

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**и.о. директора физтех-школы
физики и исследований им.
Ландау**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Введение в физику поверхности
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра лазерных систем и структурированных материалов
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 75 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 45 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: К.Н. Ельцов, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры лазерных систем и структурированных материалов 04.06.2020

Аннотация

Цель курса - формирование базовых знаний в области физики поверхности как дисциплины, интегрирующей общезначимую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности. Основы двумерной кристаллографии. Сверхвысокий вакуум. Подготовка поверхности для исследований в сверхвысоком вакууме. Методы изучения структуры поверхности (дифракция электронов, атомная микроскопия. Релаксация и реконструкция поверхности. Основы электронной спектроскопии. EXAFS, фотоэлектронная дифракция. Сканирующая туннельная микроскопия. Электронная структура поверхности. Поверхностные состояния Шокли и Тамма. Адсорбция. Физические механизмы при взаимодействии атома (молекулы) при разных видах адсорбции. Кинетика адсорбции, коэффициент прилипания, порядок адсорбции, изотермы адсорбции. Поверхностные структуры при формировании монослоя. Соразмерная и несоразмерная решетки. Поверхностная диффузия. Типы поверхностной диффузии. Механизмы диффузии на атомном уровне. Поверхностная диффузия кластеров. Экспериментальные методы наблюдения поверхностной диффузии. Рост тонких пленок.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

освоение студентами фундаментальных знаний в области квантовой оптики, овладение методами квантовой теории, а также пониманием способов их практического применения.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области физики поверхности как дисциплины, интегрирующей общезначимую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов основным принципам и подходам области физики поверхности и освоение основных теоретических методов, применимых в этой области физики;
- формирование правильных теоретических подходов к выполнению исследований студентами в области физики поверхности в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)

исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики и математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем моделирования физических процессов, протекающих в твердых телах;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- математическим моделированием физических задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основные понятия о поверхности как о специфическом объекте физических исследований.	10	15		25
2	Экспериментальные подходы при работе с поверхностью твердого тела в контролируемых условиях сверхвысокого вакуума.	10	15		25
3	Современное состояние дел в области физики поверхности.	10	15		25
Итого часов		30	45		75
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Основные понятия о поверхности как о специфическом объекте физических исследований.

Чистые поверхности. Поверхность металлов и полупроводников. Поверхностные состояния. Электронная структура поверхности. Теоретические подходы. Экспериментальные методы исследования.

Кристаллическая структура. Реконструкция. Методы анализа.

Оптические свойства.

Физическая адсорбция.

Химическая адсорбция.

Поверхностные химические реакции.

Фазовые переходы на чистой поверхности и поверхности, покрытой адсорбатом.

Рост кристаллов на поверхности.

2. Экспериментальные подходы при работе с поверхностью твердого тела в контролируемых условиях сверхвысокого вакуума.

Основные экспериментальные методы анализа поверхности в сверхвысоком вакууме.

Сканирующая туннельная микроскопия/спектроскопия и ее возможности.

3. Современное состояние дел в области физики поверхности.

Современные проблемы физики поверхности.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

Необходимое программное обеспечение: офисный пакет OpenOffice для рефератов и презентаций, программа Origin (при наличии технической возможности).

Обеспечение самостоятельной работы – доступ в Интернет, базы данных по журналам American Physical Society, American Institute of Physics, Institute of Physics, Nature, Springer Verlag, библиотека ИОФ РАН.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Физика поверхности [Текст]/Э. Зенгуил, пер. с англ. С. А. Венкстерна [и др.], -М., Мир, 1990
2. Введение в физику поверхности [Текст] = Introduction to surface physics/М. Праттон, -М.; Ижевск, Регулярная и хаотическая динамика, 2000
3. Введение в физику поверхности [Текст]/К. Оура [и др.], -М., Наука, 2006

Дополнительная литература

1. Физика твердого тела [Текст] : в 2 т. Т. 1 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; пер. с англ. А. С. Михайлова ; под ред. М. И. Каганова .— М. : Мир, 1979 .— 399 с.
2. Физика твердого тела [Текст] : в 2 т. Т. 2 : [учеб. пособие для вузов] / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; пер. с англ. К. И. Кугеля, А. С. Михайлова ; под ред. М. И. Каганова .— М. : Мир, 1979 .— 424 с.
3. Surface Science, v.500 (2002) pp.1053

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Журналы по физике твердого тела (Физика твердого тела, Кристаллография, ЖТФ, Письма в ЖТФ, Physica Status Solidi b, Physical Review B и др.), доступные через Internet научные и научно-технические журналы: <http://scitation.aip.org/>, <http://www.sciencemag.org/> электронные конспекты лекций, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как OpenOffice.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий курс «Введение в физику поверхности», должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом физики конденсированного состояния, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике для расчета различных характеристик. Поскольку в ходе лекций для иллюстрации общих принципов проводится обсуждение современных актуальных проблем физики поверхности, которые не в полной мере отражены в существующих учебниках, посещение лекций является абсолютно необходимым для успешного усвоения изучаемого материала.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях,
- подготовку к практическим занятиям, экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций. С целью углубленного изучения тех или иных разделов курса студентам могут быть предложены специальные темы для самостоятельной работы.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра лазерных систем и структурированных материалов
курс:	1
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	К.Н. Ельцов, д-р физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Введение в физику поверхности» обучающийся должен:

знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики и математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем моделирования физических процессов, протекающих в твердых телах;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- математическим моделированием физических задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Примерные темы заданий для самостоятельной работы (рефераты):

1. Спин-поляризованная сканирующая туннельная микроскопия.
2. Теория функционала плотности и ее применения к поверхности.
3. Атомные реконструкции поверхности АПВ.
4. Реконструкция поверхности Au(111). Сдвоенные доменные стенки.
5. Использование СТМ для изготовления устройств нанoeлектроники.
6. Стоячие электронные волны на поверхности металлов.
7. Неупругое тунелирование электронов и колебательная спектроскопия одиночных молекул.
8. Особенности адсорбции кислорода на поверхности металлов.
9. Фотоэлектронная ультрафиолетовая спектроскопия с угловым разрешением.
10. Особенности сканирующей туннельной спектроскопии поверхности полупроводников.
11. Сканирующая туннельная люминесценция.
12. Реализация квантовых вычислений на отдельных атомах.
13. Вакуумные технологии создания графеновых слоев и их изучение.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена:

Темы:

1. Основы двумерной кристаллографии
 - Двумерные решетки
 - Индексы Миллера для двумерных решеток
 - Обозначения поверхностных структур
 - Обратная решетка
 - Двумерная зона Бриллюэна
 - Подходы к изучению структуры поверхности
2. Сверхвысокий вакуум
3. Подготовка поверхности для исследований в сверхвысоком вакууме
4. Методы изучения структуры поверхности
 - Дифракция электронов
 - Атомная микроскопия
5. Релаксация и реконструкция поверхности
6. Основы электронной спектроскопии
 - Классификация методов по получаемой информации
 - Спектр вторичных электронов при возбуждении электронами и фотонами
 - Как регистрировать электроны
 - Электронная оже-спектроскопия
 - Спектроскопия характеристических потерь
 - Фотоэлектронная спектроскопия
7. EXAFS, фотоэлектронная дифракция
8. Сканирующая туннельная микроскопия
9. Электронная структура поверхности. Поверхностные состояния Шокли и Тамма.
10. Адсорбция
 - Типы адсорбции

- Физические механизмы при взаимодействии атома (молекулы) при разных видах адсорбции
- Кинетика адсорбции, коэффициент прилипания, порядок адсорбции, изотермы адсорбции.
- Поверхностные структуры при формировании монослоя. Соразмерная и несоразмерная решетки.
- Какие величины измеряются при изучении адсорбции атомов и молекул.

11. Поверхностная диффузия

- Типы поверхностной диффузии
- Механизмы диффузии на атомном уровне
- Поверхностная диффузия кластеров
- Экспериментальные методы наблюдения поверхностной диффузии

12. Рост тонких пленок

Пример экзаменационного билета из трех вопросов, используемого для проведения экзамена:

Билет №1

1. Двумерные решетки. Индексы Миллера для двумерных решеток.
2. Как регистрировать электроны. Электронная оже-спектроскопия. Спектроскопия характеристических потерь.
3. Физические механизмы при взаимодействии атома (молекулы) при разных видах адсорбции

Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;

оценка «отлично (9)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые были самостоятельно обнаружены и исправлены;

оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые после указания экзаменатора были самостоятельно исправлены;

оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает неточности в ответе или делает несущественные ошибки при решении задач;

оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает небольшие ошибки в ответе и (или) при решении задач;

оценка «хорошо (5)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но отвечает неуверенно и (или) допускает ошибки при решении задач;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, если при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, не владеющему некоторыми разделами учебной программы, но умеющему применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач;

оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, показавшему полное незнание учебной программы дисциплины.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 1 астрономический час на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, конспектом лекций и персональными компьютерами.