

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»

Институт математики, физики и информационных технологий

Кафедра теоретической и экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института математики, физики  
и информационных технологий  
Королева Н.Л.  
«11» марта 2022 г.



## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине

«Физика поверхностных явлений»

Научная специальность:

1.3.8. Физика конденсированного состояния

Уровень высшего образования

подготовка кадров высшей квалификации  
по программам подготовки научных и  
научно-педагогических кадров в аспирантуре

Форма обучения

очная

Год набора

2022

**Автор программы:** Шибков А.А., доктор физико-математических наук, профессор

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов) (приказ Минобрнауки России от 20 октября 2021 г. № 951).

Рабочая программа принята на заседании кафедры теоретической и экспериментальной физики «2» марта 2022 года Протокол № 6

## **СОДЕРЖАНИЕ**

1. Цели и задачи дисциплины
2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры
3. Объем и содержание дисциплины
4. Контроль знаний обучающихся
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
6. Материально-техническое обеспечение дисциплины, программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы

## 1. Цели и задачи дисциплины

**1.1 Цель дисциплины** – развитие знаний о процессах и явлениях, протекающих на поверхности тел, находящихся в конденсированном состоянии, овладение методами определения характеристик и параметров этих процессов и явлений, умение применять полученные знания при разработке материалов и технологической их обработки.

### 1.2 Задачи дисциплины:

- развитие теоретических представлений и навыков научно-исследовательской деятельности в области физики поверхности;
- освоение методов научных исследований; освоение теорий и моделей; участие в проведении физических исследований по выбранной тематике с использованием методов стабилизации физических свойств материалов, участие в обработке полученных результатов научных исследований на современном уровне, работа с научной литературой;
- освоение методов применения результатов научных исследований в инновационной деятельности.

### 1.3 Требования к результатам освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

#### Знать:

- феноменологию и теоретические основы процессов, протекающих на поверхности твердых тел;
- фундаментальные отличия поверхностных и объемных физических свойств тел в конденсированном состоянии.

#### Уметь:

- применять теоретические представления для расчета эволюции поверхности материалов;
- количественно и качественно оценивать скорость деградации поверхности под влиянием внешних факторов.

#### Владеть:

- методами исследования поверхности твердых тел;
- методами определения характеристик и параметров приповерхностных и межфазных процессов.

## 2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры:

Дисциплина «Физика поверхностных явлений» относится к образовательному компоненту «Дисциплины (модули)» программы аспирантуры по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния. Дисциплина является факультативной.

Дисциплина «Физика поверхностных явлений» изучается в 3 семестре.

## 3. Объём и содержание дисциплины

### 3.1 Объём дисциплины

Очная форма обучения: 2 з.е.

Вид учебной работы	Очная форма обучения (всего часов)
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>	<b>72</b>
<i>Контактная работа (по учебным занятиям)</i>	22
Лекции (Л)	10
Практические (семинарские) занятия (ПЗ)	12
Лабораторные занятия (ЛЗ)	-

Вид учебной работы	Очная форма обучения (всего часов)
<i>Самостоятельная работа (СР)</i>	50
<i>Зачет</i>	

### 3.2 Содержание дисциплины:

№ те мы	Название раздела/темы	Вид учебной работы, час. (очная форма)				Формы текущего контроля
		Л	ПЗ	ЛЗ	СР	
1.	Тема 1. Основные понятия о поверхностных процессах и явлениях	2	2	-	10	собеседование, письменная самостоятельная работа
2.	Тема 2. Электронные состояния на поверхностях	2	2	-	10	собеседование, письменная самостоятельная работа
3.	Тема 3. Атомная характеристика поверхностных процессов и явлений	2	3	-	10	собеседование, письменная самостоятельная работа
4.	Тема 4. Поверхность раздела твердое тело-жидкость.	2	2	-	10	собеседование, письменная самостоятельная работа
5.	Тема 5. Кинетика формирования новой фазы	2	3		10	собеседование, письменная самостоятельная работа

#### Тема 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРОЦЕССАХ И ЯВЛЕНИЯХ

**Лекция.** Термодинамика поверхностей твердых тел. Анизотропия поверхностного натяжения. Структура поверхности кристаллов. Реконструкция поверхности. Фрактальные поверхности. Плавление поверхности. Поверхностная сегрегация в твердых телах. Термодинамика адсорбции. Физическая и химическая адсорбция. Фазовые переходы в адсорбционных слоях. Деформация твердых тел при адсорбции. Адсорбция на металлах . Адсорбция на полупроводниках

**Практическое занятие.** Сообщения и доклады по следующим вопросам: Термодинамика поверхностей твердых тел. Анизотропия поверхностного натяжения. Структура поверхности кристаллов. Реконструкция поверхности. Фрактальные поверхности. Плавление поверхности. Поверхностная сегрегация в твердых телах. Термодинамика адсорбции. Физическая и химическая адсорбция. Фазовые переходы в адсорбционных слоях. Деформация твердых тел при адсорбции. Адсорбция на металлах . Адсорбция на полупроводниках

**Задания для самостоятельной работы:** Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

#### Тема 2. ЭЛЕКТРОННЫЕ СОСТОЯНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЯХ

**Лекция.** Электронное состояние на поверхности. Поверхности металлов. Контактная разность потенциалов.

**Практическое занятие.** Сообщения и доклады по следующим вопросам: Электронное состояние на поверхности. Поверхности металлов. Контактная разность потенциалов

**Задания для самостоятельной работы:** Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

### **Тема 3 АТОМНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ**

**Лекция.** Пространственный заряд вблизи металлической поверхности. Поверхности полупроводников. Влияние адсорбции на электронное состояние поверхности. Двойной электрический слой

**Практическое занятие.** Сообщения и доклады по следующим вопросам: Пространственный заряд вблизи металлической поверхности. Поверхности полупроводников. Влияние адсорбции на электронное состояние поверхности. Двойной электрический слой

**Задания для самостоятельной работы:** Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

### **Тема 4 ПОВЕРХНОСТЬ РАЗДЕЛА ТВЕРДОЕ ТЕЛО-ЖИДКОСТЬ.**

**Лекция.** Краевой угол. Гистерезис краевого угла. Линейное натяжение. Краевой угол на гетерогенной поверхности. Краевой угол на фронтальной поверхности. Переходы смачивания. Гомогенная нуклеация. Спинодальный распад.

**Практическое занятие.** Сообщения и доклады по следующим вопросам: Краевой угол. Гистерезис краевого угла. Линейное натяжение. Краевой угол на гетерогенной поверхности. Краевой угол на фронтальной поверхности. Переходы смачивания. Гомогенная нуклеация. Спинодальный распад.

**Задания для самостоятельной работы:** Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

### **Тема 5 . КИНЕТИКА ФОРМИРОВАНИЯ НОВОЙ ФАЗЫ**

**Лекция.** Эволюция зарождения новой фазы. Зарождение и рост кристаллов. Гетерогенная нуклеация. Конденсация на ионах. Конденсация на подложках. Эпитаксия. Рост фрактальных поверхностей.

**Практическое занятие.** Сообщения и доклады по следующим вопросам: Эволюция зарождения новой фазы. Зарождение и рост кристаллов. Гетерогенная нуклеация. Конденсация на ионах. Конденсация на подложках. Эпитаксия. Рост фрактальных поверхностей.

**Задания для самостоятельной работы:** Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

## **4. Контроль знаний обучающихся**

**4.1 Формы текущего контроля работы аспирантов:** собеседование, письменная самостоятельная работа

### **4.2 Задания текущего контроля**

#### Вопросы для собеседования

1. Поверхностная энергия жидкостей.
2. Термодинамика поверхности жидкости.

3. Структура поверхностного слоя жидкости.
4. Ориентация молекул в поверхностном слое жидкости.
5. Температурная зависимость поверхностного натяжения.
6. Зарождение и рост кристаллов.
7. Эпитаксиальный рост
8. Влияние адсорбции на электронное состояние поверхности.
9. Контактная разность потенциалов.
10. Поверхностная сегрегация в твердых телах.

#### Тематика письменных самостоятельных работ

1. Термодинамика поверхностей твердых тел.
2. Анизотропия поверхностного натяжения.
3. Структура поверхности кристаллов.
4. Реконструкция поверхности.
5. Фрактальные поверхности.
6. Гомогенная нуклеация.
7. Гетерогенная нуклеация.
8. Неравновесный рост кристаллов.
9. Двойной электрический слой на межфазной границе.

#### **4.3 Промежуточная аттестация по дисциплине** проводится в форме зачета.

#### Вопросы зачета

1. Адсорбция и хемосорбция на поверхности металла с точечными дефектами.
2. Понятия «поверхностной энергии» и «поверхностного натяжения» металла.
3. Самопроизвольный процесс образования поверхности кристалла.
4. Поверхностная энергия металла как энергия образования поверхностных вакансий и адатомов (вакансионная термодинамическая модель поверхностного слоя металла).
5. Сравнение энергий образования атомных вакансий в объеме кристалла и в его поверхностном слое.
6. Температурная зависимость поверхностной энергии металлов и концентрации вакансий и адатомов в поверхностной фазе. Термическая реконструкция структуры поверхности металлов.
7. Зависимость поверхностной энергии металла и концентрации вакансий (или адатомов) от электродного потенциала.
8. Адсорбционное снижение прочности металлов.
9. Термодинамика поверхностей твердых тел. Анизотропия поверхностного натяжения.
10. Структура поверхности кристаллов. Реконструкция поверхности. Фрактальные поверхности.
11. Плавление поверхности. Поверхностная сегрегация в твердых телах.
12. Термодинамика адсорбции. Физическая и химическая адсорбция.
13. Фазовые переходы в адсорбционных слоях.
14. Деформация твердых тел при адсорбции.
15. Адсорбция на поверхности металла. Адсорбция на поверхности полупроводника.
16. Электронное состояние на поверхности металлов. Контактная разность потенциалов.
17. Поверхностные состояния в полупроводниках.
18. Эволюция зарождения новой фазы. Зарождение и рост кристаллов.
19. Гетерогенная нуклеация кристалла.
20. Конденсация на ионах. Конденсация на подложках. Эпитаксия.
21. Рост фрактальных поверхностей.

#### Задания для зачета

1. Рассчитать значение поверхностной энергии на границе раздела твердое тело-расплав.
2. Оценить эффективность испарения приповерхностного слоя при различных температурах поверхности.

#### **4.4 Шкала оценивания промежуточной аттестации**

<b>Оценка</b>	<b>Основные показатели достижения результата</b>
«зачтено»	Знает феноменологию и теоретические основы процессов, протекающих на поверхности твердых тел, фундаментальные отличия поверхностных и объемных физических свойств тел в конденсированном состоянии
	Умеет применять теоретические представления для расчета эволюции поверхности материалов, количественно и качественно оценивать скорость деградации поверхности под влиянием внешних факторов
	Владеет методами исследования поверхности твердых тел и методами определения характеристик и параметров приповерхностных и межфазных процессов
«не зачтено»	Демонстрирует незнание феноменологии и теоретических основ процессов, протекающих на поверхности твердых тел, фундаментальные отличия поверхностных и объемных физических свойств тел в конденсированном состоянии
	Не умеет применять теоретические представления для расчета эволюции поверхности материалов, количественно и качественно оценивать скорость деградации поверхности под влиянием внешних факторов
	Не владеет методами исследования поверхности твердых тел и методами определения характеристик и параметров приповерхностных и межфазных процессов

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

##### **5.1 Основная литература:**

1. Владимиров Г.Г. Физика поверхности твердых тел. СПб. Лань. 2016. 352 с.
2. Козик В.В., Борило Л.П., Кузнецов С.А., Лютова Е.С. Химия твердого тела и химическое материаловедение. Томск. 2018.
3. Андреев Ю.Я. Электрохимия металлов и сплавов. М.: Высшее Образование и Наука. 2016. 320 с.

##### **5.2 Дополнительная литература:**

1. Методы синтеза и их физико-химические свойства в водных растворах и на твердых подложках / В. Е. Баулин [и др.] // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2013. Т. 49, № 1. С. 7-34.
2. Подгаецкий, Э. М. Адсорбция на твердой поверхности с учетом ее конечных деформаций/ Э. М. Подгаецкий // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2013. Т. 49, № 3. С. 239-246
3. Андриевский, Р. А. Роль размерных эффектов в реакциях взаимодействия наноструктурных материалов с окружающей средой / Р. А. Андриевский // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2013.
4. Белякова, Л. Д. Хроматография - метод исследования химии поверхности и процессов на межфазных границах [[Текст]] / Л. Д. Белякова, А. К. Буряк, О. Г. Ларионов // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2013. Т. 49, № 6. С. 551-574.
5. Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. 568 с.
6. Семенченко В.К. Поверхностные явления в металлах и сплавах. М., 2006. 321 с.

7. Федоров В.А., Пермьякова И.Е. Химия твердого тела 2004. Изд.дом ТГУ. 83 с.

### **5.3 Иные источники:**

К рекомендуемым Интернет-ресурсам по данной дисциплине относятся Интернет-ресурсы ведущих российских и зарубежных журналов, а также образовательные порталы и сайты ведущих российских университетов.

Интернет-ресурсы ведущих российских журналов по данной тематике:

[www.journals.ioffe.ni/ftt](http://www.journals.ioffe.ni/ftt) – «Физика твёрдого тела»

[www.journals.ioffe.ru/ftp](http://www.journals.ioffe.ru/ftp) – «Физика и техника полупроводников»

[www.journals.ioffe.m/pjtf](http://www.journals.ioffe.m/pjtf) – «Письма в журнал технической физики»

[www.iournals.ioffe.nl/itf](http://www.iournals.ioffe.nl/itf) – «Журнал технической физики»

[www.ietp.ac.ru](http://www.ietp.ac.ru) – ЖЭТФ

[www.ietpletters.ac.ru](http://www.ietpletters.ac.ru) – «Письма в ЖЭТФ»

[www.ufn.ru](http://www.ufn.ru) – «Успехи физических наук»

[www.nanom.ru](http://www.nanom.ru) – «Российские нанотехнологии»

[www.quant-electron.ru](http://www.quant-electron.ru) – «Квантовая электроника»

<http://impo.imp.uran.ru/fmm/> – «Физика металлов и металловедение»

Интернет-ресурсы иностранных журналов

[www.aps.org](http://www.aps.org)

[www.springeropen.com](http://www.springeropen.com)

Интернет-порталы: <http://window.edu.ni>.: <https://elibrarv.ru>

## **6. Материально-техническое обеспечение дисциплины, программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Для проведения занятий по дисциплине необходимо следующее материально-техническое обеспечение: помещения для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, помещения для самостоятельной работы.

Помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения занятий лекционного типа используются наборы демонстрационного оборудования, обеспечивающие тематические иллюстрации (проектор, ноутбук, экран/ интерактивная доска).

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета.

### **Электронная информационно-образовательная среда**

<http://moodle.tsutmb.ru>

Взаимодействие преподавателя и аспиранта в процессе освоения дисциплины осуществляется посредством мультимедийных, гипертекстовых, сетевых, телекоммуникационных технологий, используемых в электронной информационно-образовательной среде университета.

### **Лицензионное программное обеспечение:**

Операционная система «Альт Образование»

Операционная система Microsoft Windows 10 Home

Операционная система Microsoft Windows Vista Business Russian

Microsoft Office Профессиональный плюс 2007

Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition. 1500-2499

Node 1 year Educational Renewal Licence

**Информационные справочные системы и профессиональные базы данных:**

ЭБС «Университетская библиотека онлайн»	<a href="http://www.biblioclub.ru">http://www.biblioclub.ru</a>
ЭБС «Консультант студента»: Медицина. Здравоохранение, Комплект Гуманитарные науки	<a href="http://www.studentlibrary.ru">http://www.studentlibrary.ru</a>
ЭБС «IPRSMART» (старое название « IPR books»)	<a href="http://iprbookshop.ru">http://iprbookshop.ru</a>
ЭБС «Юрайт»	<a href="http://www.urait.ru">http://www.urait.ru</a>
Сетевая электронная библиотека педагогических вузов	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>
Государственная информационная система «Национальная электронная библиотека»	<a href="https://нэб.рф">https://нэб.рф</a>
Президентская библиотека имени Б.Н. Ельцина	<a href="http://www.prilib.ru">http://www.prilib.ru</a>
Электронный справочник «Информио»	<a href="http://www.informio.ru">www.informio.ru</a>
Справочная правовая система «Консультант Плюс»	<a href="http://www.consultant.ru">http://www.consultant.ru</a>
Архив научных журналов зарубежных издательств	<a href="https://arch.neicon.ru">https://arch.neicon.ru</a>