

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
«УДМУРТСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР»  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(УдмФИЦ УрО РАН)

УТВЕРЖДАЮ

Директор УдмФИЦ УрО РАН,  
доктор физико-математических наук

М.Ю. Альес

« 05 » апреля 2018 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**Физика поверхности**

Направление подготовки  
03.06.01 Физика и астрономия

Направленность (профиль) подготовки  
01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики»

Квалификация (степень) выпускника  
*Исследователь. Преподаватель-исследователь.*

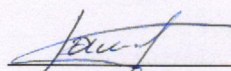
Форма обучения  
*очная*

**Ижевск**

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Минобрнауки России от 30.07.2014 г. № 867, программой-минимум по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», паспортом специальности научных работников 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики»; учебным планом подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (далее УдмФИЦ УрО РАН) по направлению 03.06.01 Физика и астрономия.

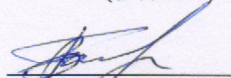
Составитель рабочей программы:

с.н.с., к.т.н.

  
(подпись)

П.В. Быков

с.н.с., к.ф.-м.н.

  
(подпись)

Ф.З. Гильмутдинов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании Президиума Удмуртского федерального исследовательского центра УрО РАН.

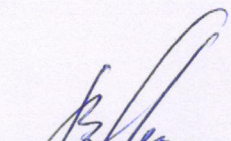
Протокол № 1 от 03.04. 2018 г.

Глав.ученый секретарь \_\_\_\_\_ Поздеев И.Л.

  
(подпись)


Согласовано:

Первый заместитель директора  
по естественно - научному направлению, д.ф.-м.н.

  
(подпись)

В.Ю. Трубицын

Зав. аспирантурой, к.ф.-м.н.

  
(подпись)

М.Ю. Лебедева

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью** освоения дисциплины аспирантами является формирование знаний и современных представлений в области физики поверхности, а также об основных методах исследования и модификации поверхности материалов и изменения их физических свойств при различных внешних воздействиях.

### **Задачи:**

- изучение современных представления о процессах на поверхности материалов.
- изучение современных методов исследования состава, структуры и топографии поверхности.
- изучение влияния внешних воздействий на поверхность.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП АСПИРАНТУРЫ

Учебная дисциплина «Физика поверхности» является базовой дисциплиной по выбору вариативной части Блока 1 «Образовательные дисциплины (модули)» направления подготовки 03.06.01 Физика и астрономия направленности 01.04.01 Приборы и методы экспериментальной физики. Для изучения данной дисциплины аспирантам необходимо иметь знания по общей физике, высшей математике, а также знания и умения, приобретенные обучающимися в результате освоения дисциплин «Приборы и методы экспериментальной физики» и «Физика конденсированного состояния».

Дисциплина изучается на 3 курсе и необходима при подготовке выпускной квалификационной работы аспиранта.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Физика поверхности» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ООП по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия:

### **Общепрофессиональные компетенции (ОПК):**

**ОПК-1** – Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.

#### **знать:**

- передовые достижения в области научных интересов, современные проблемы и методологию теоретических и экспериментальных работ в области профессиональной деятельности З1(ОПК-1);
- методы сбора информации для решения поставленных исследовательских задач; З3(ОПК-1);
- методы анализа данных, необходимых для проведения конкретного исследования. З4(ОПК-1).

#### **Уметь**

- анализировать известные результаты в предметной области, формулировать актуальные проблемы У1(ОПК-1).
- самостоятельно выполнять экспериментальные/вычислительные физические исследования при решении научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и вычислительных средств. У3(ОПК-1).

#### **Владеть**

- знаниями о современном состоянии исследований, методами и подходами решения научных задач в предметной области В1(ОПК-1);
- способностью самостоятельно с применением современных компьютерных технологий собирать, обрабатывать, анализировать, обобщать и систематизировать результаты исследований. В4(ОПК-1).

## Профессиональные компетенции (ПК):

**ПК-1** – Способность самостоятельно проводить научные исследования в области физики конденсированного состояния вещества.

### знать:

- современные базовые и специализированные теоретические представления о природе вещества в конденсированном состоянии З1(ПК-1);
- актуальные проблемы и приоритетные направления исследований в области физики конденсированного состояния З2(ПК-1);
- современные методы и подходы для решения теоретических и экспериментальных задач в области физики конденсированного состояния вещества З3(ПК-1).

### уметь:

- использовать базовые теоретические знания, знания основ физического эксперимента в научных исследованиях в области физики конденсированного состояния У2(ПК-1).
- выбирать и применять адекватные экспериментальные / расчетно-теоретические методы исследований поверхности У3(ПК-1)

### владеть:

- научной терминологией, понятийным аппаратом физики поверхности, основами физического эксперимента. В1(ПК-1).

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 4 зачетные единицы (ЗЕ), 144 часа.

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость дисциплины	144
Аудиторная работа (всего):	40
в т. числе:	
Лекции	30
Практические занятия (ПЗ)	10
Семинары (С)	
Самостоятельная работа и(или) другие виды самостоятельной работы	86
Вид промежуточного контроля	
Зачет/реферат	18

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Общая трудоемкость в часах	Лекции	ПЗ	СР
1	Процессы на поверхности	28	6	0	24
2	Методы анализа поверхности	52	12	10	28
3	Влияние внешних воздействий на поверхность	46	12	0	34
5	Зачет/реферат	18			
6	Всего	144	30	10	86

### 5.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
-------	---------------------------------	-------------------------------

1	Процессы на поверхности	Термодинамика поверхности. Поверхностное натяжение и поверхностное напряжение. Анизотропия поверхностного натяжения. Адсорбционные процессы. Теплота и энергия адсорбции, необратимая хемосорбция. Поверхностная сегрегация. Поверхностная диффузия. Динамика поверхности. Тепловые колебания. Атомная структура поверхности. Дефекты поверхности.
2	Методы анализа поверхности	
	2.1 Методы анализа химического состава поверхности	Методы и методические подходы в области физики поверхности. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Кинетическая энергия фотоэлектронов. Энергетический спектр фотоэлектронов. Химический сдвиг. Количественный анализ с помощью метода РФЭС. Экспериментальное оборудование. Оже-электронная спектроскопия. Оже-переходы. Выход Оже-электронов и флюоресценция. Количественный анализ с помощью ОЭС. Экспериментальное оборудование. Вторично-ионная масс-спектрометрия. Распыление ионной бомбардировкой. Выход продуктов распыления. Количественный анализ с помощью ВИМС. Экспериментальное оборудование.
	2.2. Методы анализа структуры и топографии поверхности	Дифракция рентгеновских лучей при скользящем падении. Дифракция медленных электронов. Полевая ионная микроскопия. Методы анализа локальной атомной структуры. Методы зондовой микроскопии. Экспериментальное оборудование.
3	Влияние внешних воздействий на поверхность	
	3.1. Термические и механические воздействия	Структурно-фазовые переходы на поверхности. Поверхностное плавление. Влияние термостимулированных процессов на состав поверхностных слоев сплавов. Сегрегационные эффекты на поверхности сплавов при нагреве. Сегрегации на поверхности металлических систем при механических воздействиях. Сегрегационные эффекты на поверхности сплавов при знакопеременных механических нагрузениях.
3.2. Методы ионно-лучевой и лазерной модификации поверхности.	Процессы на поверхности и разрушение материалов. Образование и рост трещин. Способы упрочнения поверхности. Покрытия на поверхности. Механизмы защитного действия покрытий. Способы получения покрытий. Адгезия. Ионная имплантация. Взаимодействие внедряемых ионов с твердым телом. Процессы прохождения ускоренных ионов в твердых телах. Проективный пробег. Распыление и радиационно-индуцированная сегрегация. Атомное перемешивание при ионном облучении. Лазерное облучение материалов. Структурно-фазовые превращения в металлах при ионном и лазерном облучении. Экспериментальное оборудование. Применение методов ионной имплантации и лазерного облучения для модификации свойств металлических материалов.	

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Образовательные технологии**

Обучение по дисциплине ведётся с применением как традиционных методов (лекции, практические занятия), так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах подразделений УдмФИЦ УрО РАН по профилю подготовки, представление докладов на научной конференции молодых ученых и молодежных научных школах, подготовка научных статей, подготовка презентаций по литературе для дополнительного изучения.

Аудиторные занятия, целью которых является освоение теоретических основ дисциплины, проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного оборудования. Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

Практические занятия (семинары) имеют своей целью подробное обсуждение отдельных тем дисциплины, освоение расчетно-теоретических методов, используемых при решении задач, развитие навыков рационального выбора методов решения.

Самостоятельная работа аспирантов подразумевает углубленное освоение теоретического материала, выполнение индивидуальных заданий, подготовку к текущему, промежуточному и итоговому контролю успеваемости. В целях формирования способности к критическому анализу информации и поиску путей решения поставленных задач в дальнейшей профессиональной деятельности используется технология проблемного обучения, требующая значительных временных ресурсов, что предусмотрено структурой дисциплины, и предполагает самостоятельную проработку учебно-проблемных задач аспирантами, выполняемую с привлечением основной и дополнительной литературы; поиск необходимой научно-технической информации в открытых источниках, консультации с преподавателем.

Самостоятельная работа аспирантов осуществляется: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на персональных рабочих местах аспирантов с доступом к ресурсам «Интернет», в научных подразделениях УдмФИЦ УрО РАН с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

### **6.2. Основные сведения об электронно-библиотечной системе**

Учебная, учебно-методическая и иные библиотечно-информационные ресурсы обеспечивают учебный процесс, и гарантирует возможность качественного освоения аспирантом образовательной программы.

УдмФИЦ УрО РАН обеспечивает каждого аспиранта основной учебной и учебно-методической литературой, методическими пособиями, необходимыми для организации образовательного процесса по всем дисциплинам лицензируемых образовательных программ, в соответствии с требованиями к основной образовательной программе послевузовского профессионального образования и паспортом специальностей ВАК. Научно-техническая библиотека УдмФИЦ удовлетворяет требованиям Примерного положения о формировании фондов библиотеки высшего учебного заведения, утвержденного приказом Минобрнауки России от 27.04.2000 № 1246.

Фонд научно-технической библиотеки насчитывает 56242 (11103) экземпляра книг и журналов. Ежегодно библиотека получает научные, научно-популярных и общественно-политические периодические издания. Формирование фонда библиотеки осуществляется в соответствии с профилем института, образовательными программами аспирантуры, тематикой научных исследований РАН.

### 6.3. Основная литература

1. Мамонова М.В., Прудников В.В., Прудникова И.А. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы. М.: Физматлит, 2011. 400 с. ([http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o\\_491700](http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_491700))
2. Праттон М. Введение в физику поверхности. Москва-Ижевск: изд-во РХД, 2000. 256 с. (<http://padaread.com/?book=6270&pg=1>)
3. Зенгуил Э. Физика поверхности. М.: Мир, 1990. 536 с. (2 экз.)
4. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. М.: Мир, 1989. 564 с. ([http://www.studmed.ru/vudraf-d-delchar-t-sovremennye-metody-issledovaniya-poverhnosti\\_d1149d1ce09.html](http://www.studmed.ru/vudraf-d-delchar-t-sovremennye-metody-issledovaniya-poverhnosti_d1149d1ce09.html))
5. Фельдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.: Мир, 1989. 344 с. (<http://bookre.org/reader?file=542020&pg=1>)
6. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982. 632 с. (<http://www.geokniga.org/books/2911>)
7. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Н.Новгород: ИФМ РАН, 2004. 110 с. ([http://ipmras.ru/UserFiles/publications/mironov/RUS\\_Fundamentals\\_SPM.pdf](http://ipmras.ru/UserFiles/publications/mironov/RUS_Fundamentals_SPM.pdf))
8. Хирвонен Дж. К. Ионная имплантация. М.: Металлургия, 1985. 392 с. (1 экз.)
9. Комаров Ф.Ф. Ионная имплантация в металлы. М.: Металлургия, 1990. 216 с. (1 экз.)

### 6.4. Дополнительная литература

1. Моррисон С. Химическая физика поверхности твердого тела. М.: Мир, 1980. 488 с.
2. Нефедов В.И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений: Справочник. М.: Химия, 1984. 256 с.
3. Электронная и ионная спектроскопия твердых тел. / Под. ред. Фирмэнса Л., Вэнника Дж., Декейсера В. – М.: Мир, 1981. 468 с.
4. Нефедов В.И., Черепин В.Т. Физические методы исследования поверхности твердых тел. М.: Наука, 1983. 296 с.
5. Баянкин В.Я., Васильев В.Ю., Шабанова И.Н. Сегрегационные эффекты на поверхности метастабильных металлических систем. Ижевск: Изд. ИПМ УрО РАН, 1999. 288 с.
6. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Вып. I. Физическое распыление одноэлементных твердых тел./ Под ред. Бериша Р. – М.: Мир, 1984. 336 с.
7. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Вып. II. Распыление сплавов и соединений, распыление под действием электронов и нейтронов, рельеф поверхности./ Под ред. Бериша Р. – М.: Мир, 1986. 488 с.
8. Диденко А.Н., Лигачев А.Е., Куракин И.Б. Воздействие пучков заряженных частиц на поверхность металлов и сплавов. М.: Энергоатомиздат, 1987. 184 с.
9. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками. / Под ред. Поута Дж. – М.: Машиностроение, 1987. 424 с.

### 6.5. Основные Интернет-ресурсы:

1. E-Library ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)),
2. база данных издательства Elsevier на сайте ScienceDirect (<http://www.sciencedirect.com/>),
3. ресурсы издательства Springer (<http://link.springer.com/>),
4. журналы Американского физического общества (<https://journals.aps.org/>),
5. журналы Американского института физики (<http://scitation.aip.org/content/aip>),
6. Электронно-библиотечная система IPRbooks (<http://www.iprbookshop.ru/>),
7. Scopus ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)), Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com>)

## **7. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

### **7.1. Текущий контроль**

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний учащихся организован как устный опрос. Оценка успеваемости аспиранта производится преподавателем, ведущим дисциплину на основе результатов текущего контроля.

Текущая самостоятельная работа направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта.

### **7.2. Промежуточный контроль**

Промежуточный контроль осуществляется в конце каждого семестра в соответствии с учебным планом. Оценка успеваемости аспиранта производится преподавателем, ведущим дисциплину, на основе результатов текущего контроля.

### **7.3. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация осуществляется в конце третьего курса и завершает изучение дисциплины «Физика поверхности». Форма аттестации – зачет в устной форме или реферат. Зачет проводится по билетам, включающим 2 вопроса.

#### **Примерные темы реферата.**

1. Процессы на поверхности и их влияние на интегральные свойства материалов.
2. Физические методы анализа поверхности.
3. Современные методы модификации поверхности.
4. Физические основы ионной имплантации.

#### **Вопросы к зачету:**

1. Термодинамика поверхности. Поверхностное натяжение и поверхностное напряжение. Анизотропия поверхностного натяжения.
2. Адсорбционные процессы. Теплота и энергия адсорбции, необратимая хемосорбция.
3. Поверхностная сегрегация. Поверхностная диффузия.
4. Динамика поверхности. Тепловые колебания.
5. Атомная структура поверхности. Дефекты поверхности.
6. Кинетическая энергия фотоэлектронов. Энергетический спектр фотоэлектронов. Сдвиги энергии связи.
7. Количественный анализ с помощью РФЭС. Получение профилей концентрации с помощью РФЭС.
8. Оже-переходы. Выход оже-электронов и флюоресценция.
9. Количественный анализ с помощью ОЭС. Получение профилей концентрации с помощью ОЭС.
10. Распыление ионной бомбардировкой. Выход продуктов распыления.
11. Количественный анализ с помощью ВИМС. Получение профилей концентрации с помощью ВИМС.
12. Методы анализа локальной атомной структуры.
13. Дифракция рентгеновских лучей при скользящем падении. Дифракция медленных электронов. Полевая ионная микроскопия.
14. Методы сканирующей зондовой микроскопии.
15. Структурно-фазовые переходы на поверхности. Поверхностное плавление.
16. Сегрегационные эффекты на поверхности сплавов при нагреве до плавления.
17. Сегрегационные эффекты на поверхности сплавов при знакопеременных нагружениях.



18. Процессы на поверхности и разрушение материалов. Образование и рост трещин. Способы упрочнения поверхности.
19. Покрытия на поверхности. Механизмы защитного действия покрытий.
20. Способы получения покрытий. Адгезия.
21. Методы модификации поверхности. Достоинства и недостатки.
22. Ионная имплантация. Процессы прохождения ускоренных ионов в твердых телах. Распыление и радиационно-индуцированная сегрегация.
23. Атомное перемешивание при ионном облучении. Структурно-фазовые превращения в металлах при ионном облучении.
24. Применение метода ионной имплантации для изменения эксплуатационных свойств металлических изделий.

#### **7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и/или опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций**

##### **Критерии оценки реферата**

Оценка «зачтено» ставится при:

- правильном, полном и логично построенном ответе;
- умении оперировать специальными терминами;
- использовании в ответе дополнительного материала;
- иллюстрировании теоретических положений практическим материалом.

Также оценка «зачтено» ставится при:

- в целом правильном и полном ответе с негрубыми ошибками или неточностями;
- умении оперировать специальными терминами;
- небольших затруднениях в использовании практического материала;
- не вполне законченных выводах или обобщениях, не носящих принципиального характера, когда установлено, что аспирант обладает необходимыми знаниями для последующего устранения указанных погрешностей под руководством преподавателя.

Оценка «незачтено» ставится при:

- схематичном неполном ответе;
- наличии одной грубой ошибки;
- неумении оперировать специальными терминами или их незнании;
- неумении приводить примеры практического использования научных знаний.

Оценка «незачтено» также ставится при:

- отсутствии текста реферата на бумажном носителе и компьютерной презентации, отражающей содержание реферата;
- ответе на вопросы с грубыми ошибками;
- неумении оперировать специальными терминами и их незнании;
- неумении приводить примеры практического использования научных знаний.

##### **Критерии оценки знаний на зачете**

Оценка «отлично» на зачете ставится при:

- правильном, полном и логично построенном ответе;
- умении оперировать специальными терминами;
- использовании в ответе дополнительного материала;
- иллюстрировании теоретических положений практическим материалом.

Оценка «хорошо» на зачете ставится при:

- в целом правильном и полном ответе с негрубыми ошибками или неточностями;
- умении оперировать специальными терминами;
- небольших затруднениях в использовании практического материала;

- не вполне законченных выводах или обобщениях.

Оценка «**удовлетворительно**» на зачете ставится при:

- схематичном неполном ответе;
- наличии одной грубой ошибки;
- неумении оперировать специальными терминами или их незнании;
- неумении приводить примеры практического использования научных знаний.

Оценка «**неудовлетворительно**» на зачете ставится при:

- ответе на все вопросы билета и наводящие вопросы с грубыми ошибками;
- неумении оперировать специальными терминами и их незнании;
- неумении приводить примеры практического использования научных знаний.

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Научные подразделения УдмФИЦ УрО РАН располагают материально-технической базой, соответствующей действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебным планом аспиранта, а также эффективное выполнение диссертационной работы:

1. Персональные компьютеры с пакетами прикладных программ, выходом в Интернет и в локальную сеть УдмФИЦ, а также принтеры, сканеры и ксероксы;

2. Экспериментальное оборудование научных подразделений УдмФИЦ УрО РАН, а также Центра коллективного пользования УдмФИЦ УрО РАН;

3. Доступ к библиотечному фонду УдмФИЦ УрО РАН, который укомплектован изданиями научной, учебной и иной литературы, включая периодические издания; к электронно-информационным ресурсам Центральной научной библиотеки УрО РАН и иным ресурсам научной литературы через Интернет.

Поддерживается официальный сайт института <http://udman.ru>, электронная почта.

Имеются учебные аудитории для проведения лекционных занятий, мультимедийное оборудование, программное обеспечение для компьютерных презентаций.