

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬ-
НОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ Ф.Д. Кодзоева
«__» _____ 2021г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
ФИЗИКА НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ**

(индекс дисциплины по учебному плану, наименование дисциплины (модуля))

Направление подготовки (*магистратура*)
03.04.02. Физика

Направленность (*профиль подготовки*)
Физика полупроводников

Квалификация выпускника
магистр

Форма обучения - очная

Магас, 2021

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью курса является изучение основ физических основ неупорядоченных полупроводников с целью использования полученных знаний в высоких технологиях. Здесь рассматриваются понятия, физические свойства и закономерности их изменения в неупорядоченных полупроводниковых системах.

В результате изучения дисциплины студенты должны знать:

1. Основные понятия. Физики неупорядоченных полупроводников
2. Физические свойства и закономерности их изменения.

Излагаемый курс дает возможность получить дополнительную информацию о полупроводниках.

Перечень задач профессиональной деятельности выпускников:

Код и наименование профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции			Трудовые функции		
	Код	Наименование	Уровень квалификации	Наименование	Код	Уровень (подуровень) квалификации
01.001 Педагог (педагогическая деятельность в дошкольном, начальном общем, основном общем, среднем общем образовании) (воспитатель, учитель)	А	Педагогическая деятельность по проектированию и реализации образовательного процесса образовательных организациях дошкольного, начального общего, основного общего, среднего общего образования	6	Общепедагогическая функция. Обучение	А/01.6	6
				Воспитательная деятельность	А/02.6	6
				Развивающая деятельность	А/03.6	6
	В	Педагогическая деятельность по проектированию и реализации основных общеобразовательных программ	6	Педагогическая деятельность по реализации программ основного и среднего общего образования	В/03.6	6
01.003 Педагогическая деятельность в дополнительном образовании детей и взрослых	А	Преподавание по дополнительным общеобразовательным программам.	6	Организация деятельности обучающихся, направленной на освоение дополнительной общеобразовательной программы	А.01.6	6.1
				Организация досуговой деятельности обучающихся в процессе реализации дополнительной общеобразовательной программы	А.02.6	6.1

				Обеспечение взаимодействия с родителями (законными представителями) обучающихся, осваивающих дополнительную общеобразовательную программу, при решении задач обучения и воспитания	A.03.6	6.1
				Педагогический контроль и оценка дополнительной общеобразовательной программы	A.04.6	6.1
				Разработка программно-методического обеспечения реализации дополнительной общеобразовательной программы	A.05.6	6.2
	Б	Организационно-методическое обеспечение реализации дополнительных общеобразовательных программ	6	Организация и проведение исследований рынка услуг дополнительного образования детей и взрослых	V/01.6	6.3
6			Организационно-педагогическое сопровождение методической деятельности педагогов дополнительного образования	V/02.6	6.3	
6			Мониторинг и оценка качества реализации педагогами дополнительных общеобразовательных программ	V/03.6	6.3	
	С	Организационно-педагогическое обеспечение реализации дополнительных общеобразовательных программ	6	Организация дополнительного образования детей и взрослых по одному или нескольким направлениям деятельности	C/03.6	6.3

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП МАГИСТРАТУРЫ

Дисциплина «Физика неупорядоченных полупроводников» входит в пакет дисциплин блока 1 формирующего фундаментальное образование магистров по направлению 03.04.02 Физика. Профиль «Физика полупроводников». В табл. 2.1 приведены названия предметов и разделов,

которые необходимо усвоить для изучения дисциплины «Термодинамика конденсированных сред».

Дисциплина «Физика неупорядоченных полупроводников» является основной для изучения дисциплин: «Физики полупроводников», «Физические основы вакуумной техники», «Основы физико-химического анализа», «Физика полупроводниковых приборов», которые читаются параллельно или позже.

В табл. 2.1, 2.2 приведены названия предметов и разделов, которые необходимо усвоить для изучения дисциплины «Термодинамика конденсированных сред».

Связь дисциплины «Физика» с предшествующими дисциплинами и сроки их изучения	
Таблица 2.1	
	Дисциплины, предшествующие дисциплине «Термодинамика конденсированных сред»
1	Вузовский курс физики
2	Вузовский математики

Связь дисциплины «Термодинамика конденсированных сред» со смежными дисциплинами	
Таблица 2.2	
Дисциплина	Разделы, знание которых необходимо при изучении дисциплины
Физика конденсированного состояния	Основные постулаты и положения квантовой теории; туннельный эффект; строение атома и связь с периодической системой элементов Менделеева; высокотемпературная сверхпроводимость и простейшие устройства на ее основе
Физические Основы вакуума	Основы физики вакуума, тела; принципы и методы его получения.
Физика полупроводников	Теоретические основы физики полупроводников, квантовые объяснения всех процессов происходящих в них при внешних воздействиях. Классификация твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики; основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока
Основы физико-химического анализа	Методы экспериментального получения и исследования параметров и характеристик материалов, твердотельной, наноэлектроники. Технология изготовления элементов электронной техники. Основные тенденции развития электронной компонентной базы

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕРМОДИНАМИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

Таблица 3.1.			
Код компе-	Наименование	Индикатор достижения компе-	В результате освоения

тенции	компетенции	тенции (закрепленный за дисциплиной)	дисциплины обучающийся:
ОПК-1	Информационно-коммуникативная грамотность при решении профессиональных задач	ИДК ОПК1. Знает теорию и основные законы в области естественнонаучных дисциплин.	<p>Знает основные закономерности химической термодинамики; химическое равновесие; закономерности химической кинетики; способы выражения состава растворов;</p> <p>Умеет прогнозировать результаты физико-химических процессов, протекающих в неживых системах, опираясь на теоретические положения; научно обосновывать наблюдаемые явления; производить физико-химические измерения; представлять данные экспериментальных исследований в виде графиков и таблиц; производить наблюдения за протеканием химических реакций и делать обоснованные выводы; представлять результаты экспериментов и наблюдений в виде окончательного протокола исследования</p> <p>Владет теоретической подготовкой для планирования и проведения природоохранных мероприятий; основными методами исследований современной экологии; основными закономерностями физико-химических процессов.</p>
		ИДК ОПК1-2. Умеет использовать естественно-научные знания при объяснении экспериментов, решения профессиональных задач.	

ОПК-2	Научно-исследовательская деятельность	ОПК-2 Способен в сфере своей профессиональной деятельности организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики;	<p>Знает базовый математический аппарат, используемый для формализации прикладных задач физики; методы и приемы решения прикладных задач по расчету основных параметров кристаллических тел;</p> <p>Умеет применять математические методы в формализации решения прикладных задач физики; работать с современной научной аппаратурой, проводить измерения основных физических параметров кристаллов;</p> <p>Владеет навыками формализации прикладной задачи физики; навыками расчета наносистем; фундаментальными понятиями, законами и теориями современной теории кристаллов, а также методами тензорного описания физических свойств кристаллов.</p>
--------------	---------------------------------------	--	--

4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 4.1	
Виды учебной работы	Всего час/зач. ед.
Контактная работа (всего)	66/1,8
Лекции (Л)	22/0,6
Практические занятия (ПЗ)	44/1,2
Самостоятельная работа (всего)	
Подготовка к практическим занятиям	
Контроль самостоятельной работы	2
Вид отчетности	зачет
Общая трудоёмкость	/

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1				
РАЗДЕЛЫ ДИСЦИПЛИНЫ В СЕМЕСТРЕ	Лекции, (часы)	Практические занятия (ПР), час	СРС единицы (часы)	Всего, час
			3	5
РАЗДЕЛ I. Введение. особенности неупорядоченной системы	4	4		8
РАЗДЕЛ II. Локализация электронов в неупорядоченных полупроводниках	6	12		18
РАЗДЕЛ III. Энергетический спектр неупорядоченного полупроводниках	6	14		20
РАЗДЕЛ VI. Явления переноса в неупорядоченных полупроводниках	8	14		22
Итого	22	44		66

5.2. Лекционные занятия

Таблица 5.1		
№ п/п	Номер лекции	Наименование раздела и темы дисциплины
РАЗДЕЛ I. ВВЕДЕНИЕ. ОСОБЕННОСТИ НЕУПОРЯДОЧЕННОЙ СИСТЕМЫ		
1	1	Тема 1.1. Определение неупорядоченной системы
		Тема 1.2. Причины отсутствия дальнего порядка (модели беспорядка) в неупорядоченных полупроводниках
		Тема 1.3 Типы неупорядоченных систем
		Тема 1.4. Некоторые экспериментальные результаты исследования оптических свойств неупорядоченных полупроводников
2	2	Тема 1.5. Некоторые экспериментальные результаты исследования электрических свойств неупорядоченных полупроводников
		Тема 1.6. Общие особенности неупорядоченных систем
		Тема 1.7. Плотность энергетических состояний. Теоремы о корреляции
РАЗДЕЛ II. ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ		
3	3	Тема 2.1. О критериях существования локализованных состояний
4	4	Тема 2.2. О радиусе локализации электрона в неупорядоченных полупроводниках
5	5	Тема 2.3. Локализация Андерсона и переход <i>металл – диэлектрик</i>
		Тема 2.4. Переход <i>металл – диэлектрик</i> и минимальная металлическая проводимость
6	6	Тема 2.5. Локализация электронных состояний в легированных полупроводниках. Переход Мотта

7	7	Тема 2.6. О влиянии внешних воздействий на переход Мотта в неупорядоченных полупроводниках
8	8	Тема 2.7. О переходе Мотта в полупроводниках при возбуждении экситонов
РАЗДЕЛ III. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР НЕУПОРЯДОЧЕННОГО ПОЛУПРОВОДНИКА		
9	9-10	Тема 3.1. Изменение энергетического спектра полупроводника при учете случайного поля
10	11-13	Тема 3.2. Модели плотности состояний в неупорядоченных полупроводниках
11	14-15	Тема 3.3. Плавное искривление зон в полупроводниках со случайным полем. Энергетический спектр неупорядоченного полупроводника
РАЗДЕЛ VI. ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА В НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ		
		4.1. Проводимость по делокализованным состояниям
		4.2. О вероятности перескока носителей заряда с участием фононов в прыжковой проводимости
		4.3. Проводимость при перескоках фиксированной длины (локализованные состояния возле края подвижности, высокие температуры)
		4.4. Проводимость при перескоках переменной длины (локализованные состояния около энергии Ферми, низкие температуры)
		4.5. О проводимости сильно неоднородных полупроводников с точки зрения теории протекания

5.3 Практические занятия

Таблица 5.1		
№ п/п	Номер занятия	Наименование раздела и темы дисциплины
РАЗДЕЛ I. ВВЕДЕНИЕ. ОСОБЕННОСТИ НЕУПОРЯДОЧЕННОЙ СИСТЕМЫ		
1	1	Тема 1.1. Определение неупорядоченной системы
		Тема 1.2. Причины отсутствия дальнего порядка (модели беспорядка) в неупорядоченных полупроводниках
		Тема 1.3. Типы неупорядоченных систем
		Тема 1.4. Некоторые экспериментальные результаты исследования оптических свойств неупорядоченных полупроводников
2	2	Тема 1.5. Некоторые экспериментальные результаты исследования электрических свойств неупорядоченных полупроводников
		Тема 1.6. Общие особенности неупорядоченных систем
		Тема 1.7. Плотность энергетических состояний. Теоремы о корреляции
РАЗДЕЛ II. ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ		
3	3	Тема 2.1. О критериях существования локализованных состояний
4	4	Тема 2.2. О радиусе локализации электрона в неупорядоченных полупроводниках
5	5	Тема 2.3. Локализация Андерсона и переход металл – диэлектрик
		Тема 2.4. Переход металл – диэлектрик и минимальная металлическая проводимость

6	6	Тема 2.5. Локализация электронных состояний в легированных полупроводниках. Переход Мотта
7	7	Тема 2.6. О влиянии внешних воздействий на переход Мотта в неупорядоченных полупроводниках
8	8	Тема 2.7. О переходе Мотта в полупроводниках при возбуждении экситонов
РАЗДЕЛ III. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР НЕУПОРЯДОЧЕННОГО ПОЛУПРОВОДНИКА		
9	9-10	Тема 3.1. Изменение энергетического спектра полупроводника при учете случайного поля
10	11-13	Тема 3.2. Модели плотности состояний в неупорядоченных полупроводниках
11	14-15	Тема 3.3. Плавное искривление зон в полупроводниках со случайным полем. Энергетический спектр неупорядоченного полупроводника
РАЗДЕЛ VI. ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА В НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ		
		4.1. Проводимость по делокализованным состояниям
		4.2. О вероятности перескока носителей заряда с участием фононов в прыжковой проводимости
		4.3. Проводимость при перескоках фиксированной длины (локализованные состояния возле края подвижности, высокие температуры)
		4.4. Проводимость при перескоках переменной длины (локализованные состояния около энергии Ферми, низкие температуры)
		4.5. О проводимости сильно неоднородных полупроводников с точки зрения теории протекания

6. Образовательные технологии

1. А.Х. Матиев. Термодинамика полупроводникового материаловедения. Учебное пособие магистров специальности «Физика». - Магас:, ИнГГУ, 2021 223 с.: ил.66.
<https://disk.yandex.ru/i/EVFFHrwCrIdATg>

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Некоторые темы выносятся на самостоятельное изучение. Изучение этих вопросов возможно с использованием электронного курса дисциплины, написанного самим автором (А.Х. Матиев).

Перечень тем, выносимый для самостоятельной работы представлен в таблице 7.1.

7.1. План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов

1	Тема 2.6. О влиянии внешних воздействий на переход Мотта в неупорядоченных полупроводниках	Написание конспекта	изучить	Электронный курс ТКС (А.Х Матиев).	4
2	Тема 3.3. Плавное искривление зон в полупроводниках со случайным полем. Энергетический спектр неупорядоченного полупроводника	Написание конспекта	изучить	Электронный курс ТКС (А.Х Матиев).	4
3	4.2. О вероятности пере-скока носителей заряда с участием фононов в прыжковой проводимости	Написание конспекта	изучить	Электронный курс ТКС (А.Х Матиев).	4
4	Проводимость при пере-скоках переменной длины (локализованные состоя-ния около энергии Ферми, низкие температуры)	Написание конспекта	изучить	Электронный курс ТКС (А.Х Матиев).	4

7.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Студент, используя электронное учебное пособие, а также вузовский учебник по Молекулярной физике и термодинамике изучает данный материал и составляет конспект конспекты в домашних условиях.

а. Контроль освоения компетенций

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1	Проверка конспектов	РАЗДЕЛ I. Введение. особенности неупорядоченной системы	УК-1
2	Проверка конспектов	РАЗДЕЛ II. Локализация электронов в неупорядоченных полупроводниках	ОПК-1, ПК-1
3	Проверка конспектов	РАЗДЕЛ III. Энергетический спектр неупорядоченного полупроводниках	ОПК-1, ПК-1
4	Проверка конспектов	РАЗДЕЛ VI. Явления переноса в неупорядоченных полупроводниках	ОПК-1, ПК-1

8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

8.1. Примерный перечень вопросов, выносимых на экзамен

1. Определение неупорядоченной системы.
2. Причины отсутствия дальнего порядка (модели беспорядка) в неупорядоченных полупроводниках.
3. Типы неупорядоченных систем.
4. Некоторые экспериментальные результаты исследования оптических свойств неупорядоченных полупроводников.
5. Некоторые экспериментальные результаты исследования электрических свойств неупорядоченных полупроводников.
6. Общие особенности неупорядоченных систем.
7. Плотность энергетических состояний. Теоремы о корреляции.
8. О критериях существования локализованных состояний.
9. О радиусе локализации электрона в неупорядоченных полупроводниках
10. Локализация Андерсона и переход *металл – диэлектрик*.
11. Переход *металл – диэлектрик* и минимальная металлическая проводимость.
12. Локализация электронных состояний в легированных полупроводниках. Переход Мотта.
13. О влиянии внешних воздействий на переход Мотта в неупорядоченных полупроводниках.
14. О переходе Мотта в полупроводниках при возбуждении экситонов.
15. Изменение энергетического спектра полупроводника при учете случайного поля.
16. Модели плотности состояний в неупорядоченных полупроводниках.
17. Плавное искривление зон в полупроводниках со случайным полем. Энергетический спектр неупорядоченного полупроводника .
18. Проводимость по делокализованным состояниям .
19. О вероятности перескока носителей заряда с участием фононов в прыжковой проводимости.
20. Проводимость при перескоках фиксированной длины(локализованные состояния возле края подвижности, высокие температуры).
21. Проводимость при перескоках переменной длины (локализованные состояния около энергии Ферми, низкие температуры).
22. О проводимости сильно неоднородных полупроводников с точки зрения теории протекания.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Методические рекомендации преподавателю

Термодинамика конденсированных сред представляет собой обширную, междисциплинарную и довольно сложную область знаний. Поэтому, чтобы донести материал до студента, необходимо уделять особое внимание систематичности, наглядности и доступности изложения. В настоящее время фактически существует мало учебников и пособий по данной дисциплине. Поэтому основная нагрузка ложится на лекции. Для изучения студентами данного курса в принципе достаточно знание основ молекулярной физики, термодинамики, основных начал статистической физики и основ высшей математики.

8.2. Методические рекомендации студентам

Для изучения студентами данного курса в принципе достаточно знание основ молекулярной физики, термодинамики, основных начал статистической физики и основ высшей математики.

Так как учебников и учебных пособий по данной дисциплине очень мало, то основная нагрузка ложится на лекции и их конспектирование. Для дополнительного изучения и самостоятельной работы предлагается использовать рекомендуемую литературу.

VI. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

2. А.Х. Матиев. Термодинамика полупроводникового материаловедения. Учебное пособие магистров специальности «Физика». - Магас:, ИнГГУ, 2021 223 с.: ил.66.
<https://disk.yandex.ru/i/EVFFHrwCrIdATg>
3. В.И. Зиненко, В.П. Сорокин, П.П. Турчин. Основы физики твердого тела. Изд-во ФМ, Москва 2009, 335 с.
4. Р.Х. Дадашев Термодинамика поверхностных явлений. Изд-во ФМ, Москва 2008, 278 с.
5. Ч. Пул, Ф.Оуэнс, —Нанотехнологии, М., «Техносфера», 2008.
6. «Нанотехнологии в ближайшем десятилетии», под ред. М. Роко. М.. Мир. 2002.

Дополнительная литература

1. Н.Г. Хлебцов, В.А. Богатырев, Л.А. Дыкман, Б.Н. Хлебцов, "Золотые наноструктуры с плазмонным резонансом для биомедицинских исследований", Российские нанотехнологии, т.2 (3-4), 2009 (www.nanorf.ru).
2. S. Datta, —Electronic transport in mesoscopic systems, (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 7 1995).
3. S. Datta, —Quantum transport: atom to transistor, (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2005).

Рабочая программа дисциплины «Физика неупорядоченных полупроводников» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 Физика полупроводников, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «7» августа 2020 г. № 920.

Программу составила:

Д.ф-м.н., профессор _____ Матиев А.Х.
(Ф.И.О., _____ должность, _____ подпись)

Программа одобрена на заседании кафедры Физика физики

Протокол № 10 от «23» июля 2021 года

Зав. кафедрой [подпись] / Тюрикова З.С.
(подпись) (Ф.И.О.)

Программа согласована с заведующим выпускающей кафедрой _____

[подпись] / Тюрикова З.С.
(наименование кафедры) (подпись, Ф.И.О., дата)

Программа одобрена Учебно-методическим советом _____ факультета/института

протокол № 10 от «23» июля 2021 года

Председатель Учебно-методического совета факультета [подпись] / Налимова И.А.
(подпись) (Ф.И.О.)

Программа рассмотрена на заседании Учебно-методического совета университета

протокол № 10 от «30» июля 2021 г.

Председатель Учебно-методического совета университета [подпись] / Китовцев В.Б.
(подпись) (Ф.И.О.)

Сведения о переутверждении программы на очередной учебный год и регистрации изменений

Учебный год	Решение кафедры (№ протокола, дата)	Внесенные изменения	Подпись зав. кафедрой