

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

Кафедра физики наноструктур и нанoeлектроники

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол № 13 от «30» ноября 2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика поверхности

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленности (профили): твердотельная электроника и нанoeлектроника

Форма обучения
очная

Нижегород
2023

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика поверхности» относится к выборным дисциплинам формируемой участниками образовательных отношений части образовательной программы по направлению подготовки магистров 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» и осваивается в течение 3 семестра обучения в магистратуре. «Физика поверхности» служит основой изучения явлений и процессов, происходящих на поверхности твердых тел и интерфейсов. Курс базируется на знаниях студентов, приобретенных в курсах общей физики, квантовой механики, физики твердого тела и др.

Целями освоения дисциплины являются:

формирование у студентов современного представления об основных явлениях и эффектах, связанных с ограниченностью твердых тел;

ознакомление студентов с основными подходами для описания свойств поверхности твердого тела и интерфейсов;

формирование у студентов профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ОС ВО по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

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-4. Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, и способность обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные	ПК-4.1. Знает тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники ПК-4.2. Умеет рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и наноэлектроники ПК-4.3 Умеет обоснованно	З1 (ПК-4) Знать основные явления и эффекты, связанные с ограниченностью твердых тел. У1 (ПК-4) Уметь пользоваться основными подходами для описания свойств поверхности твердого тела и интерфейсов. В1 (ПК-4) Владеть навыками решения задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях. З2 (ПК-4) Знать основные явления и эффекты, связанные с	Вопросы по темам/разделам дисциплины. Комплект задач. Фонд тестовых заданий

методы и средства решения сформулированных задач	выбирать теоретические и экспериментальные методы исследования изделий микро- и нанoeлектроники	ограниченностью твердых тел. У2 (ПК-4) Уметь пользоваться основными подходами для описания свойств поверхности твердого тела и интерфейсов. В2 (ПК-4) Владеть навыками решения задач, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.	
--	---	---	--

Окончательное завершение формирования компетенции ПК-4 происходит при прохождении практики и выполнении научно-исследовательской работы.

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	4 ЗЕТ
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	16
самостоятельная работа	74 (работа в семестре) 36 (на подготовку к экзамену)
Промежуточная аттестация	2 семестр – экзамен

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Тема 1. Основные тенденции и проблемы развития физики твердотельных наноструктур	16	2	2		4	12
Тема 2. Особенности распространения рентгеновского излучения в многослойных структурах	20	2	2		4	16

Тема 3. Спектр электронов в полугограниченном твердом теле.	18	2	2		4	14
Тема 4. Равновесные и неравновесные свойства поверхности твердого тела	18	2	2		4	14
Тема 5. Модели роста кристаллов	18	2	2		4	14
Тема 6. Особенности строения гетерограниц и интерфейсов	18	2	2		4	14
Тема 7. Магнитные домены	18	2	2		4	14
Тема 8. Принципы создания новых сред для сверхплотной записи информации	16	2	2		4	12
Контроль самостоятельной работы	2				2	
Промежуточная аттестация - экзамен						

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде решений и последующей проверки домашних контрольных работ, а также в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на экзамене.

4. Образовательные технологии

При изучении данного курса используются современные образовательные технологии. Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерное моделирование, разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

На занятиях лекционного типа используются мультимедийные средства поддержки образовательного процесса. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних заданий, написание рефератов с предоставлением докладов или кратких сообщений, а также теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, студенты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, мастер-классы экспертов и специалистов в области качественно-численного анализа конкретных современных задач физики поверхности.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является экзамен, в ходе которого оцениваются уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

5. 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, выполнение домашних заданий 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 заданий осуществляется 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 и темы рефератов составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов зависит от числа обучающихся.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ПК-4: Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, и способность обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«незачет»		«зачет»				
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать основные явления и эффекты, связанные с ограниченностью твердых тел (ПК-4).	отсутствие знаний материала	наличие грубых ошибок в основном материале	знание основного материала с рядом негрубых ошибок	знание основного материала с рядом заметных погрешностей	знание основного материала с незначительными погрешностями	знание основного материала без ошибок и погрешностей	знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей

<u>Умения</u> Уметь пользоваться основными подходами для описания свойств поверхности твердого тела и интерфейсов (ПК-4).	Полное отсутствие умения использовать основные законы физики поверхности для решения задач	Неумение использовать основные законы физики поверхности для решения задач (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным законам)	Умение использовать основные законы физики поверхности для решения стандартных задач с негрубыми ошибками	Умение использовать все изученные законы физики поверхности для решения стандартных задач с негрубыми ошибками	Умение использовать все изученные законы физики поверхности для решения стандартных задач с незначительными погрешностями	Умение использовать все изученные законы физики поверхности для решения стандартных задач и задач повышенной сложности с незначительными погрешностями	Умение использовать все изученные законы физики поверхности для решения стандартных задач и задач повышенной сложности
<u>Навыки</u> Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях	Полное отсутствие навыка решения стандартных задач	Не владение навыками решения стандартных задач (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным законам физики поверхности)	Владение навыками решения стандартных задач по основным разделам курса с негрубыми ошибками	Владение навыками решения стандартных задач по всем разделам курса с негрубыми ошибками	Владение навыками решения стандартных задач по всем разделам курса с незначительными погрешностями	Владение навыками решения стандартных задач и задач повышенной сложности с незначительными погрешностями	Владение навыками решения стандартных задач и задач повышенной сложности
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен проводится в устной форме. Устная часть экзамена заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть экзамена предусматривает решение двух задач по различным разделам курса.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	<p>Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит исчерпывающие, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение уверенно применять на практике приобретенные навыки, владение в полной мере методиками решения задач.</p> <p>100 % -ное выполнение контрольных экзаменационных заданий</p>
Отлично	<p>Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит почти полные, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше</p>
Очень хорошо	<p>Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями; неполно отвечает на дополнительные вопросы; приводит достаточно аргументированные и почти полные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами; или исчерпывающее решение приводится только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена с заметными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.</p>
Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полные решения всех сформулированных в билете задач с некоторыми недочетами; или исчерпывающее решение приведено только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена со значительными погрешностями. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей и не всегда полной обоснованностью выводов, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит неполные, слабо аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы не отличаются стройной логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, что говорит о не достаточно полном понимании общефизических и профессиональных дисциплин, умении применять на практике лишь некоторые приобретенные навыки, владении не всеми изученными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.</p>
Неудовлетворительно	<p>Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решения сформулированных в билете задач с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владение методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.</p>

Плохо	Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы, демонстрирует полное непонимание сформулированных в билете задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.
-------	--

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

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

- индивидуальное собеседование,
- устные и/или письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающие одну или несколько задач.

По сложности ПКЗ разделяются на простые (стандартные) и комплексные задания. Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия, применяются для оценки умений. Комплексные задания (задания повышенной сложности) требуют поэтапного решения и развернутого ответа с применением нестандартных подходов к решению. Комплексные практические задания применяются для оценки владений навыками.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

- 1) Чем определяется равновесная форма капли жидкости? Найти форму капли из вариационного принципа.
- 2) Какова дисперсия шероховатости поверхности в простейшей модели роста?
- 3) Каковы особенности диэлектрической проницаемости твердых тел в рентгеновском диапазоне частот э/м излучения?
- 4) Каковы особенности угловой зависимости коэффициента отражения рентгеновского излучения от плоской границы раздела в приближении однократного рассеяния?
- 5) Каковы особенности отражения рентгеновского излучения от многослойных структур?
- 6) В чем суть метода укороченных уравнений?
- 7) Каковы особенности спектра электрона в полуограниченном твердом теле?
- 8) Доказать теорему Вульфа для равновесной формы кристаллов.
- 9) В чем суть явления псевдоморфизма? Каковы условия выбора гетеропары?
- 10) Каковы основные положения модели Лифшица-Слезова для роста ансамбля зерен новой фазы?
- 11) Каковы основные положения феноменологической теории спинодального распада твердых растворов?
- 12) Каков физический механизм образования доменной структуры в ферромагнетиках?

- 13) Сформулируйте условие перехода в однодоменное состояние.
- 14) Каковы принципы записи и хранения информации на магнитных носителях?
- 15) Каковы условия локализации квантовомеханической частицы в мелкой яме?
- 16) Сформулируйте теорему Поля для случайно-блуждающей частицы.
- 17) Какова связь существования фазовых переходов и размерности пространства?

Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Для оценки сформированности компетенции ПК-4. Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач:

Задача 1.1

Найти инкремент неустойчивости однородного распределения концентрации в рамках модели Кана-Хилларда.

Задача 1.2

Пользуясь моделью Колмогорова оценить минимальную толщину сплошной пленки.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Физика поверхности»

а) основная литература:

1. *Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц*, Теоретическая физика: учебное пособие для студентов физических специальностей университетов, в 10 т. Т. 3,5,8. - М.: Физматлит.
2. *А.Г. Хачатурян*, Теория фазовых превращений и структура твердых растворов, Наука, 1974.

б) дополнительная литература:

1. *Ф.Ф. Волькенштейн*, Физико-химия поверхности полупроводников, Наука, 1973.
2. *Дж.Займан*, Модели беспорядка, Мир, 1982

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. M.J. Donahue and D.G. Porter, "OOMMF User's Guide", Interagency Report NISTIR 6376, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, <http://math.nist.gov/oommf>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории.

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.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.04.04 – «Электроника и наноэлектроника».

Автор: главный научный сотрудник отдела магнитных наноструктур ИФМ РАН, д. ф.-м. н. А.А.Фраерман

Рецензент: ведущий научный сотрудник отдела физики магнитных наноструктур ИФМ РАН, д.ф.-м.н. В.Л. Миронов

Заведующий кафедрой «Физика наноструктур и наноэлектроника»
руководитель научного направления «Физика микро- и наноструктур» ИФМ РАН,
д. ф.-м. н., член-корреспондент РАН З.Ф. Красильник

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ, протокол б/н от «17» ноября 2022 г.

Председатель Учебно-методической комиссии физического факультета А.А. Перов