



Основная профессиональная образовательная программа  
03.03.02 Физика  
(Фундаментальная и прикладная физика)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра фундаментальной физики и нанотехнологий

ОДОБРЕНО:

Руководитель ОП

(подпись)

Л.И. Минеев

«31» августа 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Физика поверхности**

Уровень высшего образования:	бакалавриат
Квалификация выпускника:	бакалавр
Направление подготовки:	03.03.02 Физика
Направленность (профиль) образовательной программы:	Фундаментальная и прикладная физика



Основная профессиональная образовательная программа  
03.03.02 Физика  
(Фундаментальная и прикладная физика)

---

### 1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению «Физика» и начинает готовить студентов-к организационно-административной, проектной и исследовательско-аналитической видам деятельности. Конкретно подготовка заключается в следующем:

- организационно-административная – в рациональной организации и планировании своей деятельности в соответствии с требованиями работодателя и умении грамотно применять полученные знания,
- проектная – в умении по месту работы распознать перспективное начинание или область деятельности и включиться в реализацию проекта под руководством опытного специалиста, а также в готовности работать рядовым исполнителем проекта,
- исследовательско-аналитическая – в ведении первичной аналитической работы для ответов на семинарских занятиях, выполнения индивидуальных заданий и написания курсовой работы.
- многофакторная цель дисциплины – сформировать у студентов системные знания об общепринятых методах обработки и представления экспериментальных данных, закрепить на практике в рамках лабораторных работ получаемые теоретические знания.
- Для достижения этой цели преподавание дисциплины призвано решить следующие задачи:
- сформировать у студентов системное представление о совокупности естественно-научных дисциплин, занимающихся поверхностью;
- дать специалистам прочные фактические знания по изучению различных видов поверхностных явлений;
- обучить критическому анализу научного материала, представляемого в литературных источниках,
- обучить оформительским и вычислительным навыкам, необходимым для оформления лабораторных, курсовых работ и ВКР.

### 2. Место дисциплины в структуре ОП

В структуре ОП дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

Курс «Физика поверхности» носит междисциплинарный характер. Используя сведения из различных областей естественнонаучного знания, студенты должны получить цельное представление о процессах, протекающих в различных условиях на межфазной границе. С учетом развиваемого на кафедре технической физики ИвГУ научного направления — трибологии, посвященного исследованию трения и износа твёрдых тел, настоящий курс ориентирован на вскрытие физической сущности явлений, происходящих при контактировании твердых тел, с учетом действия окружающей среды на контакт. По этой причине курс нацелен на дальнейшее рассмотрение вопросов физики и химии поверхностных явлений, связанных с проблемами трибологии, с акцентом на физику процессов трения, износа и смазки.

Настоящий курс содержит связи с другими курсами материаловедческой специализации. Так, с курсом «материаловедение» эта связь состоит в части, посвященной понятию «фазы» и межфазной границы, структуры твердых поверхностей. Аналогичные соответствия имеются и с дисциплиной «рентгеноструктурный анализ». С курсом «Модификация поверхностей и покрытия» имеется стыковка содержания курса в части антифрикционных и антиизносных покрытий, а с курсом «электронная микроскопия и электронография» прослеживается связь в разделе «методы исследования поверхностей». С курсом «физика твердого тела» имеется согласование по разделу поверхностных электронных состояний и изложения физических принципов различных методов спектроскопии поверхности.



Основная профессиональная образовательная программа  
03.03.02 Физика  
(Фундаментальная и прикладная физика)

Таким образом, настоящий курс можно охарактеризовать как широко-обзорный курс прикладной направленности, который разнообразием практических и научных приложений иллюстрирует фундаментальные физические принципы и процессы, изучаемые в других дисциплинах специализации. Дисциплина «Физика поверхности» входит в базовую часть математического, естественно-научного и общетехнического циклов и является обязательной для изучения. Её освоение базируется на знаниях, умениях и навыках, полученных в результате изучения курса; Б1.О.11 Физика, Б1.Б.10.2. «Химия». Понятия и идеи этого курса имеют применение в дальнейших спецкурсах Б1.В.ОД.10.6. «Физика конденсированного состояния вещества»; Б1.В.ДВ.02.01 Физические свойства тонких пленок и методы их получения; Б1.В.ОД.10.8. «Прикладное материаловедение»

Успешное освоение данной дисциплины будет способствовать готовности студентов к освоению дисциплин: «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов», «Проектирование микро- и наносистем», «Физические свойства тонких пленок и методы их получения», «Органические пленки и монослои», прохождению преддипломной практики, научно-исследовательской работы и ВКР.

Студент, приступающий к изучению дисциплины, должен обладать знаниями, умениями, навыками/опытом практической деятельности, полученными ранее в ходе изучения дисциплин: «Физика», «Химия», «Физическая химия», «Органическая химия», «Физика конденсированного состояния вещества»

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

#### **3.1. Компетенции, формированию которых способствует дисциплина**

- Универсальные (УК): нет.
- Общепрофессиональные (ОПК): нет.
- Профессиональные (ПК):

ПК-1. Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом знаний теоретических и прикладных основ материаловедения, микромеханики и сопромата

#### **3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения формируемых компетенций**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

##### **Знать:**

- Историю развития науки о поверхности, ее место среди других дисциплин физико-химического цикла.
- Понятие о дисперсных системах, их классификации.
- Основы термодинамического описания межфазных границ.
- Понятия поверхностного натяжения и свободной поверхностной энергии.
- Представления о структуре поверхности твердых тел различной химической природы и структуры.
- Основы науки о капиллярных явлениях и смачивании твердых тел.
- Понятия и основные свойства явлений адгезии и когезии.
- Определение, классификацию и основные свойства адсорбции. Характеристики поверхностно-активных веществ.
- Представления об электрических явлениях на поверхностях, электрокинетических явлениях в дисперсных системах.



Основная профессиональная образовательная программа  
03.03.02 Физика  
(Фундаментальная и прикладная физика)

— Основные методы исследования различных свойств поверхностных явлений, в частности, методы спектроскопии поверхности.

**Уметь:**

- Определять в эксперименте основные свойства поверхностей, оценивать параметры электрокинетических явлений.
- Измерять параметры двойного электрического слоя в растворах электролитов.
- Выбирать методы и аппаратуру для изучения различных характеристик поверхностных слоев и дисперсных систем.
- Применять полученные теоретические знания на практике при выборе способов получения дисперсных систем и изучении их основных свойств.
- Анализировать методы исследования дисперсных систем.
- Работать с научной литературой по актуальным вопросам применения дисперсных систем и изучения поверхностных явлений.
- творчески подходить к подготовке научных сообщений по данной проблематике.

**Иметь:**

- Опыт термодинамического подхода к описанию поверхностных явлений.
- Навыки оперирования размерностями величин, связанных с оценкой состояния поверхностей разного типа.
- Навыки экспериментальной работы с дисперсными системами.
- Навыки экспериментальной работы с использованием реологического, оптического, диффузионного, осмотического, адсорбционного методов исследования дисперсных систем и поверхностных явлений.
- Навыки выполнения основных лабораторных операций и навыки обработки полученных экспериментальных результатов.

#### 4. Объем и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72 академических часов).

##### 4.1. Содержание дисциплины по разделам (темам), соотнесенное с видами и трудоемкостью занятий лекционно-семинарского типа

Объем иной контактной работы и самостоятельной работы обучающегося по дисциплине указан в учебном плане образовательной программы.

№ п/п	Разделы (темы) дисциплины	Семестр	Виды занятий, их объем (в ак. часах, по очной/заочной форме обучения)		Формы текущего контроля успеваемости (по очной/заочной форме обучения)  Формы промежуточной аттестации
			Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	
1.	Общие понятия, связанные с физическими поверхностями. Дисперсные системы.	7	4	4 Практ. занятие	Входная диагностика: выборочный опрос по выявлению остаточных знаний по курсу «Молекулярная физика»
2.	Термодинамическое описание границы раздела фаз	7	2		Опрос по теме предыдущего занятия



Основная профессиональная образовательная программа  
03.03.02 Физика  
(Фундаментальная и прикладная физика)

3.	Твердые поверхности	7	2	4 Лабор. занятие	Опрос по теме предыдущего занятия
4.	Капиллярность		2		Опрос по теме предыдущего занятия
5.	Смачивание	7	2	4 Лабор. занятие	Опрос по теме предыдущего занятия
6.	Адгезия	7	2		Опрос по теме предыдущего занятия
7.	Адсорбция	7	2	4 Лабор. занятие	Опрос по теме предыдущего занятия
8.	Электроповерхностные явления	7	2		Опрос по теме предыдущего занятия
9	Экспериментальные методы исследования твердых поверхностей	7	2	4 Практ. занятие	Зачет итоговый
ИТОГО:			20	20	зачет

#### 4.2. Развернутое описание содержания дисциплины по разделам (темам)

##### 1. Общие понятия.

Поверхность как объект исследования. Научные дисциплины, изучающие поверхность. Причины ускоренного развития науки о поверхностных явлениях. Определение понятия «физическая поверхность». Классификация поверхностей по типу межфазной границы. Классификация поверхностных явлений по виду превращений энергии. Коллоидное (дисперсное) состояние вещества. Дисперсные системы. Гетерогенность и дисперсность. Дисперсная фаза и дисперсионная среда. Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию фаз и размеру дисперсной фазы.

##### 2. Термодинамическое описание границы раздела фаз

Основные понятия о поверхностных термодинамических параметрах. Понятия «поверхности разрыва» и «разделяющей поверхности» по Гиббсу. Метод избыточных величин. Оценка полной и поверхностной энергии для многофазных дисперсных систем. Физический смысл параметров «поверхностное натяжение» и «поверхностная энергия». Фундаментальные уравнения для описания гетерогенных систем. Метод слоя конечной толщины. Опыт Дюпре. Два подхода к оценке поверхностного натяжения. Полная поверхностная энергия. Температурная зависимость поверхностного натяжения. Межфазное натяжение двух жидкостей. Правило Антонова.

##### 3. Твердые поверхности

Характеристики поверхностей твердых кристаллов. Соотношение поверхностных и «объемных» атомов в твердых частицах различных размеров. Зависимость координационного числа атомов кристаллической решетки от расположения атома относительно поверхности. Свойства поверхностей в зависимости от типа межатомной связи в кристалле. Дефекты поверхности, их типы. Пространственные и примесные дефекты. Электронная структура поверхности для граней кристалла с разной плотностью упаковки. Поверхностная энергия кристаллов. Её зависимость от типа связи в кристалле.

##### 4. Капиллярность



Основная профессиональная образовательная программа  
03.03.02 Физика  
(Фундаментальная и прикладная физика)

Сущность явления капиллярности. Капиллярное давление. Уравнение Юнга-Лапласа для сферической поверхности и поверхности двойной кривизны. Капиллярное поднятие и капиллярное понижение. Экспериментальные методы измерения поверхностного натяжения жидкостей. Метод капиллярного поднятия. Метод максимального давления в пузырьках (Ребиндера). Метод отрыва кольца или пластины (весы Вильгельми). Динамические методы.

#### 5. Смачивание

Физическая природа смачивания. Растекание. Смачиваемые и несмачиваемые поверхности. Краевые углы. Уравнение Юнга для краевого угла. Количественная оценка смачивания. Факторы, влияющие на смачивание.

#### 6. Адгезия

Определение понятия адгезии и когезии. Количественная оценка адгезии. Адгезия между двумя жидкостями. Оценка когезии внутри Жидкой фазы. Адгезия на границе жидкость – твердое тело. Коэффициент растекания. Условие неограниченного растекания. Адгезия между твердыми телами.

#### 7. Адсорбция

Основные понятия и определения, связанные с адсорбцией. Три типа адсорбции. Количественная оценка адсорбции. Изотерма адсорбции. Типы изотерм. Природа адсорбционных сил. Физическая адсорбция. Хемосорбция, её принципиальные отличия от физической адсорбции. Роль энергии активации частиц в процессе хемосорбции. Температурные зависимости физической и химической адсорбции.

Адсорбция газов и паров на твердых поверхностях. Модели изотерм адсорбции. Уравнение Фрейндлиха. Теория Лэнгмюра, её основные допущения. Уравнение Лэнгмюра, область его применения. Теория полимолекулярной адсорбции Поляни. Предпосылки теории. Построение характеристических кривых адсорбции. Теория БЭТ, её основные предпосылки. Адсорбционные комплексы. Уравнение БЭТ. Применение теории БЭТ для экспериментального определения удельной поверхности диспергированных адсорбентов. Капиллярная конденсация. Гистерезис капиллярной конденсации, влияние на него формы пор.

Адсорбция на границе жидкость – газ, её отличительные особенности от адсорбции газа на твердых поверхностях. Классификация растворённых веществ по поверхностной активности. Поверхностно-активные вещества (ПАВ). Особенности строения дифильных молекул ПАВ. Основные типы ПАВ. Поверхностно-инактивные и поверхностно-индифферентные вещества. Понятие отрицательной адсорбции. Изотермы поверхностного натяжения и адсорбции для веществ с положительной, отрицательной и нулевой адсорбцией. Количественная оценка поверхностной активности. Её геометрическая интерпретация на графике изотермы адсорбции. Правило Траубе. Ориентация молекул ПАВ на поверхности. Монослойные пленки ПАВ (пленки Лэнгмюра-Блоджетт). Адсорбционное уравнение Гиббса. Построение изотерм адсорбции по изотермам поверхностного натяжения с помощью адсорбционного уравнения Гиббса. Особенности строения адсорбционного слоя на границе жидкость – газ. «Газообразные», «жидкие» и «твердые» поверхностные пленки. Уравнение состояния «двумерного газа». Образование в растворах ПАВ мицелл. Формы мицелл. Критическая концентрация мицеллообразования (ККМ). Экспериментальное определение ККМ.

Адсорбция из растворов на твердом теле. «Кажущаяся» и абсолютная адсорбция. Изотермы адсорбции из растворов на твердом теле, их математическое описание согласно моделям Фрейндлиха и Лэнгмюра. Молекулярная адсорбция. Правило «уравнивания полярностей» Ребиндера, примеры его реализации и практические следствия.

Ионная адсорбция. Причины электрически заряженного состояния поверхностных слоев. Влияние на адсорбцию гидратации ионов. Обменная адсорбция, её характерные особенности. Ионообменные смолы, их практическое использование. Адсорбционная хроматография,



Основная профессиональная образовательная программа  
03.03.02 Физика  
(Фундаментальная и прикладная физика)

основной принцип метода. Варианты хроматографического процесса. Устройство газового хроматографа. Интерпретация хроматограмм.

8. Электроповерхностные явления

Возникновение двойного электрического слоя (д.э.с.) на границе раздела металл – электролит. Физико-химические механизмы его возникновения. Строение (д.э.с.). Теория конденсированного д.э.с. (по Гельмгольцу). Теория диффузного д.э.с. (по Гуи-Чапмену). Адсорбционная теория Штерна. Электрокинетические явления, их общая природа и классификация.  $\zeta$ -потенциал. Электроосмос. Электрофорез. Уравнение Гельмгольца-Смолуховского для электро-осмоса и электрофореза. Электрoкапиллярность. Связь между межфазным поверхностным натяжением и скачком потенциала в д.э.с. Первое и второе уравнения Липпмана. Уравнение Нернста. Капиллярный электрометр Липпмана. Электрoкапиллярные кривые. Определение концентрации анионов, катионов и ПАВ из электрoкапиллярных кривых.

9. Экспериментальные методы исследования твердых поверхностей

Характерные особенности исследования твердых поверхностей. Оптические методы: оптическая микроскопия, фотометрия, интерферометрия, эллипсометрия. Принцип действия эллип-сометра. Метод поверхностной фото-ЭДС. Электрические методы: оценка работы выхода электрона (по методу Кельвина), измерение поверхностной проводимости кристаллов. Автоэлектронная и автоионная эмиссия. Принцип действия и конструкция экспериментальных установок.

Спектроскопия поверхности. Общая характеристика спектроскопических исследований. Классификация методов по природе первичного и вторичного пучка. Примеры спектральных методов и получаемая им информация. Экспериментальное оборудование для спектроскопии поверхности. Метод дифракции медленных электронов. Схемы установок Джермера и Фарнсворта. Оже-электронная спектроскопия. Принцип метода. Экспериментальное оборудование. Интерпретация оже-спектров. Ультрафиолетовая и рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.

## 5. Образовательные технологии

Лекции с использованием презентационного материала и проектора. технология использования мультимедийных средств в образовательном процессе. Включенная дискуссия на лекционных занятиях. Освоение в процессе занятий специальной англоязычной лексики. Технология проблемного обучения, Индивидуальное выполнение лабораторных работ при взаимодействии студента и преподавателя. В течение семестра контрольные работы и тестирование по всем темам курса.

В процессе изучения тем курса на лабораторных занятиях каждый студент получает индивидуальное задание, которое должен выполнить как под руководством преподавателя, так и самостоятельно. Полученные при компьютерном моделировании результаты выполняются в виде графических слайдов. Предполагается компьютерная обработка экспериментальных данных и построение графического материала.



Основная профессиональная образовательная программа  
03.03.02 Физика  
(Фундаментальная и прикладная физика)

---

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа студентов организуется в формах решения учебных задач, подготовки письменных отчётов о выполнении работ лабораторного практикума, подготовки ответов на теоретические вопросы, сопровождающие письменные отчеты о выполнении лабораторных работ.

## **7. Характеристика оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Оценочные средства для проведения входного, текущего и итогового контроля: контрольные работы, письменный опрос, проверка домашних работ, проверка и защита отчётов о выполнении работ лабораторного практикума.

Контрольные работы проводятся в письменной форме по завершении изучения каждого четвёртого разделов курса. Студентам предлагается в течение двух академических часов решить несколько учебных задач, правильное выполнение каждой из которых оценивается в один балл. Контрольная работа считается зачтённой в случае, если студент набрал более половины от максимально возможного количества баллов, предусмотренного при выполнении данной контрольной работы.

При проведении зачёта используется накопительная форма оценки. Зачёт ставится при условии успешного выполнения всех лабораторных работ и ответов на теоретические вопросы. Итоговый зачет по теоретическим разделам курса проводится в смешанной письменно-устной форме. Студенту предлагается два теоретических вопроса.).

Студент получает отметку «зачтено», если владеет понятийно-терминологическим аппаратом дисциплины, применяет знания при ответах на теоретические вопросы и вопросы, рассматриваемые в пределах лабораторного практикума.

Студент получает оценку «не зачтено», если он не владеет понятийным аппаратом дисциплины, не ответил на теоретические вопросы, не выполнил лабораторные работы и не отчитался по темам лабораторного практикума.

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

### Основная учебная литература:

1. Поверхностные явления и мезоморфизм: учебное пособие / В. А. Годлевский, Н. В. Усольцева ; Иван. гос. ун-т. — Иваново : ИвГУ, 2011. — 180 с. — ISBN 978-5-7807-0862-9.

### Дополнительная учебная литература:

1. Коллоидная химия: учебное пособие ] [Электронный ресурс ] / Е.С. Романенко. Н.Н. Францева. Ю.А. Безгина. Е.В. Волосова. - Ставрополь: Ставропольское издательство «Параграф», 2013. - 52 с.Режим доступа:

[https://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=277427](https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=277427)

2. Мамонова М.В., Прудников В.В., Прудникова И.А. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы. [Электронный ресурс] — М.: ФИЗМАТЛИТ. 2011. - 400 с. - ISBN 978-5-9221-1236-9.Режим

доступа:[https://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=457455](https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=457455)





Основная профессиональная образовательная программа  
03.03.02 Физика  
(Фундаментальная и прикладная физика)

---

Информационно-справочные системы и профессиональные базы данных:

Научная библиотека elibrary.ru, более 20 полнотекстовых версий журналов по тематике курса. (<http://elibrary.ru>).

Информационная система доступа к российским журналам и обзорам ВИНТИ РАН. (<http://vinitit.ru>)

Хранилище электронных копий всех издаваемых компанией Springer журналов <http://www.springerlink.com/>

Система электронной поддержки образовательного процесса «Мой университет» <https://uni.ivanovo.ac.ru>

Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

ЭБС «Университетская библиотека онлайн» [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru);

<http://lib.ivanovo.ac.ru/index.php/polnotekstovye-resursy/ebs-universitetskaya-biblioteka>

Электронная библиотека ИвГУ <http://lib.ivanovo.ac.ru/index.php/polnotekstovye-resursy/elibnew>

Электронный каталог НБ ИвГУ <http://lib.ivanovo.ac.ru/index.php/ek>

Программное обеспечение:

Пакеты программ MS WORD, MS EXCEL, ORIGIN

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Учебные аудитории:

— для проведения занятий лекционного типа с комплектом специализированной учебной мебели и техническими средствами обучения, служащими для предоставления учебной информации большой аудитории;

— для проведения занятий семинарского типа, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, выполнения курсовых работ (проектов) с комплектом специализированной учебной мебели и техническими средствами обучения.

Лаборатории, оснащенные лабораторным оборудованием, комплектом специализированной учебной мебели и техническими средствами обучения.

Помещение для самостоятельной работы, оснащенное комплектом специализированной учебной мебели, компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в ЭИОС.

Демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия для занятий лекционного типа, обеспечивающие тематические иллюстрации: персональный компьютер, проектор, экран.



Основная профессиональная образовательная программа  
03.03.02 Физика  
(Фундаментальная и прикладная физика)

---

**Автор(ы)-составитель(и):** профессор кафедры фундаментальной физики и нанотехнологий, доктор технических наук, профессор Годлевский В.А.

Программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры фундаментальной физики и нанотехнологий « 31 » августа 2023 г., протокол № 1

Программа обновлена

протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Согласовано:

Руководитель ОП \_\_\_\_\_  
(подпись)

Программа обновлена

протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Согласовано:

Руководитель ОП \_\_\_\_\_  
(подпись)

Программа обновлена

протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Согласовано:

Руководитель ОП \_\_\_\_\_  
(подпись)