

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ
КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА ПОВЕРХНОСТИ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
2	2	72	15	15	0	42	0	3
Итого	2	72	15	15	0	42	0	

АННОТАЦИЯ

Целями освоения учебной дисциплины является ознакомление студентов с уникальностью физических явлений, происходящих в приповерхностной области твердого тела, вблизи границы раздела твердых с отличающимися свойствами, в тонких пленках; с простыми моделями явлений, происходящих на поверхности, позволяющими понять физический механизм этих явлений и дать их качественное описание.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины является ознакомление студентов с уникальностью физических явлений, происходящих в приповерхностной области твердого тела, вблизи границы раздела твердых с отличающимися свойствами, в тонких пленках; с простыми моделями явлений, происходящих на поверхности, позволяющими понять физический механизм этих явлений и дать их качественное описание.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Понимание физических механизмов явлений, происходящих на поверхностях, на границах раздела сред и в тонких пленках является необходимым компонентом образования современного инженера-физика в связи с широким применением этих систем в современной микроэлектронике, в спинтронике, в физике конструкционных покрытий, в катализе и т.д. Наряду со знаниями уникальных свойств поверхностей и тонких пленок, отличных от аналогичных свойств объемных образцов, необходима осведомленность в принципах и в специфике математического описания механизмов физических явлений, происходящих в системах с пониженной размерностью.

В качестве базовых знаний для усвоения дисциплины необходимы знания цикла курсов общей физики, высшей математики, статистической физики, физики твердого тела, физической кинетики и химии.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание	Код и наименование индикатора достижения профессиональной
--	---------------------------	---	---

		(профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	компетенции
научно-исследовательский			
Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований, построение физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений в рамках предметной области по профилю специализации	Природные и социальные явления и процессы	ПК-1 [1] - Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-1[1] - Знать основные методы и принципы научных исследований, математического моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования современных научных методов исследования для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств. ; У-ПК-1[1] - Уметь ставить и решать прикладные исследовательские задачи, оценивать результаты исследований; проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива; В-ПК-1[1] - Владеть навыками выбора и использования математических моделей для научных исследований и (или) разработки новых технических средств самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы.
Участие в проведении наблюдений и измерений,	Природные и социальные явления и	ПК-3 [1] - Способен профессионально работать с	З-ПК-3[1] - Знать основные методы исследований,

<p>выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий</p>	<p>процессы</p>	<p>исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области в соответствии с целями программы специализированной подготовки магистра</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>принципы работы приборов и установок в избранной предметной области ; У-ПК-3[1] - Уметь выбирать необходимые технические средства для проведения экспериментальных исследований в избранной предметной области, обрабатывать полученные экспериментальные результаты; В-ПК-3[1] - Владеть навыками работы с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области</p>
<p>инновационный;</p>			
<p>Проведение фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач</p>	<p>Природные и социальные явления и процессы</p>	<p>ПК-5 [1] - Способен применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-5[1] - Знать физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования, принципы экспертизы продукции для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий ; У-ПК-5[1] - Уметь применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких</p>

			технологий; В-ПК-5[1] - Владеть навыками теоретического и экспериментального исследования, математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий
--	--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>2 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/8/0		25	Т-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
2	Часть 2	9-15	7/7/0		25	Т-15	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-

							3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 5, У- ПК-5, В- ПК-5
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/15/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	3	3-ПК-1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК-3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК-5, У- ПК-5, В- ПК-5

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
Т	Тестирование
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	15	15	0
1-8	Часть 1	8	8	0
1	Исторический обзор и хронология достижений, связанных с явлениями на поверхности. Исторический обзор и хронология достижений, связанных	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		

	с явлениями на поверхности. Описание проблем, возникающих из-за загрязнения поверхности – адсорбция, сегрегация. Обзор технологических применений явлений, связанных с границей раздела сред и ее модификациями. Определение задачи науки о поверхности, перечень тем, которые планируется рассмотреть на лекциях.	0	0	0
2	Два подхода к описанию термодинамики границы раздела сред Два подхода к описанию термодинамики границы раздела сред. Термодинамическая теория Гиббса границы раздела твердое тело - пар и ее преимущества. Связь энергии напряжения поверхности с коэффициентом поверхностного натяжения, сравнение с экспериментальными данными по поверхности воды и золота. Энтропия единицы площади поверхности. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения от адсорбции. Сравнение с экспериментальными данными по адсорбции кислорода на меди.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Явление межплоскостной релаксации Явление межплоскостной релаксации. Обзор экспериментальных результатов по межплоскостной релаксации, полученных с поверхностями переходных металлов, описание экспериментального метода их получения – дифракция медленных электронов. Объяснение трудностей экспериментального исследования межплоскостной релаксации и теоретического описания этого явления для переходных металлов. Формулировка и решение простой модели межплоскостной релаксации без учета электронной подсистемы. Анализ результатов и обсуждение пределов применимости использованной модели.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	Изотермы адсорбции Изотермы адсорбции невзаимодействующих частиц, закон Генри, изотерма Ленгмюра, изотерма адсорбции смеси газов разных сортов, изотерма многослойной адсорбции Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ). Сравнение с экспериментальными данными по адсорбции. Демонстрация возможности определить число вакантных мест на поверхности, исходя из изотермы БЭТ	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Изотерма взаимодействующих частиц. Изотерма взаимодействующих частиц. Вычисление свободной энергии и химического потенциала адсорбата в рамках модели решеточного газа в приближении Брегга-Вильямса. Условие термодинамического равновесия в системе газ-твердое тело. Анализ случаев отталкивания и притяжения адсорбированных частиц, сравнение с экспериментальными результатами по адсорбции CH_4 на NaCl при разных температурах.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	Кристаллография поверхности. Кристаллография поверхности. Два определения решетки Браве, понятие решетки с базисом, обратное пространство, условная элементарная ячейка, ячейка Вигнера-Зейтца и ее	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

	связь с понятием зоны Бриллюэна, семейство атомных плоскостей. Индексы Миллера и специфика обозначения структур, образующихся на реконструированной поверхности.			
7	Равновесная форма кристалла Равновесная форма кристалла. Теорема Л.Д.Ландау о связи энергии вицинальной поверхности со значениями индексов Миллера. Геометрический метод построения Вульфа равновесной формы кристалла по зависимости коэффициента поверхностного натяжения от ориентации границы кристалла. Модель разупорядочивающего перехода "твердое тело на твердом теле".	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Поверхностные волны Реллея Поверхностные волны Реллея. Приближение сплошной среды, сагитальная плоскость, продольные и поперечные волны, сравнение скорости распространения поверхностных волн Реллея со скоростями объемных волн, влияние анизотропии кристалла. Экспериментальные методы исследования поверхности, основанные на волнах Реллея.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Часть 2	7	7	0
9	Электронная структура поверхности простых металлов в рамках формализма Кона-Шема Электронная структура поверхности простых металлов в рамках формализма Кона-Шема. Понятие работы выхода и ее связь с дипольным слоем поверхности. Природа осцилляций электронной плотности вблизи поверхности металла. Сравнение результатов вычисления коэффициента поверхностного натяжения простых и переходных металлов с экспериментальными данными. Модель эффективной среды.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	Таммовские состояния. Таммовские состояния. Состояния Шокли. Картина спроецированной на плоскость зонной структуры. Экспериментальные данные, свидетельствующие о наличии состояний типа таммовских и состояний Шокли на поверхностях меди. Несобственные таммовские состояния в запрещенной зоне полупроводников на примере кремния и экспериментальные методы их исследования.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	Физическая адсорбция Физическая адсорбция. Взаимодействие атома с поверхностью, силы Ван-дер-Ваальса, эффект запаздывания, поверхностные плазмоны. Эксперимент по исследованию взаимодействия щелочноземельных атомов с поверхностью золота. Экспериментальные данные по физической адсорбции водорода и дейтерия на поверхности металлов. Восстановление потенциала взаимодействия атома с поверхностью из сравнения с экспериментальными данными. Экспериментальные данные по рассеянию электронов на физсорбированных молекулах водорода.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

12	<p>Понятие химической адсорбции на поверхностях металлов и ее отличие от физической адсорбции</p> <p>Понятие химической адсорбции на поверхностях металлов и ее отличие от физической адсорбции. Результаты изучения хемосорбции по термодесорбционным спектрам. Экспериментальные закономерности хемосорбции простых газов на поверхностях переходных металлов. Химическая адсорбция на поверхностях металлов в модели Ньунса-Андерсона, понятие связывающих и антисвязывающих орбиталей. Квантохимическое орбитальное представление об адсорбции окиси углерода и кислорода на поверхностях металлов. Классификация Леннарда-Джонса, понятия конфигурационной кривой и предхемосорбционного состояния.</p>	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	<p>Особенности хемосорбции простых газов на поверхностях полупроводников</p> <p>Особенности хемосорбции простых газов на поверхностях полупроводников. Экспериментальные данные по изучению методом УФЭС адсорбции кислорода на поверхности кремния. Пиннинг уровня Ферми при легировании полупроводника, барьер Шоттки, понятие искривления зон, зависимость концентрации электронов от расстояния до поверхности.</p>	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	<p>Обзор экспериментальных данных по магнитным свойствам тонких пленок и сендвичей</p> <p>Обзор экспериментальных данных по магнитным свойствам тонких пленок и сендвичей. Волны Дэмона-Эшбаха. Основные результаты теоретического описания явления поверхностного магнетизма в рамках спиновых и зонных моделей. Явление антиферромагнитной связи поверхностного и объемного слоев магнетика. Явления, возникающие при контакте инородных магнетиков, на примере границы раздела железо-гадолиний и сендвича железо-хром-железо.</p>	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	<p>Экспериментальные закономерности образования субмонослойных пленок оксида на поверхностях переходных и редкоземельных металлов.</p> <p>Экспериментальные закономерности образования субмонослойных пленок оксида на поверхностях переходных и редкоземельных металлов. Термодинамическая теория образования оксида в модели решеточного газа. Влияние примесей на величину критического заполнения поверхности кислородом при его переходе в оксидное состояние. Ограниченность термодинамической теории и необходимость учета кинетики заполнения поверхности кислородом при описании</p>	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
--------------------	----------------------------

ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс реализует компетентностный подход и предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (компьютерные практикумы, разбор домашних заданий, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) а также, проведение занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	З, Т-8, Т-15
	У-ПК-1	З, Т-8, Т-15
	В-ПК-1	З, Т-8, Т-15
ПК-3	З-ПК-3	З, Т-8, Т-15
	У-ПК-3	З, Т-8, Т-15
	В-ПК-3	З, Т-8, Т-15
ПК-5	З-ПК-5	З, Т-8, Т-15
	У-ПК-5	З, Т-8, Т-15
	В-ПК-5	З, Т-8, Т-15

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма	Оценка по 4-ех	Оценка	Требования к уровню освоению
-------	----------------	--------	------------------------------

баллов	балльной шкале	ECTS	учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 53 Л22 Теоретическая физика Т.5 Статистическая физика.Ч.1, Москва: Физматлит, 2013
2. ЭИ В 57 Физика поверхности твердых тел : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. 544 Р67 Физикохимия поверхности : , В. И. Ролдугин, Долгопрудный: Интеллект, 2008
4. 539.2 Ф50 Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела : учебное пособие для вузов, В. И. Троян [и др.], Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ П 58 Физическая химия : , Санкт-Петербург: Лань, 2022

2. ЭИ К12 Теоретическая физика твердого тела : , Ю. М. Каган, В. Н. Собакин, С. В. Ивлиев, М.: МИФИ, 2009

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении курса студентам необходимо усвоить, что фактически механизмы явлений, происходящих на поверхности, в данном курсе демонстрируются на простых физических моделях, допускающих лишь качественное толкование обсуждаемых явлений. Несмотря на это такие модели полезны, поскольку в большинстве случаев позволяют продемонстрировать специфику поверхности по сравнению с объемными системами. Именно качественное физическое толкование явлений на поверхности в рамках простых физических моделей и является главной целью этого курса. Реальное количественно описание таких явлений, как, например, зависимость работы выхода от степени покрытия поверхности адсорбатом или зависимость энергии анизотропии поверхности от толщины пленки возможно лишь при использовании сложных компьютерных программ, в которых вычисления проводятся из первых принципов. Поэтому при подготовке к экзамену следует большее внимание уделить усвоению качественного описания явление, а не математической стороне этого описания.

В большинстве случаев в курсе используются либо совсем простые модели либо такие в которых лектор без доказательства сообщает об основных результатах их решения, не особенно обращая внимания на математические тонкости. Следует обратить особое внимание на то, что основным препятствием при моделировании свойств поверхности является ее неоднородность, когда электрические, магнитные и механические свойства заметно меняются при переходе от одного атомного слоя к другому, то есть фактически на атомном масштабе. Плюс к этому поверхность, как правило, загрязнена и содержит большое количество дефектов таких, например, как вакансии, образование которых на поверхности происходит легче, поскольку для образования вакансии на поверхности надо порвать меньшее количество связей. С точки зрения математического описания наибольшую сложность представляет собой достижение самосогласования, когда различные свойства влияют друг на друга, а добиться минимума полной энергии при большом числе параметров довольно сложно. При изучении курса следует обратить особое внимание на специфические для поверхности параметры: толщина пленки, работа выхода, поверхностное натяжение и т.д. В этой связи надо знать их четкое определение.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При преподавании курса студентам необходимо донести, что фактически механизмы явлений, происходящих на поверхности, в данном курсе демонстрируются на простых физических моделях, допускающих лишь качественное толкование обсуждаемых явлений. Несмотря на это такие модели полезны, поскольку в большинстве случаев позволяют продемонстрировать специфику поверхности по сравнению с объемными системами. Именно качественное физическое толкование явлений на поверхности в рамках простых физических моделей и является главной целью этого курса. Реальное количественно описание таких явлений, как, например, зависимость работы выхода от степени покрытия поверхности адсорбатом или зависимость энергии анизотропии поверхности от толщины пленки возможно лишь при использовании сложных компьютерных программ, в которых вычисления проводятся из первых принципов. Поэтому при подготовке к экзамену следует большее внимание уделить усвоению качественного описания явления, а не математической стороне этого описания.

В большинстве случаев в курсе используются либо совсем простые модели либо такие в которых лектор без доказательства сообщает об основных результатах их решения, не особенно обращая внимания на математические тонкости. Следует обратить особое внимание на то, что основным препятствием при моделировании свойств поверхности является ее неоднородность, когда электрические, магнитные и механические свойства заметно меняются при переходе от одного атомного слоя к другому, то есть фактически на атомном масштабе. Плюс к этому поверхность, как правило, загрязнена и содержит большое количество дефектов таких, например, как вакансии, образование которых на поверхности происходит легче, поскольку для образования вакансии на поверхности надо порвать меньшее количество связей. С точки зрения математического описания наибольшую сложность представляет собой достижение самосогласования, когда различные свойства влияют друг на друга, а добиться минимума полной энергии при большом числе параметров довольно сложно. При преподавании курса следует обратить особое внимание на специфические для поверхности параметры: толщина пленки, работа выхода, поверхностное натяжение и т.д. В этой связи надо знать их четкое определение.

Автор(ы):

Попов Александр Петрович, к.ф.-м.н., с.н.с.

Рецензент(ы):

Троян В.И., проф. каф. 78 НИЯУ МИФИ