм. Спиновое стекло. Квантовая природа магнитных явлений. Понятие о модели Гейзенберга. Ее основные свойства. Модель Изинга и XY - модель. Понятие о модели Хаббарда. Модель Стонера.

22. Резонансные методы в магнетизме. Магнитооптические методы. Ядерный магнитный резонанс. Ферромагнитный резонанс. Магнитооптические эффекты: эффект Фарадея, эффект Коттона-Мутона, Эффект Керра. Фотомагнитные эффекты. Гальваномагнитные эффекты. Основы спинтроники.

23. Эффект Холла. Магнетосопротивление. Эффект Эттингсгаузена. Эффект Нернста –Эттингсгаузена. Гигантское магнитное сопротивление. Эффект Риги – Ледюка. Транспорт электронов. Формализм Кубо. Связь проводимости с квантовой прозрачностью. Формула Ландауэра. Туннелирование в гетероструктурах. Роль спина электрона в явлениях переноса. Теория гигантского магнитосопротивления в магнитных наногетероструктурах.

7. Критерии оценивания результатов контрольно-оценочных мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

В ходе текущего контроля успеваемости (устный или письменный опрос, подготовка и защита реферата, доклад, презентация, тестирование и пр.) при ответах на учебных занятиях, а также промежуточной аттестации в форме зачета обучающиеся оцениваются по двухбалльной шкале:

Оценка «зачтено» – выставляется аспиранту, если он продемонстрировал знания программного материала, подробно ответил на теоретические вопросы, справился с выполнением заданий и (или) ситуационных задач, предусмотренных рабочей программой дисциплины.

Оценка «не зачтено» – выставляется аспиранту, если он имеет пробелы в знаниях программного материала, не владеет теоретическим материалом и допускает грубые, принципиальные ошибки в выполнении заданий и (или) ситуационных задач, предусмотренных рабочей программой дисциплины.

Оценка по результатам проведения кандидатского экзамена по дисциплине выставляется на основе совокупности ответов по вопросам программы кандидатского экзамена и по вопросам дополнительной программы по теме диссертации аспиранта, которая согласовывается с научным руководителем.

Оценка «отлично» выставляется за исчерпывающий ответ, отражающий знание и профессиональное владение материалом программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

Оценка «хорошо» выставляется за ответ, содержащий не принципиальные погрешности, отражающий знание и свободное владение материалом программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

Оценка «удовлетворительно» выставляется за ответ, отражающий знание принципиальных положений вопросов, при наличии погрешностей, устраняемых аспирантом при ответе на дополнительные вопросы программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется за ответ, показывающий непонимание существа вопроса, наличия грубых ошибок в ответах на вопросы программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины Рекомендуемая литература:

Основная литература

Основная литература

1. Матухин В. Л. Физика твердого тела: учеб. пособие/ В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. - Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2010. - 1 on-line, 218 с. ЭБС Лань(1) <http://e.lanbook.com/view/book/262/>
2. Румянцев, А. В. Введение в физику конденсированного состояния вещества/ А. В. Румянцев; Балт. федер. ун-т им. И. Канта. - Калининград: БФУ им. И. Канта, 2012. – 117 с. всего 10: ч.з.N3(2), УБ(7), ИБО(1)

Дополнительная литература:

1. Делоне, Н. Б. Основы физики конденсированного вещества/ Н. Б. Делоне. - М.: Физматлит, 2011. - 233 с. ч.з.N3(1)
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978. НА(1)
3. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. I, II. М.: Мир, 1979. всего 3: НА(2), ч.з.N3(1)
4. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969. всего 2: НА(2)
5. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974. ч.з.N3(1)
6. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высш. шк., 2000. всего 2: ч.з.N3(1), НА(1)
7. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям: учеб. пособие для вузов/ под ред. А. С. Сигова. – 2 е изд., перераб. и доп.. - Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2013. - 184 с. ч.з.N3(1)
8. Адсорбция, адсорбенты и адсорбционные процессы в нанопористых материалах/РАН, Отд-ние химии и наук о материалах, Науч. совет по физ. химии, Ин-т физ.химии и электрохимии; [под ред. акад. А. Ю. Цивадзе]. - М.: Граница, 2011. – 489НА(1)
9. Андриевский, Р. А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы/ Р. А. Андриевский . - М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2012. – 251 с. ч.з.N3(1)
10. Б. Блюмих, Основы ЯМР, Москва: Техносфера, 2011. – 256 с. ч.з.N3(1)

Программное обеспечение:

Программное обеспечение обучения включает в себя:

- система электронного образовательного контента БФУ им. И. Канта – www.lms-3.kantiana.ru, обеспечивающую разработку и комплексное использование электронных образовательных ресурсов;
- серверное программное обеспечение, необходимое для функционирования сервера и связи с системой электронного обучения через Интернет;
- корпоративная платформа Webinar.ru;
- установленное на рабочих местах студентов ПО: Microsoft Windows 7, Microsoft Office Standart 2010, антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security. Java 8 Update 231 MATLAB R2016a Dev-C++

Электронные образовательные ресурсы:

- НЭБ Национальная электронная библиотека, диссертации и прочие издания
- ЭБС Консультант студента

- ПРОСПЕКТ ЭБС
- ЭБС ZNANIUM.COM
- ЭБС IBOOKS.RU
- Электронно-библиотечная система (ЭБС) Кантитана (<https://elib.kantiana.ru/>)

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

БФУ им. И. Канта имеет специальные помещения и лаборатории для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, научных исследований, промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования.