

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тамбовский государственный университет имени Г.Р.Державина»
Институт математики, физики и информационных технологий
Кафедра теоретической и экспериментальной физики



УТВЕРЖДАЮ:
Директор института
Якунина И.Н.
«19» января 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине Б1.В.ОД.1
«Физика конденсированного состояния»

Направление подготовки:
03.06.01 - ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Направленность (профиль)
«ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ»

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

Форма обучения
очная, заочная

Год набора
2021

Автор программы:

доктор, физико-математических наук, профессор Шибков А.А.

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 - ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ (уровень - подготовка кадров высшей квалификации) (приказ Минобрнауки РФ от 30 июля 2014 г. № 867).

Рабочая программа принята на заседании кафедры теоретической и экспериментальной физики «15» января 2021 года, протокол № 6.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цели и задачи дисциплины
2. Место дисциплины в структуре ОП аспирантуры
3. Объем и содержание дисциплины
4. Контроль знаний обучающихся
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
6. Материально-техническое обеспечение дисциплины, программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Цели и задачи дисциплины

1.1 Цель дисциплины - «Физика конденсированного состояния» 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 в рамках формирования универсальных и общепрофессиональных компетенций.

1.2 Виды и задачи профессиональной деятельности по дисциплине:

- научно-исследовательская деятельность в области физики и астрономии; преподавательская деятельность в области физики и астрономии;
- освоение методов научных исследований; освоение теорий и моделей; участие в проведении физических исследований по выбранной тематике; участие в обработке полученных результатов научных исследований на современном уровне; работа с научной литературой с использованием новых информационных технологий;
- освоение методов применения результатов научных исследований в инновационной деятельности;
- освоение методов инженерно-технологической деятельности; участие в обработке и анализе полученных данных с помощью современных информационных технологий;
- знакомство с основами организации и планирования физических исследований; участие в информационной и технической организации научных семинаров и конференций; участие в написании и оформлении научных статей и отчетов.

1.3 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы следующие компетенции:

Код и наименование компетенции ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения по дисциплине, необходимые для формирования компетенции
ОПК-1 Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	Знает и понимает: <ul style="list-style-type: none"> - современные методы и информационно-коммуникационные технологии при осуществлении научно-исследовательской деятельности Код 31(ОПК-1) - особенности информационных технологий при осуществлении научно-исследовательской деятельности в вузе на основе компетентностного подхода Код 32(ОПК-1)
	Умеет (способен продемонстрировать): <ul style="list-style-type: none"> - самостоятельно планировать научно-исследовательскую деятельность Код У1(ОПК-1) - анализировать, планировать и оценивать самостоятельную научно-исследовательскую деятельность Код У2(ОПК-1)
	Владеет: <ul style="list-style-type: none"> - современными методами проведения научных исследований и анализа полученных результатов Код В1(ОПК-1) - методами организации научно-исследовательской деятельности, методами руководства научным коллективом Код В2 (ОПК-1)
ПК-2 Готовность осуществлять теоретическое и	Знает и понимает: <ul style="list-style-type: none"> - физическую природу свойств металлов, их

<p>экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, диэлектриков и полупроводников и механизмов изменения этих свойств при различных внешних воздействиях</p>	<p>сплавов, диэлектриков и полупроводников Код 31(ПК-2)</p> <ul style="list-style-type: none"> - механизмы изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников при различных внешних воздействиях Код 32(ПК-2) <p>Умеет (способен продемонстрировать)</p> <ul style="list-style-type: none"> - теоретически и экспериментально исследовать физико-механические свойства металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников Код У1(ПК-2) - исследовать тонкую структуру металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников и механизмов изменения структуры различных внешних воздействий Код У1(ПК-2) <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - теоретическими и экспериментальными методами изучения физической природы свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников Код В1(ПК-2) - технологиями изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, использующими различные внешние воздействия Код В2(ПК-2)
<p>ПК-7 Готовность разрабатывать и осуществлять научные проекты в области физики конденсированного состояния</p>	<p>Знает и понимает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - творческие методы решения исследовательских и практических задач в рамках научно-исследовательской деятельности Код 31(ПК-7) - основные научные фонды, программы Код 32(ПК-7) - общие и частные требования к содержанию научно-исследовательских заявок разных типов Код 33(ПК-7) - квалификационные требования к коллективу исполнителей научного проекта Код 34(ПК-7) <p>Умеет (способен продемонстрировать):</p> <ul style="list-style-type: none"> - определять перспективные направления научных междисциплинарных исследований Код У1(ПК-7) - количественно описывать и интерпретировать полученные результаты Код У2(ПК-7) - формировать контент научного проекта Код У3(ПК-7) <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками совершенствования и развития своего научно-творческого потенциала Код В1(ПК-7) - навыками составления бюджета научного проекта Код В2(ПК-7)

1.4 Согласование междисциплинарных связей дисциплин, практик, научных исследований, обеспечивающих освоение компетенций.

Дисциплина «Эмиссионные методы диагностики повреждений в деформируемых твердых телах Физика конденсированного состояния» и их влияние на физические свойства твердых тел» логически связана с такими дисциплинами, практиками, научными исследованиями, как:

ОПК-1 – Дефекты кристаллического строения и их влияние на физические свойства твердых тел, Эмиссионные методы диагностики повреждений в деформируемых твердых телах

ПК-2 – Нелинейная динамика пластических неустойчивостей металлов, Физические принципы метода наноиндентирования в физике твердого тела, Производственная практика (практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности)

ПК-7 – Производственная практика (практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности), Физика поверхностных явлений, Организационно-методическое обеспечение научно-исследовательской деятельности в области физики конденсированного состояния

2. Место дисциплины в структуре ОП аспирантуры:

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к вариативной части учебного плана ОП по направлению подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия, направленность (профиль) – Физика конденсированного состояния.

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» изучается во 2 и 3 семестрах.

3. Объём и содержание дисциплины

3.1 Объем дисциплины

Очная форма обучения: 4 з.е.

Заочная форма обучения: 4 з.е.

Вид учебной работы	Очная форма обучения (всего часов)	Заочная форма обучения (всего часов)
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144
<i>Контактная работа (по учебным занятиям)</i>	32	8
Лекции (Л)	14	8
Практические (семинарские) занятия (ПЗ)	18	-
Лабораторные занятия (ЛЗ)	-	-
<i>Самостоятельная работа (СР)</i>	76	100
<i>Зачет</i>		

3.2 Содержание курса:

№ те мы	Название раздела/темы	Вид учебной работы, час. (очная/заочная)				Формы текущего контроля
		Л	ПЗ	ЛЗ	СР	
1.	Электронная структура атомов	2/1	3/-	-	13/17	письменная самостоятельная работа
2.	Силы связи в твердых телах	2/1	3/-	-	13/17	письменная самостоятельная работа

3	Электронная структура кристаллов	2/1	3/-	-	13/17	письменная самостоятельная работа
4.	Фононный спектр и тепловые свойства кристаллов	3/1	3/-	-	13/17	письменная самостоятельная работа
5	Механизмы электрического сопротивления кристаллов	3/2	3/-	-	12/16	письменная самостоятельная работа
6	Фазовые переходы	2/2	3/-	-	12/16	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. Анггармонические 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. Анггармонические 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

Лекция. Электропроводность полупроводников. Собственная и примесная проводимость. Метод теории перколяции. Переход Андерсона. Электропроводность сильно легированных полупроводников. Электропроводность нормальных металлов. Сверхпроводимость. Теория БКШ. Электропроводность диэлектриков. Диэлектрики в сильных полях.

Практическое занятие. Сообщения и доклады по следующим вопросам: Электропроводность полупроводников. Собственная и примесная проводимость. Метод теории перколяции. Переход Андерсона. Электропроводность сильно легированных полупроводников. Электропроводность нормальных металлов. Сверхпроводимость. Теория БКШ. Электропроводность диэлектриков. Диэлектрики в сильных полях.

Задания для самостоятельной работы: Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

Тема 6. Фазовые переходы

Лекция. 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.

Практическое занятие. 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.

Задания для самостоятельной работы: 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

- самостоятельная работа.

4.2 Типовые задания текущего контроля

Типовые вопросы самостоятельных работ

1. Опишите качественно кривую парного взаимодействия для физически различных типов связи.
2. Напишите потенциалы парного взаимодействия для основных типов связей.
3. Дайте определение обменной энергии. Какова ее роль в образовании ковалентной связи?
4. Какие свойства атомов определяют энергию образования молекул с ионным типом связи?
5. Проанализируйте соответствие типов связей с таблицей Д.И. Менделеева.
6. Какова природа водородной связи. Приведите примеры в природе.

4.3 Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета.

Вопросы для зачета

1. В чем сущность приближения самосогласованного поля?
2. Вывести теорему Блоха в двух формулировках.
3. Какими квантовыми числами характеризуется состояние электрона в кристалле?
4. Перечислите законы сохранения для электрона в кристалле.

Типовые задания для зачета

1. Вывести зависимость от температуры электропроводности металлов при высоких температурах.
2. Вывести зависимость от температуры электропроводности металлов при низких температурах.
3. Докажите, что носители заряда в полупроводнике образуют классический, а в металле – квантовый ферми-газ.
4. Сравните электропроводность чистого германия при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, если ширина запрещенной зоны 0.72 эВ .

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. Анггармонические 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 Гриффитса.
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. Наноконтактные взаимодействия. Их роль в природе, технике и физике наноструктур.

Типовые задания для кандидатского экзамена

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

2. Какой физикой, классической или квантовой, описывается состояние электрона в металле с электронной концентрацией $n=10^{23}\text{см}^{-3}$
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 $a=0.4\text{ нм}$.
5. Вывести зависимость от температуры теплоемкости электронного газа для двумерного одновалентного металла.
6. Вычислить ширину запрещенной зоны кристалла методом “слабой связи”.

4.4 Шкала оценивания промежуточной аттестации

Зачет

Оценка	Компетенции	Дескрипторы (уровни) - основные признаки освоения (показатели достижения результата)
«зачтено»	ОПК-1	<p>Сформированные, систематические представления о современных методах и информационно-коммуникационных технологиях при осуществлении научно-исследовательской деятельности</p> <p>Сформированные, систематические представления об особенностях информационных технологий при осуществлении научно-исследовательской деятельности в вузе на основе компетентного подхода</p> <p>методах самостоятельного планирования научно-исследовательской деятельности</p> <p>Сформированные, систематические представления об анализе, планировании и оценке самостоятельной научно-исследовательской деятельности</p> <p>Успешное и систематическое владение современными методами проведения научных исследований и анализа полученных результатов</p> <p>Успешное и систематическое владение методами организации научно-исследовательской деятельности, методами руководства научным коллективом</p>
	ПК-2	<p>Сформированные систематические представления о физической природе свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>Сформированные систематические представления о механизмах изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников при различных внешних воздействиях</p> <p>Сформированное умение теоретически и экспериментально исследовать физико-механические свойства металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>Сформированное умение исследовать тонкую структуру металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников и механизмов изменения структуры различных внешних воздействий</p> <p>Успешное и систематическое владение теоретическими и экспериментальными методами изучения физической природы свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и</p>

		<p>полупроводников</p> <p>Успешное и систематическое владение технологиями изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, использующими различные внешние воздействия</p>
	ПК-7	<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о творческих методах решения исследовательских и практических задач в рамках научно-исследовательской деятельности</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания об основных научных фондах, программах</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания об общих и частных требованиях к содержанию научно-исследовательских заявок разных типов</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о квалификационных требованиях к коллективу исполнителей научного проекта</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение определять перспективные направления научных междисциплинарных исследований</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение количественно описывать и интерпретировать полученные результаты</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение формировать контент научного проекта</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков совершенствования и развития своего научно-творческого потенциала</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков составления бюджета научного проекта</p>
«не зачтено»	ОПК-1	<p>Неполное представление о современных методах и информационно-коммуникационных технологиях при осуществлении научно-исследовательской деятельности</p> <p>Неполное представление об особенностях информационных технологий при осуществлении научно-исследовательской деятельности в вузе на основе компетентностного подхода</p> <p>В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение самостоятельного планирования научно-исследовательской деятельности</p> <p>Неполное представление об анализе, планировании и оценке самостоятельной научно-исследовательской деятельности</p> <p>В целом успешное, но не систематическое применение современных методов проведения научных исследований и анализа полученных результатов</p> <p>В целом успешное, но не систематическое применение методов организации научно-исследовательской деятельности, методами руководства научным коллективом</p>

	ПК-2	<p>Неполные представления о физической природе свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>Неполные представления о механизмах изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников при различных внешних воздействиях</p> <p>В целом успешное, но не систематическое осуществляемое умение теоретически и экспериментально исследовать физико-механические свойства металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>В целом успешное, но не систематическое осуществляемое умение исследовать тонкую структуру металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников и механизмов изменения структуры различных внешних воздействий</p> <p>Испытывает затруднения в применении теоретических и экспериментальных методов изучения физической природы свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>Испытывает трудности при использовании технологий изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, использующими различные внешние воздействия</p>
	ПК-7	<p>Неполные представления о творческих методах решения исследовательских и практических задач в рамках научно-исследовательской деятельности</p> <p>Неполные знания об основных научных фондах, программах</p> <p>Неполные знания об общих и частных требованиях к содержанию научно-исследовательских заявок разных типов</p> <p>Неполные знания о квалификационных требованиях к коллективу исполнителей научного проекта</p> <p>В целом успешное, но не систематическое осуществляемое умение определять перспективные направления научных междисциплинарных исследований</p> <p>В целом успешное, но не систематическое осуществляемое умение количественно описывать и интерпретировать полученные результаты</p> <p>В целом успешное, но не систематическое осуществляемое умение формировать контент научного проекта</p> <p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков совершенствования и развития своего научно-творческого потенциала</p> <p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков составления бюджета научного проекта</p>

Кандидатский экзамен

Оценка	Компетенции	Дескрипторы (уровни) - основные признаки освоения (показатели достижения результата)
«отлично»	ОПК-1	Сформированные, систематические представления о современных методах и информационно-коммуникационных технологиях при осуществлении научно-исследовательской деятельности

		<p>Сформированные, систематические представления об особенностях информационных технологий при осуществлении научно-исследовательской деятельности в вузе на основе компетентностного подхода</p> <p>методах самостоятельного планирования научно-исследовательской деятельности</p> <p>Сформированные, систематические представления об анализе, планировании и оценке самостоятельной научно-исследовательской деятельности</p> <p>Успешное и систематическое владение современными методами проведения научных исследований и анализа полученных результатов</p> <p>Успешное и систематическое владение методами организации научно-исследовательской деятельности, методами руководства научным коллективом</p>
	ПК-2	<p>Сформированные систематические представления о физической природе свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>Сформированные систематические представления о механизмах изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников при различных внешних воздействиях</p> <p>Сформированное умение теоретически и экспериментально исследовать физико-механические свойства металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>Сформированное умение исследовать тонкую структуру металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников и механизмов изменения структуры различных внешних воздействий</p> <p>Успешное и систематическое владение теоретическими и экспериментальными методами изучения физической природы свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>Успешное и систематическое владение технологиями изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, использующими различные внешние воздействия</p>
	ПК-7	<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о творческих методах решения исследовательских и практических задач в рамках научно-исследовательской деятельности</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания об основных научных фондах, программах</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания об общих и частных требованиях к содержанию научно-исследовательских заявок разных типов</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о квалификационных требованиях к коллективу исполнителей научного проекта</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение определять перспективные направления научных междисциплинарных исследований</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы</p>

		<p>умение количественно описывать и интерпретировать полученные результаты</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы</p> <p>умение формировать контент научного проекта</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы</p> <p>применение навыков совершенствования и развития своего научно-творческого потенциала</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы</p> <p>применение навыков составления бюджета научного проекта</p>
«хорошо»	ОПК-1	<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о современных методах и информационно-коммуникационных технологиях при осуществлении научно-исследовательской деятельности</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления об особенностях информационных технологий при осуществлении научно-исследовательской деятельности в вузе на основе компетентностного подхода</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о методах самостоятельного планирования научно-исследовательской деятельности</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы анализа, планирования и оценки самостоятельной научно-исследовательской деятельности</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение современными методами проведения научных исследований и анализа полученных результатов</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение методами организации научно-исследовательской деятельности, методами руководства научным коллективом</p>
	ПК-2	<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о физической природе свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о механизмах изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников при различных внешних воздействиях</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение теоретически и экспериментально исследовать физико-механические свойства металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение исследовать тонкую структуру металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников и механизмов изменения структуры различных внешних воздействий</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применения теоретических и экспериментальных методов изучения физической природы свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применения технологий изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, использующими различные внешние воздействия</p>

	ПК-7	<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о творческих методах решения исследовательских и практических задач в рамках научно-исследовательской деятельности</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания об основных научных фондах, программах</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания об общих и частных требованиях к содержанию научно-исследовательских заявок разных типов</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о квалификационных требованиях к коллективу исполнителей научного проекта</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение определять перспективные направления научных междисциплинарных исследований</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение количественно описывать и интерпретировать полученные результаты</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение формировать контент научного проекта</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков совершенствования и развития своего научно-творческого потенциала</p> <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков составления бюджета научного проекта</p>
«удовлетворительно»	ОПК-1	<p>Неполное представление о современных методах и информационно-коммуникационных технологиях при осуществлении научно-исследовательской деятельности</p> <p>Неполное представление об особенностях информационных технологий при осуществлении научно-исследовательской деятельности в вузе на основе компетентностного подхода</p> <p>В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение самостоятельного планирования научно-исследовательской деятельности</p> <p>Неполное представление об анализе, планировании и оценке самостоятельной научно-исследовательской деятельности</p> <p>В целом успешное, но не систематическое применение современных методов проведения научных исследований и анализа полученных результатов</p> <p>В целом успешное, но не систематическое применение методов организации научно-исследовательской деятельности, методами руководства научным коллективом</p>
	ПК-2	<p>Неполные представления о физической природе свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>Неполные представления о механизмах изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников при различных внешних воздействиях</p> <p>В целом успешное, но не систематическое осуществляемое умение теоретически и экспериментально исследовать физико-механические свойства металлов, их сплавов,</p>

		<p>диэлектриков и полупроводников</p> <p>В целом успешное, но не систематическое осуществляемое умение исследовать тонкую структуру металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников и механизмов изменения структуры различных внешних воздействий</p> <p>Испытывает затруднения в применении теоретических и экспериментальных методов изучения физической природы свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>Испытывает трудности при использовании технологий изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, использующими различные внешние воздействия</p>
	ПК-7	<p>Неполные представления о творческих методах решения исследовательских и практических задач в рамках научно-исследовательской деятельности</p> <p>Неполные знания об основных научных фондах, программах</p> <p>Неполные знания об общих и частных требованиях к содержанию научно-исследовательских заявок разных типов</p> <p>Неполные знания о квалификационных требованиях к коллективу исполнителей научного проекта</p> <p>В целом успешное, но не систематическое осуществляемое умение определять перспективные направления научных междисциплинарных исследований</p> <p>В целом успешное, но не систематическое осуществляемое умение количественно описывать и интерпретировать полученные результаты</p> <p>В целом успешное, но не систематическое осуществляемое умение формировать контент научного проекта</p> <p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков совершенствования и развития своего научно-творческого потенциала</p> <p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков составления бюджета научного проекта</p>
«не удовлетворительно»	ОПК-1	<p>Фрагментарные представления о современных методах и информационно-коммуникационных технологиях при осуществлении научно-исследовательской деятельности</p> <p>Фрагментарные представления об особенностях информационных технологий при осуществлении научно-исследовательской деятельности в вузе на основе компетентностного подхода</p> <p>Частично освоенное умение самостоятельного планирования научно-исследовательской деятельности</p> <p>Фрагментарные представления об анализе, планировании и оценке самостоятельной научно-исследовательской деятельности</p> <p>Фрагментарное владение современными методами проведения научных исследований и анализа полученных результатов</p> <p>Фрагментарное владение методами организации научно-исследовательской деятельности, методами руководства</p>

		научным коллективом
	ПК-2	<p>Фрагментарные представления о физической природе свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>Фрагментарные представления о механизмах изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников при различных внешних воздействиях</p> <p>Частично освоенное теоретических и экспериментальных исследованиях физико-механических свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>Частично освоенное умение исследовать тонкую структуру металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников и механизмов изменения структуры различных внешних воздействий</p> <p>Фрагментарное владение теоретическими и экспериментальными методами изучения физической природы свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников</p> <p>Фрагментарное владение технологиями изменения свойств металлов, их сплавов, диэлектриков и полупроводников, использующими различные внешние воздействия</p>
	ПК-7	<p>Фрагментарные представления о творческих методах решения исследовательских и практических задач в рамках научно-исследовательской деятельности</p> <p>Фрагментарные знания об основных научных фондах, программах</p> <p>Фрагментарные знания об общих и частных требованиях к содержанию научно-исследовательских заявок разных типов</p> <p>Фрагментарные знания о квалификационных требованиях к коллективу исполнителей научного проекта</p> <p>Частично освоенное умение определять перспективные направления научных междисциплинарных исследований</p> <p>Частично освоенное умение количественно описывать и интерпретировать полученные результаты</p> <p>Частично освоенное умение формировать контент научного проекта</p> <p>Фрагментарное применение навыков совершенствования и развития своего научно-творческого потенциала</p> <p>Фрагментарное применение навыков составления бюджета научного проекта</p>

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Основная литература

1. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. Изд. Едиториал УРСС, 2020.
2. Суриков В.И., Суриков В.И. Основы теории твердого тела. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2016.
3. Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М: Физматлит, 2016. 631 с.
4. Петров Ю.В. Основы физики конденсированного состояния. Долгопрудный: Издат. Дом "Интеллект", 2013. 213 с.
5. Дмитриев А.В. Основы статистической физики конденсированного состояния. М.: Ленанд. 2018.
6. Чеботарев С.Н. Физика конденсированного состояния. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ).

2017.

7. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. Физика конденсированного состояния. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2015.

5.2 Дополнительная литература

1. Шпольский Э. В. Атомная физика. Т. 2. М., Наука. 2010.
2. Ландау Л. Д. Лившиц Е. М. Квантовая механика. М., Физматлит. 2016.
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. - М. : МедиаСтар, 2006.
4. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. 1 и 2. М. Мир. 1979.
5. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М. Мир. 1974.
6. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. М. Мир. 1988.
7. Маделунг О. Теория твердого тела. М. Наука. 1986.
8. Брандт Н.Б., Чудинов С.М. Электронная структура металлов. М. МГУ. 1973.
9. Лифшиц И.М., Азбель М.Я., Каганов М.И. Электронная теория металлов. М. Наука. 1974.
10. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М. Наука. 1977.
11. Давыдов А.С. Теория твердого тела. М. Наука. 1967.
12. Рейсленд Дж. Физика фотонов. М. Мир. 1975.
13. Постников В.С. Физика и химия твердого состояния. М. Metallurgia. 1978.
14. Маделунг О. Физика твердого тела. Локализованные состояния. М. Наука. 1985.
15. Шибков А.А. Основы физики конденсированного состояния. Тамбов: Изд-во ТГУ имени Г.Р. Державина, 2009. 124 с.
16. Шибков А.А. Основы квантовой теории. Ч. 1. Квантовая механика одномерного движения. Тамбов: Изд-во ТГУ имени Г.Р. Державина, 2009. 67 с.
17. Шибков А.А. Основы квантовой теории. Ч. 2. Основы квантовой физики атомов и межатомного взаимодействия. Тамбов: Изд-во ТГУ имени Г.Р. Державина, 2009. 68 с.
18. Шибков, А.А. Введение в квантовую теорию. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г. Р. Державина, 2015. 169 с.
19. Лидер В.В. Многослойные рентгеновские интерференционные структуры // УФН. 2019. Т. 189. № 11. С. 1137.
20. Попова М.Н., Болдырев К.Н. Новые эффекты электрон-фононного взаимодействия в диэлектриках // УФН. 2019. Т. 189. № 3. С. 292.
21. Долгополов В.Т. Двумерная система сильно взаимодействующих электронов в кремниевых (100) структурах // УФН. 2019. Т. 189. № 7. С. 673.
22. Глазов М.М., Сулис Р.А. Коллективные состояния экситонов в полупроводниках // УФН. 2020. Т. 190. № 11. С. 1121.
23. Бобров Н.Л. Спектроскопия электрон-фононного взаимодействия сверхпроводящих микроконтактов: экспериментальные аспекты // УФН. 2020. Т. 190. № 11. С. 1143.
24. Рейх К.В. Электропроводность массива квантовых точек // УФН. 2020. Т. 190. № 10. С. 1062.
25. Савватимский А.И., Онуфриев С.В. Исследование физических свойств углерода при высоких температурах // УФН. 2020. Т. 190. № 10. С. 1085.
26. Лидер В.В. Презиционное определение параметров кристаллической решётки // УФН. 2020. Т. 190. № 9. С. 971.
27. Гайнуллин И.К. Резонансный электронный обмен при рассеянии ионов на металлических поверхностях // УФН. 2020. Т. 190. № 9. С. 951.
28. Разумов И.К., Ермаков А.Е., Горностырев Ю.Н., Страумал Б.Б. Неравновесные фазовые превращения в сплавах при интенсивной пластической деформации // УФН. 2020. Т. 190. № 8. С. 785.
29. Виноградов Е.А. Оптические фононы с отрицательной силой осциллятора // УФН. 2020. Т. 190. № 8. С. 829.
30. Устиновщиков Ю.И. Парное межатомное взаимодействие в сплавах // УФН. 2020. Т. 190. № 7. С. 715.

31. Бражкин В.В. Ультратвердые наноматериалы: мифы и реальность // УФН. 2020. Т. 190. № 6. С. 561.
32. Гинзбург И.Ф. Частицы в конечных и бесконечных одномерных периодических цепочках // УФН. 2020. Т. 190. № 4. С. 429.
33. Асеев С.А., Ахманов А.С. Гиричев Г.В. и др. Структурная динамика свободных молекул и конденсированного вещества // УФН. 2020. Т. 190. № 2. С. 113.
34. Фетисов Г.В. Рентгеновские дифракционные методы структурной диагностики материалов: прогресс и достижения // УФН. 2020. Т. 190. № 1. С. 2.
35. Пудалов В.М. Измерение магнитных свойств электронов проводимости // УФН. 2021. Т. 191. № 1. С. 3.

5.3 Иные источники

К рекомендуемым Интернет-ресурсам по данной дисциплине относятся Интернет-ресурсы ведущих российских и зарубежных журналов, а также образовательные порталы и сайты ведущих российских университетов.

Интернет-ресурсы ведущих российских журналов по данной тематике:

www.journals.ioffe.ru/ftt – «Физика твёрдого тела»

www.journals.ioffe.ru/ftp – «Физика и техника полупроводников»

www.journals.ioffe.ru/pjtf – «Письма в журнал технической физики»

www.iournals.ioffe.ru/itf – «Журнал технической физики»

www.ietsp.ac.ru – ЖЭТФ

www.ietspleters.ac.ru – «Письма в ЖЭТФ»

www.ufn.ru – «Успехи физических наук»

www.nanom.ru – «Российские нанотехнологии»

www.quant-electron.ru – «Квантовая электроника»

<http://imp.uran.ru/fmm/> – «Физика металлов и металловедение»

Интернет-ресурсы иностранных журналов

www.aps.org

www.springeropen.com

Интернет-порталы: <http://window.edu.ru>; <https://elibrarv.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: специальные помещения для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, помещения для самостоятельной работы.

Специальные 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.

Электронная информационно-образовательная среда

<http://moodle.tsutmb.ru>

Взаимодействие преподавателя и аспиранта в процессе освоения дисциплины осуществляется посредством мультимедийных, гипертекстовых, сетевых,

телекоммуникационных технологий, используемых в электронной информационно-образовательной среде университета.

Лицензионное программное обеспечение:

Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition. 1500-2499 Node 1 year Educational Renewal Licence

Операционная система Microsoft Windows 10

Adobe Reader XI (11.0.08) - Russian Adobe Systems Incorporated 10.11.2014 187, 00 MB 11.0.08

7-Zip 9.20

Microsoft Office Профессиональный плюс 2007

Информационные справочные системы и профессиональные базы данных (в том числе международные реферативные базы данных научных изданий):

1. Электронный каталог Фундаментальной библиотеки ТГУ – URL: <http://biblio.tsutmb.ru/elektronnyj-katalog/>
2. Электронная библиотека ТГУ – URL: <https://elibrary.tsutmb.ru>
3. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» - URL: <http://www.biblioclub.ru>
4. ЭБС «IPRbooks» - URL: <http://www.iprbookshop.ru>
5. ЭБС «Юрайт»: (ВО и СПО), включая коллекцию «Легендарные книги» - URL: www.urait.ru
6. Сетевая электронная библиотека педагогических вузов - URL: <https://lanbook.ru/>
7. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - URL: <http://elibrary.ru>
8. Государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» - URL: <https://нэб.рф>
9. Электронный справочник «Информо» - URL: www.informio.ru
10. БД издательства SpringerNature
 - URL: <https://link.springer.com/>
 - URL: <https://materials.springer.com/>
 - URL: <https://zbmath.org/>
 - URL: <https://goo.gl/PdhJdo> - БД Nano
11. БД ScienceDirect - URL: <https://www.sciencedirect.com/>
12. БД Scopus - URL: <http://www.scopus.com>
13. БД Web of Science
 - URL: WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=Q1qfWXliB25bAcrIBPM&preferencesSaved
14. Архив научных журналов зарубежных издательств URL: <https://arch.neicon.ru>
15. Словари АBBYY Lingvo x3 Европейская версия – установлены стационарно на ПК ТГУ