

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.

«29» 06 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2019 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		46 (24, 22)
	Лабораторные занятия		
	ВСЕГО		92 (48, 44)
Самостоятельная работа, ч		124 (60, 64)	
в т.ч. отдельные виды самостоятельной работы с выделенной промежуточной аттестацией (курсовой проект, курсовая работа)		курсовая работа	
ИТОГО, ч		216	

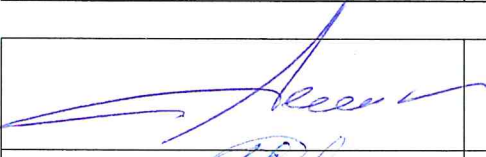
Вид промежуточной
аттестации

**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	Готовность 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	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.
Раздел (модуль) 1. Строение поверхности.	РД-1	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	3
Раздел (модуль) 2. Экспериментальные особенности диагностики поверхности.	РД-1 РД-2	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	9
Раздел (модуль) 3. Явления, лежащие в основе методов исследования поверхности.	РД-1 РД-2	Лекции	6
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	13
Раздел (модуль) 4. Теоретические основы методов электронной спектроскопии поверхности.	РД-3	Лекции	8
		Практические занятия	12
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	25
Раздел (модуль) 5. Теоретические основы методов ионной спектроскопии поверхности.	РД-2 РД-3	Лекции	2
		Практические занятия	6
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	10
Раздел (модуль) 6. Теоретические основы методов структурного анализа	РД-3 РД-4	Лекции	14
		Практические занятия	14
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	30
Раздел (модуль) 7. Основы методов исследования топографии и химического состава поверхности.	РД-3 РД-4	Лекции	8
		Практические занятия	8
		Лабораторные занятия	
		Самостоятельная работа	34

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.
7. Вторичная электронная эмиссия. Классификация по энергиям выхода.
8. Энергии Оже- и рентгеновских фотоэлектронов, и характеристических рентгеновский квантов.
9. Средняя длина свободного пробега электронов. Теория и эксперимент.
10. Потери энергии и длина пробега первичных электронов. Эксперимент и теория.

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:

11. Пробеги первичных электронов в твердых телах.

12. Расчет коэффициентов ионного распыления поверхности металлов.

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:

13. Расчет вероятности ионизации вторичных атомов при распылении за счет каскадов атомных столкновений
14. Электронная структура поверхности
15. Электронная конфигурация поверхности.
16. Ионизации и возбуждения
17. Дифракция излучений и частиц, корпускулярно-волновой дуализм.
18. Корпускулярно-волновой дуализм.
19. 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:

20. Зондовой микроскопии.
21. Интерпретация диаграмм «нагрузка–разгрузка».
22. Основные типы и параметры ионных и электронных пушек. Методы ионизации
23. Исследования адгезии и трибология тонких пленок

Тематика курсовых работ (теоретический раздел)

1. Рассеяние ионов низких энергий (РИНЭ) и спектроскопия РИНЭ.
2. Вторичная электронная эмиссия (ВЭЭ) и электронная ожэ-спектроскопия (ЭОС). Послойный анализ методами ВИМС и ЭОС.
3. Полевая ионная эмиссия (ПИЭ) и полевой ионный микроскоп (ПИМ)
4. Полевая электронная эмиссия (ПЭЭ) и полевой электронный микроскоп (ПЭМ)
5. Вторичная ионная эмиссия (ВИЭ) и вторичная ионная масс-спектрометрия (ВИМС).
6. Фотоэлектронная эмиссия (ФЭЭ) и ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (УФЭС)

7. Фотоэлектронная эмиссия (ФЭЭ) и рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС).
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 (ИНС.
11. Дифракция электронов низких энергий в исследованиях структуры поверхности
12. Термо-ионная эмиссия и термодесорционная спектроскопия (ТДС).
14. Методы исследования механических свойств поверхности (параметры твердости и индентирования).
15. Методы исследования механических свойств поверхности и тонких плёнок (трение, адгезия).

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. – 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

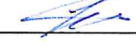
В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

№	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 МС-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 979B-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 2019 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

Должность	Подпись	ФИО
профессор		Никитенков Н.Н.
доцент		Сыпченко В.С.

Программа одобрена на заседании выпускающего Отделения ЭФ (протокол от «20»__06__2019 г. №6_).

Зав. кафедрой -руководитель ОЭФ на правах кафедры
д.т.н, профессор

 /Лидер А.М./
подпись

Лист изменений рабочей программы дисциплины:

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании отделения ОЭФ (протокол)
2020/2021 уч. год	Внесены изменения в п.6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины, добавлено программное обеспечение Cisco Webex Meetings и Zoom Zoom.	Протокол № 3 от 20.08.2020