Приложение 5

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»
Инженерно-технический институт
Кафедра теоретической и экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
И.о. директора института



Т. В. Пасько
«13» апреля 2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине 2.1.3 Физика конденсированного состояния

Научная специальность: 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Уровень высшего образования: подготовка кадров высшей квалификации по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Формы обучения: очная

год набора: 2026

Тамбов, 2026

Автор программы:
Доктор физико-математических наук, профессор Шибков Александр Анатольевич

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов) (приказ Минобрнауки России от 20 октября 2021 г. № 951).

Рабочая программа принята на заседании Кафедры теоретической и экспериментальной физики «13» апреля 2026 г. Протокол № 6

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цели и задачи дисциплины…… 4

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры……. 4

3. Объем и содержание дисциплины…… 4

4. Контроль знаний обучающихся……. 7

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины…… 10

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины, программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы……. 11

1. Цели и задачи дисциплины

1.1 Цель дисциплины - заключается в углубленном изучении основных разделов физики конденсированного состояния, связанных с основными физическими проблемами данной области, а также в формировании навыков ведения научно-исследовательской деятельности в области физики конденсированного состояния.

1.2 Задачи дисциплины:

- закрепление навыков научно-исследовательской деятельности в области физики конденсированного состояния;
- освоение приемов разработки экспериментальных методов изучения физических свойств и созданию физических основ технологии получения материалов с определенными свойствами;
- подготовка к осуществлению теоретического и экспериментального изучения физической природы металлов и их сплавов, диэлектриков и полупроводников и механизмов изменения их при различных внешних воздействиях;
- закрепление навыков разработки математических моделей построения фазовых диаграмм состояния и прогнозированию изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения;
- готовность к изучению экспериментального состояния конденсированных веществ (сильное сжатие, ударные воздействия, изменение гравитационных полей, низкие температуры), фазовых переходов в них.
- знакомство с основами организации и планирования физических исследований в области физики конденсированного состояния.

1.3 Требования к результатам освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- физическую природу свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников;
- механизмы изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников при различных внешних воздействиях;

Уметь:

- теоретически и экспериментально исследовать физико-механические свойства металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников;
- исследовать тонкую структуру металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников и механизмов изменения структуры различных внешних воздействий;

Владеть:

- теоретическими и экспериментальными методами изучения физической природы свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников;
- технологиями изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, использующими различные внешние воздействия.

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры:

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к образовательному компоненту "Дисциплины (модули)" программы аспирантуры по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» изучается в 3 семестре.

3.Объем и содержание дисциплины

3.1.Объем дисциплины: 4 з.е.

Очная: 4 з.е.

Вид учебной работы	Очная (всего часов)

Общая трудоёмкость дисциплины	144
Контактная работа	8
Лекции (Лекции)	4
Практические (Практ. раб.)	4
Самостоятельная работа (СР)	100
Кандидатский экзамен	36

3.2.Содержание дисциплины:

№ темы	Название раздела/темы	Вид учебной работы, час.			Формы текущего контроля
		Лекции	Практ. раб.	СР	
		О	О	О	
3 семестр					
1	Электронная структура атомов	1	1	15	письменная самостоятельная работа
2	Силы связи в твердых телах	1	1	15	письменная самостоятельная работа
3	Электронная структура кристаллов	1	1	15	письменная самостоятельная работа
4	Фононный спектр и тепловые свойства кристаллов	1	1	15	письменная самостоятельная работа
5	Механизмы электрического сопротивления кристаллов	-	-	20	письменная самостоятельная работа
6	Фазовые переходы	-	-	20	письменная самостоятельная работа

Тема 1. Электронная структура атомов

Лекция.

Атом водорода. Спектр энергии и волновые функции электрона. Строение многоэлектронных атомов. Термы атомов. Токи в атомах. Механический и магнитный моменты атома.

Практическое занятие.

Сообщения и доклады по следующим вопросам: Атом водорода. Спектр энергии и волновые функции электрона. Строение многоэлектронных атомов. Термы атомов. Токи в атомах. Механический и магнитный моменты атома.

Задания для самостоятельной работы.

Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

Тема 2. Силы связи в твердых телах

Лекция.

Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван-дер-Ваальсова, ионная, ковалентная, металлическая связи. Химическая связь и ближний порядок. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

Практическое занятие.

Сообщения и доклады по следующим вопросам: Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван-дер-Ваальсова, ионная, ковалентная, металлическая связи. Химическая связь и ближний порядок. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

Задания для самостоятельной работы.

Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

Тема 3. Электронная структура кристаллов

Лекция.

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термо-ЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде. Основные приближения зонной теории. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Брегговское отражение электронов при движении по кристаллу. Зонный спектр энергии. Приближение сильносвязанных электронов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс. Приближение почти свободных электронов. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы. Электронная теплоемкость. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

Практическое занятие.

Сообщения и доклады по следующим вопросам: Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термо-ЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде. Основные приближения зонной теории. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Брегговское отражение электронов при движении по кристаллу. Зонный спектр энергии. Приближение сильносвязанных электронов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс. Приближение почти свободных электронов. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы. Электронная теплоемкость. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

Задания для самостоятельной работы.

Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

Тема 4. Фононный спектр и тепловые свойства кристаллов

Лекция.

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания. Теплопроводность решеточная и электронная.

Практическое занятие.

Сообщения и доклады по следующим вопросам: Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания. Теплопроводность решеточная и электронная.

Задания для самостоятельной работы.

Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

Тема 5. Механизмы электрического сопротивления кристаллов

Задания для самостоятельной работы.

Электропроводность полупроводников. Собственная и примесная проводимость. Метод теории перколяции. Переход Андерсона. Электропроводность сильно легированных по лупроводников. Электропроводность нормальных металлов. Сверхпроводимость. Теория БКШ. Электропроводность диэлектриков. Диэлектрики в сильных полях. Сообщения и доклады по следующим вопросам: Электропроводность полупроводников. Собственная и примесная проводимость. Метод теории перколяции. Переход Андерсона. Электропроводность сильно легированных по лупроводников. Электропроводность нормальных металлов. Сверхпроводимость. Теория БКШ. Электропроводность диэлектриков. Диэлектрики в сильных полях. Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

Тема 6. Фазовые переходы

Задания для самостоятельной работы.

Термодинамика и кинетика фазовых переходов первого и второго рода. Неравновесные (кинетические) фазовые переходы. Порядок и беспорядок. Морфологические переходы между фрактальными и евклидовыми формами неравновесного роста.

Сообщения и доклады по следующим вопросам: Термодинамика и кинетика фазовых переходов первого и второго рода. Неравновесные (кинетические) фазовые переходы. Порядок и беспорядок. Морфологические переходы между фрактальными и евклидовыми формами неравновесного роста. Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

4. Контроль знаний обучающихся

4.1. Формы текущего контроля работы аспирантов: письменная самостоятельная работа

4. Контроль знаний обучающихся и оценочные средства

4.1 Оценочные средства текущего контроля

письменная самостоятельная работа

Опишите качественно кривую парного взаимодействия для физически различных типов связи.

Напишите потенциалы парного взаимодействия для основных типов связей.

Дайте определение обменной энергии. Какова ее роль в образовании ковалентной связи?

Какие свойства атомов определяют энергию образования молекул с ионным типом связи?

Проанализируйте соответствие типов связей с таблицей Д.И. Менделеева.

Какова природа водородной связи. Приведите примеры в природе.

4.3 Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме кандидатского экзамена

Вопросы кандидатского экзамена

1. Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван-дер-Ваальсова, ионная, ковалентная, металлическая связи.

2. Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, NaCl, структура типа перовскита $CaTiO_3$.

3. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

4. Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зоны Бриллюэна.

5. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

6. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

7. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

8. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

9. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

10. Брегговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах. Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

11. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

12. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

13. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

14. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

15. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

16. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термо-ЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

17. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

18. Брегговское отражение электронов при движении по кристаллу. Зонный спектр энергии.

19. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

20. Приближение почти свободных электронов. Брегговские отражения электронов.

21. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

22. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Зоны Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

23. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

24. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

25. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

26. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса – Кронига.

27. Поглощение света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

28. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, Керра).

29. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

30. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.

31. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

32. Эффект Джозефсона.

33. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

34. Классификация дефектов. Способы их наблюдения и учета роли.

35. Электронная структура точечных дефектов. Центры окраски.

36. Источники дислокаций. Модель Франка – Рида. Рост кристаллов. Усы.

37. Структура дислокационного ядра. Кинки, ступени, примесная атмосфера, заряд дислокации.

38. Свободные и внутренние поверхности. Классификация, роль в формировании свойств.

39. Объемные дефекты. Трещины. Энергия образования. Теория Грифитса.

40. Радиационные повреждения.

41. Теоретическая прочность. Краткий обзор роли дефектов решетки в формировании механических структур.

42. Виды испытаний в исследованиях механических свойств и соответствующие характеристики.

43. Макропластические свойства материалов. Пределы текучести, пластичности, упругости, прочности. Диаграммы деформирования кристаллов в разных условиях.

44. Динамика дислокаций в кристаллах. Влияние периодичности решетки. Модель Френкеля – Конторовой. Рельеф Пайерлса.

45. Динамика дислокаций в кристаллах с точечными дефектами. Режимы движения дислокаций. Активационные параметры.

46. Кооперативные явления при движении дислокаций. Эволюция дислокационной структуры при пластическом деформировании.

47. Современные методы изучения дислокационной структуры кристалла. (Состояние дислокационного ядра и динамика дислокаций).

48. Специфика свойств наночастиц.

49. Углеродные нанотрубки. Фуллериты.

50. Квантовые ямы, проволоки и точки.

51. Процессы самосборки в наноструктурах.

52. Наномашины и наноприборы.

53. Наноконтактые взаимодействия. Их роль в природе, технике и физике наноструктур.

Задания для кандидатского экзамена

1. Оценить импульс фермиевского электрона в двухвалентном металле с межатомными расстояниями a=0.5 нм и температурой Дебая TD=300K и сравните с импульсом дебаевского фонона. Концентрация свободных электронов в кристалле n=10^18 м-3.

2. Какой физикой, классической или квантовой, описывается состояние электрона в металле с электронной концентрацией n=10^23см-3

3. Вычислить плотность состояний электронного газа в зависимости от энергии D(E) для двумерного металла в модели Зоммерфельда.

4. Вычислить энергию Ферми двумерного двухвалентного металла с параметром решетки a=0.4 нм.

5. Вывести зависимость от температуры теплоемкости электронного газа для двумерного одновалентного металла.

6. Вычислить ширину запрещенной зоны кристалла методом “слабой связи”.

4.3. Шкала оценивания промежуточной аттестации

Оценка	Основные показатели достижения результата
«отлично»	Демонстрирует исчерпывающие знания физической природы свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, а также механизмов изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников при различных внешних воздействиях. На высоком уровне умеет теоретически и экспериментально исследовать физико-механические свойства металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, а также тонкую структуру металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников и механизмов изменения структуры различных внешних воздействий. Демонстрирует свободное владение теоретическими и экспериментальными методами изучения физической природы свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, а также технологиями изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, использующими различные внешние воздействия.
«хорошо»	На высоком уровне демонстрирует знание физической природы свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, а также механизмов изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников при различных внешних воздействиях. Демонстрирует умение теоретически и экспериментально исследовать физико-механические свойства металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, а также тонкую структуру металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников и механизмов изменения структуры различных внешних воздействий. Систематическое проявляет владение теоретическими и экспериментальными методами изучения физической природы свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников и технологиями изменения их свойств с использованием различных внешних воздействий.
«удовлетворительно»	Ориентируется в вопросах, касающихся физической природы свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, а также механизмов изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников при различных внешних воздействиях. Понимает сущность теоретических и экспериментальных исследований физико-механических свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, в том числе в условиях внешних воздействий. Владеет минимальным общеизвестным набором навыков исследования вещества в конденсированном состоянии в рамках узкоспециализированной направленности.
«неудовлетворительно»	Демонстрирует незнание теоретических положений физики конденсированного состояния и возможностей практической реализации их при объяснении явлений в металлах, сплавах, полупроводниках и диэлектриках. Проявляет неспособность к теоретическому и экспериментальному исследованию физико-механических свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников. Не владеет системой методологических принципов исследования в физике конденсированного состояния.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Основная литература:

1. Байков Ю. А., Кузнецов В. М. Физика конденсированного состояния : учебное пособие. - 6-е изд.. - Москва: Лаборатория знаний, 2024. - 295 с. - Текст : электронный // ЭБС «Университетская библиотека онлайн» [сайт]. - URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=713128

2. Гордиенко А. Б., Кособуцкий А. В., Корабельников Д. В. Физика конденсированного состояния. Решение задач : учебное пособие. - 2-е изд., доп.. - Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2011. - 92 с. - Текст : электронный // ЭБС «Университетская библиотека онлайн» [сайт]. - URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232487

3. Петров Ю.В. Основы физики конденсированного состояния : [учеб. пособие]. - Долгопрудный: Издат. Дом "Интеллект", 2013. - 213 с.

4. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. - Москва: Наука, 1978. - 788 с. - Текст : электронный // ЭБС «Университетская библиотека онлайн» [сайт]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483361

5.2 Дополнительная литература:

1. Кульков В.Г. Физика конденсированного состояния в электротехническом материаловедении : учеб. пособие. - Москва, Санкт-Петербург, Краснодар: Лань, 2017. - 269, [1] с. - Текст : электронный // АБИС "Руслан" ТГУ им. Г.Р. Державина [сайт]

2. Физика конденсированного состояния: лабораторный практикум : практикум. - Ставрополь: Северо-Кавказский Федеральный университет (СКФУ), 2016. - 124 с. - Текст : электронный // ЭБС «Университетская библиотека онлайн» [сайт]. - URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459029

3. Филимонова Н. И., Дикарева Р. П. Физика конденсированного состояния : учебное пособие. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2016. - 136 с. - Текст : электронный // ЭБС «Университетская библиотека онлайн» [сайт]. - URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=576197

4. Чуканов А. Н., Сергеев Н. Н., Гвоздев А. Е., Сергеев А. Н., Медведев П. Н. Физика конденсированного состояния: дефекты строения в металлах : учебник. - Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. - 298 с. - Текст : электронный // ЭБС «Университетская библиотека онлайн» [сайт]. - URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=617598

5.3 Методические разработки:

1. Шибков А.А. Физика конденсированного состояния : метод. рекомендации к разделу "Типы связей в молекулах и твёрдых телах". - Тамбов: [Издат. центр Тамб. гос. ун-та им. Г.Р. Державина], 1995. - 79 с.

2. Шибков А.А. Основы физики конденсированного состояния : учеб. пособие. - Тамбов: Изд-во ТГУ, 2009. - 123 с.

5.4 Иные источники:

1. elibrary.tsutmb.ru - https://elibrary.tsutmb.ru/

2. БД издательства SpringerNature: Databases (БД Nano) - URL: - https://goo.gl/PdhJdo

3. БД издательства SpringerNature: Home - Springer - URL: - https://link.springer.com/

4. БД издательства SpringerNature: SpringerMaterials - свойства материалов. - URL: - https://materials.springer.com/

5. Библиотека РАН - http://www.rasl.ru/

6. Российская национальная библиотека - http://www.nlr.ru/

7. Электронная библиотека учебников для вузов - http://4du.ru/

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины, программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Для проведения занятий по дисциплине необходимо следующее материально-техническое обеспечение: помещения для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, помещения для самостоятельной работы.

Помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения занятий лекционного типа используются наборы демонстрационного оборудования, обеспечивающие тематические иллюстрации (проектор, ноутбук, экран/ интерактивная доска).

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

ABBYY FineReader 9.0 Corporate Edition

Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows "Лаборатория Касперского" 15.03.2018

Libre Office 3.3

Microsoft Office Профессиональный плюс 2007

Microsoft Windows 10

Операционная система "Альт Образование"

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Scopus: база данных . – URL: https://www.scopus.com
2. Springer Journal – база данных журналов коллекции Springer Journal изд-ва Springer Nature (1997-2015 гг.). – URL: https://link.springer.com
3. Web of Science: политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая база данных . – URL: https://apps.webofknowledge.com
4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.ru. – URL: https://elibrary.ru
5. Научная электронная библиотека Российской академии естествознания. – URL: https://www.monographies.ru
6. Российская государственная библиотека: официальный сайт. – URL: https://www.rsl.ru
7. Университетская библиотека онлайн: электронно-библиотечная система. – URL: https://biblioclub.ru
8. Электронная библиотека ТГУ. – URL: https://elibrary.tsutmb.ru/
9. Электронная библиотека РФФИ. – URL: https://www.rfbr.ru/rffi/ru/library
10. Электронный каталог Фундаментальной библиотеки ТГУ. – URL: https://www.tsutmb.ru/biblio/elektronnyij-katalog/
11. Юрайт: образовательная платформа, электронно-библиотечная система. – URL: https://urait.ru

Электронная информационно-образовательная среда

https://auth.tsutmb.ru/authorize?response_type=code&client_id=moodle&state=xyz

Взаимодействие преподавателя и аспиранта в процессе обучения осуществляется посредством мультимедийных, гипертекстовых, сетевых, телекоммуникационных технологий, используемых в электронной информационно-образовательной среде университета.