

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

---

Радиофизический факультет  
(факультет / институт / филиал)

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

**Рабочая программа дисциплины**

---

Введение в физику поверхности  
(наименование дисциплины (модуля))

---

Уровень высшего образования  
магистратура  
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

---

Направление подготовки / специальность  
03.04.03 радиофизика  
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

---

Направленность образовательной программы  
Квантовая радиофизика и лазерная физика  
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

---

Форма обучения  
очная  
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год

### 1. Место дисциплины в структуре ООП

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.08.03, <i>введение в физику поверхности</i> относится к части ООП направления подготовки <i>03.04.03 радиофизика</i> , формируемой участниками образовательных отношений.

### 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**	
ПК-1. Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники при решении задач своей профессиональной деятельности	ПК-1.1. Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач ПК-1.2. Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий	<i>Знать</i> цели и задачи научных исследований, направленных на создание сверхмощных лазерных систем, базовые принципы их устройства, а также методы их создания. <i>Уметь</i> осуществлять выбор схем построения лазерных систем, планировать элементную базу установок, предлагать методы исследования с использованием сверхмощных лазерных систем. <i>Владеть</i> систематическими знаниями по классификации, областям применения сверхмощных лазерных систем.	<i>Собеседование, задача</i>

ПК-2. Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники и оформлять их результаты	<p>ПК-2.1. Анализирует современное состояние исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3. Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники</p>	<p><i>Знать</i> новейшие достижения физики поверхности твердотельного магнетизма и современные проблемы физики наноструктур и физики поверхности;</p> <p><i>Уметь</i> использовать новейшие достижения современной физики поверхности в теоретической и экспериментальной научно-исследовательской работе;</p> <p><i>Владеть</i> передовыми основными методами решения практических задач физики поверхности.</p>	<i>Собеседование, задача</i>
--	--	---	------------------------------

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная форма обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>3 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b> - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа ( практические занятия / лабораторные работы)	<b>32</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>75</b>
<b>КСР</b>	<b>1</b>
<b>Промежуточная аттестация – зачет</b>	

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Итого часов на работу обучающегося
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		И з н и х				
		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 чистыхповерхностей 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			
Основы двумерной кристаллографии	18	4		4	8	10
Промежуточная аттестация – Экзамен						54

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится очная форма обучения - 4 ч.

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

Помимо ознакомления с рекомендованной литературой в процессе обучения самостоятельная работа обучающегося предполагает проработку контрольных вопросов. Текущий контроль успеваемости проводится во время занятий семинарского типа и научно-практических занятий.

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

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

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой

<b>зачтено</b>	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

### 5.2.1 Контрольные вопросы

<i>вопросы</i>	<i>Код формируемой компетенции</i>
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.	ПК-1
2. Двумерные решетки Бравэ и соответствующие им обратные решетки. Поверхностная зона Бриллюэна.	ПК-1
3. Суперструктуры на поверхности кристаллов. Матричная запись и запись Вуда для описания суперструктур.	ПК-1
4. Поверхностные электронные состояния в модели почти свободных электронов (состояния Шокли).	ПК-1
5. Поверхностные электронные состояния в модели сильной связи (состояния Тамма).	ПК-1
6. Интерференция электронов двумерного электронного газа вблизи границы.	ПК-1
7. Зарождение сверхпроводимости в неограниченном кристалле и в полугограниченном кристалле с плоской поверхностью. Поверхностная сверхпроводимость.	ПК-1

8. Структурный фазовый переход в одномерной цепочке атомов (переход Пайерлса) и перестройка энергетического спектра.	ПК-1
9. Принципы работы насосов различных типов (форвакуумные, турбомолекулярные, ионные, сублимационные, масляные, криогенные). Методы измерения уровня вакуума.	ПК-1
10. Дифракция медленных электронов на поверхности.	ПК-1
11. Дифракция быстрых электронов на поверхности.	ПК-2
12. Задача Терсоффа-Хаманна и связь туннельной проводимости и локальной плотности электронных состояний.	ПК-2
13. Основные компоненты и принцип работы сканирующего туннельного микроскопа. Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия.	ПК-2
14. Фотоэлектрический эффект и фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением.	ПК-2
15. Реконструкция в металлах на примере реконструкции типа herring-bone на поверхности Au(111).	ПК-2
16. Реконструкция в полупроводниках на примере реконструкций Si(111) 2×1 и Si(111) 7×7.	ПК-2
17. Условия равновесия двух фаз и область устойчивости для тонкой плёнки.	ПК-2
18. Механизмы роста тонких плёнок и островков. Теория нуклеации Беккера-Деринга-Зельдовича-Френкеля.	ПК-2
19. Оствальдовское созревание. Коалесценция островков.	ПК-2

### 5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-1

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

### 5.2.4. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-2

Задача 1: Покажите, что изменение толщины  $d(x)$  металлической плёнки, напыленной из проволочного источника, описывается соотношением

$$d(x) = \frac{d(0)}{1 + \left(\frac{x}{D}\right)^2},$$

где  $D$  – расстояние по нормали от источника к образцу,  $x$  – расстояние от нормали до выбранной точки поверхности образца.

**Задача 2:** 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.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- 1) Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. V. *Статистическая физика*. М.: Физматлит 2010.  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922100540.html>
- 2) Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. X. *Физическая кинетика*. М.: Физматлит 2001. – 536 с. – 3 экз.

б) дополнительная литература:

- 1) Н. Ашкрофт, Н. Мермин, *Физика твердого тела* т.2. М.: Мир, 1979. – 422с. - 5 экз.
- 2) Ч. Киттель, *Введение в физику твердого тела*. М.: Наука, 1978 – 792 с. – 45 экз.
- 3) П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов, *Физика твердого тела*. М.: Высш. шк., 2000 – 494 с. – 33 экз.
- 4) Д. Вудраф, Т. Делчар, *Современные методы исследования поверхности*. М.: Мир, 1989 – 568 с. – 3 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) Surface Science  
<https://www.journals.elsevier.com/surface-science>.

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Ресурсы учебных аудиторий и лабораторий ННГУ и ИПФ РАН.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО – магистратура по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. N 918.

Автор (ы) д.ф.-м.н. профессор А.Ю. Аладышкин

Заведующий кафедрой д.ф.-м.н. профессор М.И. Бакунов

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета «14» ноября 2022 года, протокол № 08/22.