

**ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Физико-технический факультет**

Кафедра теоретической физики и нанотехнологий



**УТВЕРЖДАЮ:**

Проректор по научно-методической  
и учебной работе

Е.И. Скафа

«05» апреля 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Методы исследования структуры твердых тел**

Направление подготовки:	03.04.02 Физика
Магистерская программа:	Физика конденсированного состояния
Образовательная программа:	академическая магистратура
Квалификация:	магистр
Форма обучения:	<u>очная</u> , очно-заочная, заочная

Донецк 2020

## УТВЕРЖДАЮ:

Декан физико-технического факультета

С.А.Фоменко



Программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) направления подготовки 03.04.02 Физика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28 августа 2015 г. № 913; Порядка организации учебного процесса в образовательных организациях высшего профессионального образования Донецкой Народной Республики, утвержденного приказом Министерства образования и науки ДНР № 1171 от «10» ноября 2017 г.; учебного плана и основной образовательной программы Физика конденсированного состояния, направления подготовки 03.04.02 Физика, разработанных в ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет».

Разработчик:

Доцент кафедры теоретической физики  
и нанотехнологий

В.И. Фионохин

Программа учебной дисциплины утверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий

Протокол №15 от «02» апреля 2020 г.

Заведующий кафедрой

В.Н.Варюхин

Программа учебной дисциплины одобрена учебно-методической комиссией физико-технического факультета

Протокол № 5 от «15» апреля 2020 г.

Председатель учебно-методической  
комиссии факультета  
ФИО

В.Н.Котенко

## 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

«Методы исследования структуры твердых тел» является дисциплиной вариативной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» по направлению подготовки 03.04.02 Физика (магистерская программа: физика конденсированного состояния).

Для изучения данной учебной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, сформированные в процессе изучения предметов «Кристаллофизика, теория и методы структурного анализа», «Физика твердого тела», «Структурообразование и явления переноса в кристаллах и тонких пленках», «Электронная микроскопия и рентгенография материалов» на предыдущем уровне образования.

Полученные знания используются студентами во время выполнения научно-исследовательской работы, при написании магистерской диссертации.

## 2. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

<i>Характеристика учебной дисциплины</i>		
Направление подготовки	03.04.02 Физика	
Магистерская программа	Физика конденсированного состояния	
Образовательная программа	академическая магистратура	
Квалификация	Магистр	
Количество содержательных модулей	1	
Дисциплина базовой / вариативной части образовательной программы	дисциплина вариативной части	
Формы контроля (МК, экзамен, зачет)	МК, экзамен	
Показатели	очная форма обучения	заочная форма обучения
Количество зачетных единиц (кредитов)	5	
Год подготовки	2	
Семестр	3	
Количество часов	180	
- лекционных	12	
- практических, семинарских	48	
- лабораторных		
- самостоятельной работы	120	
в т.ч. индивидуальное задание		
Недельное количество часов,	5	
в т.ч. аудиторных	5	

## 3. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цели и задачи

**Цель** дисциплины «Методы исследования структуры твердых тел» - получить основы знаний по теоретическим и прикладным вопросам современных методов исследования твердотельных структур.

**Задачи** дисциплины «Методы исследования структуры твердых тел» :

- изучение основных физических принципов и явлений, лежащих в основе современных методов исследования пленочных гомо-, гетеро- и наноструктур;
- приобретение знаний и умений, позволяющих делать оценку возможности, точности и надежности методов анализа;

- рассмотреть приемы комбинирования методов исследования для извлечения необходимой информации по дефектам, по уровню легирования и распределению примесей по площади и глубине;
- способствовать самостоятельной ориентации студентов на мировые достижения в данной области знаний.

**Требования к результатам освоения дисциплины.** Процесс изучения дисциплины «Методы исследования структуры твердых тел» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО РФ направления подготовки 03.04.02 Физика и основной образовательной программы высшего профессионального образования направления подготовки 03.04.02 Физика (магистерская программа: Физика конденсированного состояния):

**а) общекультурных (ОК):**

способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1);  
готовностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (ОК-3).

**б) общепрофессиональных (ОПК):**

готовностью к коммуникации в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности (ОПК-1);  
способностью к активной социальной мобильности, организации научно-исследовательских и инновационных работ (ОПК-3);  
способностью использовать свободное владение профессионально профилированными знаниями в области компьютерных технологий для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами направленности (профиля) подготовки (ОПК-5);  
способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе (ОПК-6);  
способностью демонстрировать знания в области философских вопросов естествознания, истории и методологии физики (ОПК-7).

**в) профессиональных (ПК):**

**научно-исследовательская деятельность:**

способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта (ПК-1);

**научно-инновационная деятельность:**

способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (ПК-2);

способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности (ПК-3);

**организационно-управленческая деятельность:**

способностью планировать и организовывать физические исследования, научные семинары и конференции (ПК-4);

способностью использовать навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей (ПК-5);

**педагогическая деятельность:**

способностью методически грамотно строить планы лекционных

и практических занятий по разделам учебных дисциплин и публично излагать теоретические и практические разделы учебных дисциплин в соответствии с утвержденными учебно-методическими пособиями при реализации программ бакалавриата в области физики (ПК-6); способностью руководить научно-исследовательской деятельностью в области физики обучающихся по программам бакалавриата (ПК-7).

**В результате изучения учебной дисциплины студент должен:**

**знать:**

- основополагающие материалы курса, возможности и физические принципы работы исследовательской техники;
- важные достижения в данной области знания, определяющие развитие полупроводниковой микро- и нанoeлектроники по публикациям в монографиях, периодических научных журналах и др. изданиях;
- об основных достижениях мирового уровня по современным средствам тонкого анализа поверхности, переходных областей, дефектов в пленочных структурах;
- видеть взаимосвязь и взаимообусловленность методов исследования, технологии производства полупроводниковых структур, разработки приборов на их основе и надежности результатов исследования.

**уметь:**

- объяснить полученные результаты исследования полупроводниковых структур (контактных площадок, пленок, переходных областей, подложек);
- формировать цели и задачи исследования, составлять план экспериментального исследования структур;
- делать оценку качественного и количественного анализа поверхности, переходных областей, дефектов в пленочных структурах, точности измерений;
- самостоятельно выполнять экспериментальную часть дипломной работы, базируясь на знаниях данного курса и специальных дисциплин

**владеть:**

- профессионально-профилированными знаниями в области информационных технологий, современных компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач курса;
- разделами физики, необходимыми для решения задач курса

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Порядковый номер и тема	Краткое содержание темы
<b>Содержательный модуль 1</b>	
<b>Тема 1. Современные тенденции исследования полупроводниковых структур</b>	Тенденция развития современной технологии микроэлектроники и аналитических средств исследования полупроводниковых структур.
<b>Тема 2. Метод ионной спектроскопии</b>	Физические принципы и аналитические возможности методов ионной спектроскопии.
<b>Тема 3. Метод электронной и фотоэлектронной</b>	Аналитические возможности методов электронной и фотоэлектронной спектроскопии.

спектроскопии	
<b>Тема 4. Дифракционные методы</b>	Дифракционные методы исследования материалов электронной техники.
<b>Тема 5. Зондовые методы</b>	Зондовые методы исследования.

### Тематический план

Содержательный модуль 1											
Названия содержательных модулей и тем	Количество часов										
	Очная форма обучения						Заочная форма обучения				
	всего	в т.ч.					всего	в т.ч.			
		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа
<b>Тема 1. Современные тенденции исследования полупроводниковых структур</b>	35	2	9		24						
<b>Тема 2. Метод ионной спектроскопии</b>	35	2	9		24						
<b>Тема 3. Метод электронной и фотоэлектронной спектроскопии</b>	35	2	9		24						
<b>Тема 4. Дифракционные методы</b>	37	3	10		24						
<b>Тема 5. Зондовые методы</b>	38	3	11		24						
<b>Итого по содержательному модулю 1</b>	180	12	48		120						
<b>Всего часов по дисциплине</b>	180	12	48		120						

## 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛЕКЦИОННЫХ, ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

### Темы лекционных занятий

№ п/п	Название темы	Количество часов
1	Современные тенденции исследования полупроводниковых структур	2
2	Метод ионной спектроскопии	2

3	Метод электронной и фотоэлектронной спектроскопии	2
4	Дифракционные методы	3
5	Зондовые методы	3
	<b>ВСЕГО</b>	<b>12</b>

### Темы практических занятий

<i>№ п/п</i>	<i>Название темы</i>	<i>Количество часов</i>
1	Решение задач на нахождение дифракционных рефлексов. Решение задач на поглощение рентгеновского излучения. Выполнение упражнений на нахождение периодов решётки	7
2	Выполнение упражнений на анализ электронных дифрактограмм и определение структуры поверхности. Выполнение упражнений на моделирование и анализ электронных дифрактограмм	7
3	Решение задач на расчёт характеристик электронного микроскопа. Решение задач на характеристики растрового электронного микроскопа.	7
4	Решение задач на предел чувствительности и разрешение электронного микроанализа.	7
5	Решение задач на расчёт потерь энергии электронов в твёрдом теле	7
6	Решение задач на расчёт вероятности Оже-переходов и излучательных переходов.	7
7	Решение задач на расчёт энергии и вероятности выхода фотоэлектронов	6
	<b>ВСЕГО</b>	<b>48</b>

## 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

### Организация самостоятельной работы студентов

<i>№ п/п</i>	<i>Название темы</i>	<i>Количество часов</i>
1	Сферическая и хроматическая аберрации магнитных линз	20
2	Принцип действия, устройство и режимы работы сканирующего электронного микроскопа.	20
3	Силы ван-дер-Ваальса. Принцип действия и режимы работы атомно-силового микроскопа.	20
4	Характеристическое тормозное и синхротронное рентгеновское излучение	20
5	Дифракция быстрых электронов на отражение и её применение для анализа поверхности.	20
6	Фотоэффект. Законы сохранения энергии и импульса при фотоэффекте.	20
	<b>ВСЕГО</b>	<b>120</b>

## 7. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Физические принципы методов ионной спектроскопии.
2. Методы исследования структуры магнитных доменов.
3. Основные структурные дефекты при описании процессов мегапластической деформации.
4. Спектрофотометрия. Анализ многокомпонентных систем.
5. Рентгенофлуоресцентный метод анализа.

## 8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

1. Общая классификация спектроскопических методов.
2. Энергетическая характеристика участков электромагнитного спектра, используемых в различных спектроскопических методах.
3. Параметры, характеризующие оптическое излучение: длина волны, частота, интенсивность и т.д.
4. Диаграмма энергетических уровней атома и молекулы.
5. Теоретические основы ИК спектроскопии. Колебания и структура молекул.
6. Качественный анализ по ИК – спектрам.
7. Количественный анализ по ИК – спектрам.
8. Современные методы ИК спектроскопии.
9. Параметры спектральных приборов: дисперсия, разрешающая сила, светосила прибора.
10. Спектрофотометрия. Селективное определение одного компонента в многокомпонентной системе.
11. Классификация методов рентгеновской спектроскопии.
12. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС).

## 9. ОБРАЗЕЦ МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

(образец варианта и критерии оценивания)

### ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет физико-технический

<i>Направление подготовки:</i>	<b>03.04.02 Физика</b>
<i>Магистерская программа:</i>	<b>Физика конденсированного состояния</b>
<i>Программа подготовки:</i>	<b>академическая магистратура</b>
<i>Семестр</i>	<b>3</b>
<i>Учебная дисциплина</i>	<b>Методы исследования структуры твердых тел</b>

### МОДУЛЬНАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

#### ВАРИАНТ №1

1. Современные методы ИК спектроскопии.
2. Параметры спектральных приборов: дисперсия, разрешающая сила, светосила прибора

Утверждено на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий,  
протокол № \_\_\_\_ от “\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заведующий кафедрой  
Преподаватель

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



**Критерии оценивания модульного контроля**

<i>Номер задания</i>	<i>Количество баллов</i>
Задание 1	15
Задание 2	15
<b><i>Всего</i></b>	<b><i>30</i></b>

**10. ОБРАЗЕЦ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА*****Теоретические вопросы к экзамену***

1. Тенденция развития современной технологии микроэлектроники.
2. Физические методы электронного парамагнитного резонанса.
3. Обобщенное неравенство Гиббса для учета структурных дефектов.
4. Аналитические средства исследований полупроводниковых структур.
5. Физические основы ядерного магнитного резонанса.
6. Система эволюционных уравнений для описания структурных дефектов.
7. Аналитические возможности методов ионной спектроскопии.
8. Устройство и принцип действия сканирующего туннельного микроскопа.
9. Законы упрочнения в процессах мегапластической деформации.
10. Физические основы и возможности метода электронной спектроскопии.
11. Аналитические методы анализа дефектной структуры в твердых телах
12. Физические основы и возможности метода фотоэлектронной спектроскопии
13. Тенденция развития современной технологии микроэлектроники
14. Неравновесная эволюционная термодинамика вакансий
15. Физические основы и возможности дифракционных методов
16. Предельные возможности оптической микроскопии
17. Энергетика и размерности структурных дефектов
18. Физические основы и возможности зондовых методов исследований
19. Физические основы ИК-спектроскопии.

**ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Физико-технический факультет

*Направление подготовки:* **03.04.02 Физика**  
*Магистерская программа:* **физика конденсированного состояния**  
*Программа подготовки:* **академическая магистратура**  
*Семестр* **3**  
*Учебная дисциплина* **Методы исследования структуры твердых тел**

**БИЛЕТ №1**

1. Тенденция развития современной технологии микроэлектроники
2. Физические методы электронного парамагнитного резонанса
3. Обобщенное неравенство Гиббса для учета структурных дефектов

Утверждено на заседании кафедрой теоретической физики и нанотехнологий, протокол №  
 \_\_\_ от “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой  
 Экзаменатор

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Критерии оценивания экзамена**

<b>Номер задания</b>	<b>Количество баллов</b>
Задание 1	15
Задание 2	15
Задание 3	20
<b>Всего</b>	<b>50 баллов</b>

**11. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ**

По курсу «Методы исследования структуры твердых тел» предполагается проведение промежуточной аттестации в виде модульного контроля, выполнение индивидуальной работы и экзамена. Экзамен сдают студенты с целью повышения рейтинга.

***Распределение баллов, которые могут получить студенты  
в процессе изучения дисциплины***

<b>Организационно учебная работа студента</b>	<b>СРС</b>		<b>Всего</b>
	<b>Индивидуальная работа</b>	<b>Модульный контроль</b>	
max 10 баллов	max 10 баллов	max 30 баллов	100

***Шкала соответствия баллов национальной шкале***

<b>Оценка по шкале ECTS</b>	<b>Оценка по 100-балльной шкале</b>	<b>Оценка по государственной шкале (экзамен, дифференцированный зачет)</b>	<b>Оценка по государственной шкале (зачет)</b>
<b>A</b>	90-100	5 (отлично)	зачтено
<b>B</b>	80-89	4 (хорошо)	зачтено
<b>C</b>	75-79	4 (хорошо)	зачтено
<b>D</b>	70-74	3 (удовлетворительно)	зачтено
<b>E</b>	60-69	3 (удовлетворительно)	зачтено
<b>FX</b>	35-59	2 (неудовлетворительно) с возможностью повторной сдачи	не зачтено
<b>F</b>	0-34	2 (неудовлетворительно) с возможностью повторной сдачи при условии обязательного набора дополнительных баллов	не зачтено

**12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА**

Лекционные и практические занятия по учебной дисциплине «Методы исследования структуры твердых тел» проводятся в учебной лаборатории №015 «Микро и нано структуры». Оборудована комплектом учебной мебели на 12 посадочных мест, комплект рабочего места преподавателя, фломастерная доска, масс-спектрометр (МИ 1201АТ-01), микроскоп электронный растровый РЭМ-106 И, установка для изучения оптических свойств тонких пленок (п/п диэлектриков), 1 компьютер для снятия и обработки данных с лицензионным программным обеспечением, доступом к сети Интернет.

Самостоятельная работа студентов проходит в читальном зале № 3 авторефератов и диссертаций, укомплектован комплектом учебной мебели на 50 посадочных мест, оснащен

компьютером в комплекте (2 шт.), расположен по адресу г. Донецк, пр. Театральный, 13, каб. 106.

Индивидуальные и групповые консультации студентам для проведения самостоятельной работы предоставляются в кабинете кафедры теоретической физики и нанотехнологий, укомплектованном комплектом мебели на 12 посадочных мест, оснащенный компьютером в комплекте (1 шт.), принтером, сканером, расположенном по адресу г. Донецк, пр. Театральный 13, ауд. 256.

### 13. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

п/п	Наименование	Кол-во экземпляров в библиотеке ДонНУ	Наличие электронной версии в ЭБС
<i>Основная литература</i>			
1.	Фиохин В.И. Методы исследования структуры твердых тел [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / В.И.Фиохин – Донецк : ДонНУ, 2019. – Электронные данные (1файл)		+
2.	Терехов С. В. Физика нанобъектов: [учебное пособие] / С. В. Терехов, В. Н. Варюхин; ГОУ ВПО Донецкий национальный университет, Физико-технический факультет; Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина НАН Украины. – Донецк: ДонНУ, 2013. – 418 с.	3	+
3.	Павлов П. В. Физика твердого тела: Учеб. для студентов вузов, обучающ. по направлению "Физика" и др. / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. – 3-е изд. – М.: Высш. шк., 2000. – 494 с.	1	
<i>Дополнительная литература</i>			
4.	Пашинская Е. Г. Физика деформированных сред: учебное пособие для студентов специальности 03.03.02 "Физика" / Е. Г. Пашинская, В. Н. Варюхин; ГОУ ВПО Донецкий национальный университет, Физико-технический факультет, Кафедра теоретической физики и нанотехнологий. – Донецк: ГОУ ВПО «ДонНУ», 2017. – 173 с.	11	+
5.	Боровко Е. В. Лекции по физике твердого тела: Учеб. пособие для студентов физ. фак. ун-тов. Ч. 1 / Е. В. Боровко, А. И. Бажин ; Донец. нац. ун-т ; Каф. физики твердого тела и физ. материаловед. – Донецк: ДонНУ 2001. – 179 с.	1	
6.	Савельев И. В. Курс общей физики: В 5 кн.: [Учеб. пособие для вузов]. Кн. 5: Квантовая оптика; Атомная физика; Физика твердого тела; Физика атомного ядра и элементарных частиц / И. В. Савельев. – М.: Астрель: АСТ, 2002. – 368 с.	1	
7.	Гинзбург И. Ф. Введение в физику твердого тела. Основы квантовой механики и статистической физики с отдельными задачами физики твердого тела: учеб. пособие / И.Ф. Гинзбург. – СПб.: Лань; М.; Краснодар, 2007. – 537 с.	1	

8.	Физика твердого тела [Электронный ресурс]: 28 кн. в PDF-формате/Лаб. "Компьютер. информ. технологии". – М.: Лаб. "Компьютер. информ. технологии", 2004. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).		+
----	---	--	---

#### 14. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

<http://donnu.ru/> – сайт ДонНУ.

<http://library.donnu.ru/> – сайт библиотеки ДонНУ.

<http://library.donnu-support.ru/catalog/scripts/wek2.exe/mb> - Электронный каталог ДонНУ

#### 15. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Windows 7 PRO (корпоративная лицензия ДОННУ № 46484614);
2. Microsoft Office (корпоративная лицензия ДОННУ лицензия № 46472919);
3. Microsoft Visual Studio (лицензия программы DreamSpark для высших учебных заведений);
4. Лицензии GPL, Apache, BSD для свободного программного обеспечения: FreeLab, Scilab, Free Pascal, Антивирус Касперского, Adobe Acrobat Reader, xPDF

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий с изменениями (без изменений) на 20\_\_\_\_ год.

Протокол № \_\_\_\_ от “\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий с изменениями (без изменений) на 20\_\_\_\_ год.

Протокол № \_\_\_\_ от “\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_