

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол № 13 от 30.11.2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Введение в физику поверхности

---

Уровень высшего образования  
Магистратура

---

Направление подготовки / специальность  
03.04.02 - Физика

---

Направленность образовательной программы  
магистерская программа «Физика конденсированного состояния»

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Введение в физику поверхности» относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины, модули» ООП. Является дисциплиной по выбору в первом семестре второго года обучения в магистратуре.

Целями освоения дисциплины являются:

1. формирование у студентов современного представления об основных явлениях и эффектах, связанных с ограниченностью твердых тел;
2. ознакомление студентов с основными теоретическими подходами для описания свойств поверхности твердого тела и интерфейсов;
3. ознакомление студентов с основными экспериментальными методами для изучения электрофизических свойств поверхности твердых тел;
4. формирование у студентов общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-4.  Способен принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности	<i>ПК-4.1. Знание современных методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности</i>  <i>ПК-4.2. Умение совершенствовать и внедрять новые методы и методики</i>  <i>ПК-4.3. Навыки разработок современных методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности</i>	(ПК-4) Знать основные явления и эффекты, связанные с ограниченностью твердых тел;  (ПК-4) Уметь пользоваться основными подходами для описания свойств поверхности твердого тела и интерфейсов;  (ПК-4) Владеть навыками решения задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.	Индивидуальные собеседования	Индивидуальные практические задания, экзамен

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>5</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>180</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>66</b>
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>114</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>54</b> экзамен

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Основы двумерной кристаллографии	18	4		4	8	10
Электронные свойства поверхности	18	4		4	8	10
Экспериментальные методы исследования поверхности	22	6		6	12	10
Атомная структура и электронные свойства чистых поверхностей некоторых кристаллов	22	6		6	12	10
Атомная структура чистых поверхностей с адсорбатами	22	6		6	12	10
Элементарные процессы на поверхности	22	6		6	12	10
в т.ч.текущий контроль			2			
Промежуточная аттестация – Экзамен						54

### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних контрольных работ с последующей проверкой навыков решения задач.

Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к экзамену по дисциплине.

Выполнение домашних работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Задачи для выполнения самостоятельных контрольных работ по каждому разделу дисциплины составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов зависит от числа обучающихся.

## **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

### **5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**

<b>Экзамен</b>	
Превосходно	Превосходная подготовка с очень незначительными погрешностями. Исчерпывающее и логически строгое изложение всех разделов дисциплины. Владение материалом позволяет быстро справиться с видоизмененным заданием. Успешное решение любых типов практических заданий.
Отлично	Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с некоторыми ошибками. Твердое знание всех разделов дисциплины. Допускаются неточности, нарушения в последовательности изложения материала. Владение необходимыми приемами и способами решения практических заданий.
Очень хорошо	Хорошая подготовка с рядом заметных недочетов. Твердое знание основных разделов дисциплины. Владение необходимыми приемами и способами решения основных типов практических заданий.
Хорошо	В целом, хорошая подготовка, но со значительными ошибками. Твердое знание основных разделов дисциплины. Владение необходимыми приемами и способами решения практических заданий.
Удовлетворительно	Подготовка, удовлетворяющая минимальным требованиям. Знания основного содержания разделов дисциплины, допускаются грубые неточности, неправильные формулировки, нарушения в последовательности изложения материала. Имеющихся знаний достаточно для освоения дисциплин последующих курсов. Допускаются значительные ошибки при выполнении практических заданий.

Неудовлетворительно	Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания. Незнание значительной части основного содержания разделов дисциплины. Имеющихся знаний недостаточно для освоения дисциплин последующих курсов.
Плохо	Подготовка совершенно недостаточная. Отсутствуют знания большей части основного содержания разделов дисциплины. Имеющихся знаний совершенно недостаточно для освоения дисциплин последующих курсов.

## 6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

**Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:**

– индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).

**Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:** практические контрольные задания. Типы практических контрольных заданий:

– выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).

### **Критерии ответа студента на экзамене**

**Оценка «отлично»** – Ответ полный и правильный, на основании изученной теории; материал изложен в определенной логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный и полностью выполнены индивидуальные практические задания.

**Оценка «хорошо»** – Ответ полный и правильный, на основании изученной теории; материал изложен в определенной логической последовательности при этом допущены две–три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя и правильно; полностью выполнены индивидуальные практические задания.

**Оценка «удовлетворительно»** – Ответ полный, но при этом допущена существенная ошибка или неполный, несвязный ответ и выполнены индивидуальные практические задания.

**Оценка «неудовлетворительно»** – Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя, не выполнены индивидуальные практические задания

## 6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

6.3.1 Примеры практических заданий для практических занятий, самостоятельной работы обучающихся, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

### Задача 1

Постройте плоскости (100), (110) и (111) для *простого* кубического кристалла. Для атомных плоскостей указанных типов вычислите расстояние между плоскостями и нарисуйте расположение атомов для первого и второго атомных слоев, отсчитывая номера слоев от поверхности.

### Задача 2

Для квадратной двумерной решетки нарисуйте суперструктуры, соответствующие следующим матричным формам:  $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ ,  $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix}$ ,  $\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}$ , а также запишите эквивалентные выражения в записи Вуда.

#### Задача 3

Рассмотрите следующие двумерные суперструктуры: гексагональная сверхрешетка  $2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3} - R30^\circ$ , гексагональная сверхрешетка  $\sqrt{7} \times \sqrt{7} - R \pm 19.1^\circ$  и прямоугольная сверхрешетка  $2 \times 3$ . Сколько симметричных доменов могут иметь такие суперструктуры? Схематически нарисуйте дифракционные картины медленных электронов для однодоменных и многодоменных поверхностей указанных видов.

#### Задача 4

Используя построение Эвальда, качественно опишите изменение числа дифракционных рефлексов при изменении энергии электронов и диаметра экрана?

#### Задача 5

Рассчитайте изменение толщины металлической плёнки, получаемой термическим осаждением вещества из точечного (нульмерного) или проволочного (одномерного) источников, предполагая изотропный характер испарения.

#### Задача 6

Рассчитайте связь периода осцилляций электронной плотности для поверхностных квазичастиц от их энергии вблизи одномерного дефекта. На основании решения предложите способ восстановления энергетического спектра по результатам наблюдения интерференционных картин методом сканирующей туннельной спектроскопии.

### 6.3.2. Вопросы для итогового контроля сформированности компетенции:

1. Низкоиндексные плоскости кристаллов с решетками следующих типов: простая кубическая, гранецентрированная кубическая (г.ц.к.), объемноцентрированная кубическая (о.ц.к.), гексагональная плотноупакованная (г.п.у.) и решетки типа алмаза.
2. Двумерные решетки Бравэ и соответствующие им обратные решетки. Поверхностная зона Бриллюэна.
3. Суперструктуры на поверхности кристаллов. Матричная запись и запись Вуда для описания суперструктур.
4. Поверхностные электронные состояния в модели почти свободных электронов (состояния Шокли).
5. Поверхностные электронные состояния в модели сильной связи (состояния Тамма).
6. Интерференция электронов двумерного электронного газа вблизи границы.
7. Зарождение сверхпроводимости в неограниченном кристалле и в полуограниченном кристалле с плоской поверхностью Поверхностная сверхпроводимость.
8. Структурный фазовый переход в одномерной цепочке атомов (переход Пайерлса) и перестройка энергетического спектра.
9. Принципы работы насосов различных типов (форвакуумные, турбомолекулярные, ионные, сублимационные, масляные, криогенные). Методы измерения уровня вакуума.
10. Дифракция медленных электронов на поверхности.
11. Дифракция быстрых электронов на поверхности.
12. Задача Терсоффа-Хаманна и связь туннельной проводимости и локальной плотности электронных состояний.

13. Основные компоненты и принцип работы сканирующего туннельного микроскопа. Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия.
14. Фотоэлектрический эффект и фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением.
15. Реконструкция в металлах на примере реконструкции типа herring-bone на поверхности Au(111).
16. Реконструкция в полупроводниках на примере реконструкций Si(111)  $2\times 1$  и Si(111)  $7\times 7$ .
17. Условия равновесия двух фаз и область устойчивости для тонкой плёнки.
18. Механизмы роста тонких плёнок и островков. Теория нуклеации Беккера-Деринга-Зельдовича-Френкеля.
19. Оствальдовское созревание. Коалесценция островков.

#### 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

#### 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Автор(ы):

Ведущий научный сотрудник отдела физики сверхпроводников (отд. 120) ИФМ РАН, к. ф.-м. н. А.Ю. Аладышкин.

Рецензенты(ы):

зав. межфакультетской базовой кафедрой «Физика наноструктур и наноэлектроника», д. ф.-м. н., профессор, чл.-корр. РАН З.Ф. Красильник.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 17.11.2022, протокол № б/н.