

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
 «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

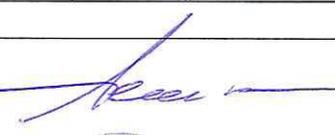
Директор ИЯТШ

Долматов О.Ю.

«26» 06 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРИЕМ 2018 г.**  
**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная**

Основы анализа поверхности твердых тел и тонких плёнок		
Направление подготовки/ специальность	03.03.02 Физика	
Образовательная программа (направленность (профиль))	Физика конденсированного состояния	
Специализация	Физика конденсированного состояния	
Уровень образования	высшее образование - бакалавриат	
Курс	4	семестр 7,8
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	6	
Виды учебной деятельности	Временной ресурс	
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	46 (24, 22)
	Практические занятия	38 (16, 22)
	Лабораторные занятия	
	ВСЕГО	84 (40, 44)
Самостоятельная работа, ч		132 (68, 64)
в т.ч. отдельные виды самостоятельной работы с выделенной промежуточной аттестацией (курсовой проект, курсовая работа)		курсовая работа
ИТОГО, ч		216

Вид промежуточной аттестации	ЭКЗАМЕН, Диф. зачет	Обеспечивающее подразделение	ОЭФ
Заведующий кафедрой - руководитель Отделения на правах кафедры Руководитель ООП Преподаватель			Лидер А.М.
			Склярова Е.А.
			Никитенков Н.Н.
			Сыпченко В.С.

2020 г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5. Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенций)	
		Код	Наименование
ОПК(У)-3.	Способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	ОПК(У)-3.У1	Умеет использовать базовые теоретические знания общей физики для решения профессиональных задач
		ОПК(У)-3.У2	Умеет использовать базовые знания теоретической физики для решения профессиональных задач
ПК(У)-3	Способность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований	ПК(У)-3.В1	Владеет опытом применения электрофизических и плазменных установок и ускорительных систем, электронных микроскопов и приборов для исследования поверхности твердых тел
		ПК(У)-3.У1	Умеет проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в профессиональной области
		ПК(У)-3.31	Знает основы взаимодействия излучения и плазмы с веществом
ПК(У)-4	Способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	ПК(У)-4.У2	Умеет осваивать новые методы и приборы исследования в области физики конденсированного состояния
ПК(У)-7	Способность участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме	ПК(У)-7.В1	Владеет опытом выступлений с докладами и сообщениями. Защита курсовых проектов и др.

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части Блока 1 учебного плана образовательной программы.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Компетенция
Код	Наименование	
РД-1	Применять знания общих законов, теорий, уравнений, современных экспериментальных методов необходимых для анализа конкретных образцов; подбирать условия эксперимента и знать механизмы получения информации для изотопного, химического и структурного анализа;	ОПК(У)-3.
РД -2	Применять экспериментальные методы определения изотопного, химического, фазового состава поверхности и тонких пленок;	ПК(У)-3 ПК(У)-4
РД-3	Выполнять обработку и анализ данных, полученных при теоретических и экспериментальных исследованиях на аналитических установках; распознавать, обрабатывать, интерпретировать и представлять экспериментальные данные, полученные различными методами.	ПК(У)-3 ПК(У)-4 ПК(У)-7

РД-4	Знать типичные экспериментальные зависимости, связанные с изменениями изотопного, химического и структурного состава исходных и экспонированных образцов.	ОПК(У)-3. ПК(У)-3
------	---	----------------------

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
<b>Раздел (модуль) 1. Строение поверхности.</b>	РД-1	Лекции	<b>4</b>
		Практические занятия	<b>2</b>
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	<b>5</b>
<b>Раздел (модуль) 2. Экспериментальные особенности диагностики поверхности.</b>	РД-1 РД-2	Лекции	<b>4</b>
		Практические занятия	<b>2</b>
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	<b>15</b>
<b>Раздел (модуль) 3. Явления, лежащие в основе методов исследования поверхности.</b>	РД-1 РД-2	Лекции	<b>6</b>
		Практические занятия	<b>4</b>
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	<b>13</b>
<b>Раздел (модуль) 4. Теоретические основы методов электронной спектроскопии поверхности.</b>	РД-3	Лекции	<b>8</b>
		Практические занятия	<b>6</b>
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	<b>25</b>
<b>Раздел (модуль) 5. Теоретические основы методов ионной спектроскопии поверхности.</b>	РД-2 РД-3	Лекции	<b>2</b>
		Практические занятия	<b>2</b>
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	<b>18</b>
<b>Раздел (модуль) 6. Теоретические основы методов структурного анализа</b>	РД-3 РД-4	Лекции	<b>14</b>
		Практические занятия	<b>12</b>
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	<b>30</b>
<b>Раздел (модуль) 7. Основы методов исследования топографии и химического состава поверхности.</b>	РД-3 РД-4	Лекции	<b>8</b>
		Практические занятия	<b>10</b>
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	<b>34</b>

Содержание разделов дисциплины:

##### **Раздел 1. Строение поверхности.**

В разделе представлены основные понятия кристаллографии, строение идеальной и реальной поверхности, описания и обозначения реальной поверхности.

##### **Темы лекций:**

1. Вводная. Основные понятия кристаллографии. Индексы Миллера и Вейса. Строение идеальной и реальной поверхности.
2. Описания и обозначения реальной поверхности. Электронная структура поверхности.

### **Темы практических занятий:**

1. Индексы Миллера и Вейса.

### **Раздел 2. Экспериментальные особенности диагностики поверхности.**

В разделе представлены требования, предъявляемые к экспериментальным условиям при исследовании поверхности, условия существования динамически чистой поверхности, а также приведены основные узлы вакуумных аналитических установок.

### **Темы лекций:**

3. Требования к экспериментальным условиям при исследовании поверхности. Сорбция–десорбция. Динамическая чистота поверхности.
4. Основные вакуумные узлы аналитических установок (электронная оптика, ионные и электронные пушки).

### **Темы практических занятий:**

2. Описания и обозначения реальной поверхности. Вакуум и сверхвысокий вакуум.

### **Раздел 3. Явления, лежащие в основе методов исследования поверхности.**

В разделе представлены классификации явлений, лежащих в основе методов исследования поверхности, и виды эмиссий.

### **Темы лекций:**

5. Классификация явлений, лежащих в основе методов исследования поверхности. Виды и сущность ионной эмиссии (вторичная, термическая, полевая и т.д).
6. Виды и сущность электронной эмиссии (вторичная, термическая, полевая и т.д).
7. Рентгеновская фотоэлектронная эмиссия. Рентгеновская флуоресценция, Оже-процесс и оже-электронная эмиссия.

### **Темы практических занятий:**

3. Вакуум и сверхвысокий вакуум. Сорбция–десорбция. Динамическая чистота поверхности.
4. Основное назначение и параметры оптики и источников заряженных частиц («пушек»).

### **Раздел 4. Теоретические основы методов электронной спектроскопии поверхности.**

В разделе представлена теория столкновения электронов с поверхностью твердого тела и процессы их взаимодействия.

### **Темы лекций:**

8. Сведения из теории столкновений частиц. Глубина выхода электронов и исследуемый объем вещества.
9. Процессы и эффекты при взаимодействии электронов с веществом. Ударная электронная ионизация.
10. Плазмы. Средняя длина свободного пробега электронов
11. Потери энергии и длина пробега первичных электронов. Эксперимент и теория.

### **Темы практических занятий:**

5. Основные типы и параметры ионных и электронных пушек. Методы ионизации.
6. Вторичная, полевая и термо-ионная эмиссия в энергетических диаграммах. Вторичная электронная эмиссия. Классификация по энергиям выхода.
7. Энергии Оже- и рентгеновских фотоэлектронов, и характеристических рентгеновский квантов. Средняя длина свободного пробега электронов. Теория и эксперимент.

### **Раздел 5. Теоретические основы методов ионной спектроскопии поверхности.**

В разделе представлена теория каскадного линейного распыления поверхности твердого тела ионами.

**Темы лекций:**

12. Классификация процессов ионного распыления. Распыление путем каскадов атомных столкновений. ЛКТР.

**Темы практических занятий:**

8. Потери энергии и длина пробега первичных электронов. Эксперимент и теория. Пробеги первичных электронов в твердых телах.

**Раздел 6. Теоретические основы методов структурного анализа.**

В разделе представлены: классификация процессов ионообразования при распылении; термодинамическое описание процессов ионизации и возбуждения; дифракция излучений и частиц; особенности структурного анализа тонких плёнок.

**Темы лекций:**

13. Модели теплового пика.

14. Классификация процессов ионообразования при распылении. Ионизация вторичных атомов при каскадном распылении.

15. Образование вторичных ионов при разрыве связей (Модель разрыва связей)

16. Термодинамическое описание процессов ионизации и возбуждения

17. Дифракция излучений и частиц на кристаллической решетке, корпускулярно-волновой дуализм.

18. Особенности рентгеновского и электронного структурного анализа поверхности. Построение Эвальда.

19. Особенности структурного анализа тонких плёнок.

**Темы практических занятий:**

9. Расчет вероятности ионизации вторичных атомов при распылении за счет каскадов атомных столкновений.

10. Электронная структура поверхности

11. Электронная конфигурация поверхности.

12. Ионизации и возбуждения

13. Дифракция излучений и частиц, корпускулярно-волновой дуализм.

14. Корпускулярно-волновой дуализм.

15. Модели и методы роста пленок

**Раздел 7. Основы методов исследования топографии и химического состава поверхности.**

В разделе представлены основы сканирующей зондовой микроскопии, микро- и наноиндентирование и адгезия тонких пленок.

**Темы лекций:**

20. Основы сканирующей зондовой микроскопии.

21. Основы исследования твердости поверхности (микро- и наноиндентирование).

22. Сечения взаимодействия. Сечения передачи энергии в электронных взаимодействиях

23. Исследования адгезии тонких пленок.

**Темы практических занятий:**

16. Зондовой микроскопии.

17. Интерпретация диаграмм «нагрузка–разгрузка».

18. Основные типы и параметры ионных и электронных пушек. Методы ионизации

19. Исследования адгезии и трибология тонких пленок

**Тематика курсовых работ (теоретический раздел)**

1. Полевая ионная эмиссия и полевой ионный микроскоп.

2. Полевая электронная эмиссия и полевой электронный микроскоп.

3. Вторичная ионная эмиссия и вторичная ионная масс-спектрометрия.
4. Рассеяние ионов низких энергий и спектроскопия РИНЭ.
5. Вторичная электронная эмиссия и электронная оже-спектроскопия.
6. Фотоэлектронная эмиссия и ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия.
7. Фотоэлектронная эмиссия и рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.
8. Высоковакуумные узлы аналитических установок для диагностики поверхности.
9. Резерфордское обратное рассеяние в элементном и структурном анализе поверхности.
10. Ионно-электронная эмиссия и ионно-нейтрализационная спектроскопия.
11. Дифракция электронов низких энергий в исследованиях структуры поверхности.
12. Термо-ионная эмиссия и термодесорционная спектроскопия .

## **5. Организация самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Работа в электронном курсе (изучение теоретического материала, выполнение индивидуальных заданий и контролируемых мероприятий и др.);
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- Выполнение домашних заданий и домашних контрольных работ;
- Подготовка к практическим и семинарским занятиям;
- Выполнение курсовой работы;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям;

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **6.1. Учебно-методическое обеспечение**

1. Никитенков Н. Н. Основы анализа поверхности твердых тел методами атомной физики: учебное пособие / Н. Н. Никитенков; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2014/m216.pdf>. – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ. – Текст: электронный.
2. Никитенков, Н. Н. Технология конструкционных материалов. Анализ поверхности методами атомной физики: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / Н. Н. Никитенков; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Москва: Юрайт, 2016. – 203 с.
3. Никитенков Н. Н. Основы изотопного, химического и структурного анализа поверхности методами атомной физики: учебное пособие / Н. Н. Никитенков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – 197 с.

### **Дополнительная литература (указывается по необходимости)**

1. Вудраф Д. Современные методы исследования поверхности / Д. Вудраф Д, Т. Делчар. – Москва: Мир, 1989. – 564 с. – URL: [http://publ.lib.ru/ARCHIVES/V/VUDRAF\\_D/\\_Vudraf\\_D..html](http://publ.lib.ru/ARCHIVES/V/VUDRAF_D/_Vudraf_D..html) . – Текст: электронный.
2. Введение в физику поверхности / К. Оура, В. Г. Лифшиц, А. А. Саранин, А. В. Зотов [и др.]. – Москва : Наука, 2006. – 490 с. – URL: [https://www.studmed.ru/oura-k-lifshic-vg-saranin-aa-zotov-av-katayama-m-vvedenie-v-fiziku-poverhnosti\\_590c8e5b2fb.html](https://www.studmed.ru/oura-k-lifshic-vg-saranin-aa-zotov-av-katayama-m-vvedenie-v-fiziku-poverhnosti_590c8e5b2fb.html). – Текст: электронный.

## 6.2. Информационное и программное обеспечение

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):

1. Электронный курс «Основы анализа поверхности твердых тел методами атомной физики Часть 1»: <https://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=2189>
2. Электронный курс «Основы анализа поверхности твердых тел методами атомной физики Часть 2»: <https://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=2067>
3. Электронный курс «Isotopic, Chemical and Structural Surface Analysis with Methods of Atomic Physics» <https://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=2482>
4. Научно-электронная библиотека eLIBRARY.RU - <https://elibrary.ru/defaultx.asp>

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

1. Microsoft Office Standard 2013 Russian OLP NL AcademicEdition (021-10232)
2. Cisco Webex Meetings
3. Zoom Zoom.

## 7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (научная лаборатория) 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 43 204	Масс-спектрометр MX 7304 - 1 шт.; Генератор чистого водорода ГВЧ-12М1 - 1 шт.; Блок фотоприемный - 1 шт.; Масс-спектрометр MS-7201 - 1 шт.; Источник излучения - 1 шт.; Система охлаждения и терморегулирования ионно-плазменной установки - 1 шт.; Система вакуумирования - 1 шт.; Ионная пушка - 1 шт.; Насос турбомолекулярный ТМП-303М - 1 шт.; Масс-спектрометрический комплекс - 2 шт.; Вакууметр СС10 Televac - 2 шт.; Высоковакуумный шибер ДУ63 CF - 1 шт.; Установка для исследования радиационного и термического выделения газов из неорганических материалов - 2 шт.; Чиллер замкнутого типа HRS012-AF-20-B - 1 шт.; Весы лабораторные ВЛТЭ-150г с гирей калибровочной 100 F1 - 1 шт.; Источник ускоренных электронов ИУЭ-100/2 - 1 шт.; Бидистиллятор ТУР 2102 - 1 шт.; Блок пит.Шагового двигат. - 1 шт.; Насос спиральный ISP-500C-SH 101040025597 - 1 шт.; Установка для насыщения металлов, полупроводников и диэлектриков изотопами водорода из плазмы высокочастотного разряда УНМ-02 - 1 шт.; Установка для проведения опыта Франка и Герца с ртутью - 1 шт.; Безмаслянный спиральный форвакуумный насос Anest Iwata ISP-500C - 2 шт.; Аналитический модуль для исследования оптических спектров материалов в атомарном водороде и плазме - 1 шт.; Вакууметр 979В-CF40 - 1 шт.; Спиральный форвакуумный насос - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 4 посадочных мест; Шкаф для документов -

		2 шт.;Тумба подкатная - 5 шт.;Стол лабораторный - 5 шт.;Полка - 1 шт.;Компьютер - 6 шт.; Принтер - 4 шт
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 43 207	Комплект учебной мебели на 26 посадочных мест Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт
3.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 43 206	Комплект учебной мебели на 50 посадочных мест Проектор - 1 шт.; Телевизор - 1 шт.; Компьютер - 1 шт

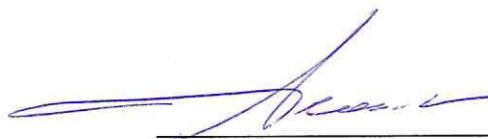
Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 03.03.02 Физика (приема 2018 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

Должность	Подпись	ФИО
Профессор		Никитенков Н.Н.
Доцент		Сышченко В.С.

Программа одобрена на заседании выпускающего Отделения ЭФ (протокол от « 14 » 06 2018 г. № 3 ).

Руководитель отделения ЭФ ИЯТШ, д.т.н.

  
/Лидер А.М./  
подпись

**Лист изменений рабочей программы дисциплины:**

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании отделения ОЭФ (протокол)
2018/2019 уч. год	1. Изменена система оценивания	От «28» августа 2018г. № 4
2019/2020 уч. год	1. Обновлено программное обеспечение 2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем 3. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС	от «20» июня 2019 г. № 6
2020/2021 уч. год	1. Обновлено программное обеспечение 2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем 3. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС	от «31» августа 2020г. № 3