

Институт физики микроструктур РАН —
филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики Российской академии наук»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИФМ РАН

З.Ф.Красильник
"9" апреля 2018 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика поверхности

Направление подготовки

03.06.01 «Физика и астрономия»

Направленность (профиль) программы

01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики»

Квалификация (степень) выпускника

исследователь - преподаватель, исследователь

Форма обучения

очная

Нижний Новгород

2018

1. Место дисциплины в структуре ООП аспирантуры

Дисциплина «Физика поверхности» является обязательной дисциплиной вариативной части программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Для успешного усвоения курса аспиранту необходимо знание общих курсов физики и математики, квантовой механики, статистической физики, термодинамики и электродинамики. Данный курс является базой для выполнения аспирантами исследований в области твердотельных наноструктур и тонких пленок.

Дисциплина изучается на 1 курсе (1 семестр).

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у аспирантов современного представления об основных явлениях и эффектах, связанных с ограниченностью твердых тел;
- ознакомление аспирантов с основными теоретическими подходами для описания свойств поверхности твердого тела и интерфейсов;
- ознакомление аспирантов с основными экспериментальными методами для изучения электрофизических свойств поверхности твердых тел;
- формирование у аспирантов компетенций программы 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы по направлению «Физика и астрономия»

В результате освоения дисциплины обучающийся должен овладеть следующими компетенциями результатами обучения по дисциплине:

Код компетенции	Результаты освоения ООП Содержание компетенций	Перечень результатов планируемых обучения по дисциплине
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	ЗНАТЬ: методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных областях. УМЕТЬ: проводить анализ литературных данных в рамках поставленной исследовательской (практической, образовательной) задачи, выявлять основные вопросы и проблемы, существующие в современной науке; при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений.

		<p>ВЛАДЕТЬ: навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p>
ОПК-1	<p>способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</p>	<p>ЗНАТЬ: теоретические основы организации научно-исследовательской деятельности; методы сбора информации для решения поставленных исследовательских задач; методы анализа данных, необходимых для проведения конкретного исследования.</p> <p>УМЕТЬ: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования планировать, организовывать и проводить научно-исследовательские и производственно-технические исследования с применением современной аппаратуры, оборудования и компьютерных технологий; самостоятельно выполнять теоретические, экспериментальные и вычислительные физические исследования при решении научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и вычислительных средств.</p> <p>ВЛАДЕТЬ: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований; навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и</p>

		<p>формулировки выводов; навыками работы на современной аппаратуре и оборудовании для выполнения физических исследований; способностью самостоятельно с применением современных компьютерных технологий; анализировать, обобщать и систематизировать результаты физических работ.</p>
ПК-1	<p>способность самостоятельно проводить научные исследования в области разработки приборов и методов экспериментальной физики и применять полученные результаты для решения практических задач</p>	<p>ЗНАТЬ: основные законы, теоретические модели и современные методы исследований и математического моделирования в области разработки приборов и методов экспериментальной физики. УМЕТЬ: использовать полученные знания для анализа результатов научных исследований и решения практических задач в области разработки приборов и методов экспериментальной физики. ВЛАДЕТЬ: разработкой методов научного исследования для получения новых фундаментальных знаний в области разработки приборов и методов экспериментальной физики и способами применения этих знаний для создания прикладных технологий и решения практических задач.</p>
ПК-2	<p>способность к системному анализу современных проблем физики и комплекса новейших знаний и достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности</p>	<p>ЗНАТЬ: Базовые законы современной физики и их взаимосвязь, тенденции развития физики в обозримой перспективе, основные проблемы, стоящие перед современной физикой, а также предлагаемые средства их решения. УМЕТЬ: понимать суть явлений и процессов, изучаемых физикой. ВЛАДЕТЬ: основами методологии и практическими навыками научного познания при изучении различных уровней организации</p>

		материи, пространства и времени.
ПК-3	способность использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или методы численного моделирования сложных физических процессов в области разработки приборов и методов экспериментальной физики.	ЗНАТЬ: основные методы обработки данных, полученных экспериментально или методами численного моделирования. УМЕТЬ: выделять и систематизировать необходимые научные данные; критически оценивать их достоверность. ВЛАДЕТЬ: навыками сбора, обработки, анализа и систематизации научных данных; навыками статистического анализа экспериментальных данных; навыками аналитических и численных аппроксимаций функций.

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единиц (ЗЕ), 108 часов.

3.1. Объем дисциплины по видам учебных занятий (в часах)

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость дисциплины	108
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) (всего)	36
Аудиторная работа (всего):	36
в том числе:	
Лекции	18
Практические занятия	18
Самостоятельная работа обучающихся (всего)	72
Вид итогового контроля	Зачет

3.2. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

№	Раздел дисциплины	Всего	Контактная работа		Самостоятельная работа
			Лекционные занятия	Практические занятия	
1	Электродинамические аспекты поверхностных явлений	6	1	1	4
2	Основы двумерной	12	2	2	8

	кристаллографии				
3	Электронные свойства поверхности	24	4	4	16
4	Экспериментальные методы исследования поверхности	24	4	4	16
5	Структура и электронные свойства чистых поверхностей некоторых кристаллов	12	2	2	8
6	Адсорбция и элементарные процессы на поверхности твердых тел	30	5	5	20
	Дисциплина в целом	108	18	18	72

3.3 Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание
1	Электродинамические аспекты поверхностных явлений	Уравнения Максвелла в веществе. Диэлектрическая проницаемость газа свободных электронов. Плазменная частота. Скин-эффект. Условие существования поверхностной электромагнитной волны на границе раздела металл – диэлектрик. Структура и дисперсионная характеристика поверхностного плазмона – поляритона. Приложения.
2	Основы двумерной кристаллографии	Трёхмерные и двумерные кристаллические структуры. Вектора основных трансляций. Индексы Миллера атомных плоскостей кристалла. Индексы направлений. Низкоиндексные плоскости некоторых важных. Сингулярные и вицинальные поверхности. Обратная решетка и зона Бриллюэна. Матричная запись структуры поверхности. Запись Вуда. Примеры двумерных решеток (реконструированные поверхности, поверхности с адсорбатами, вигнеровские кристаллы, вихревые решетки). Структурные дефекты кристаллов.
3	Электронные свойства поверхности	Электронные волны в однородном неограниченном кристалле. Разрешённые и запрещённые зоны. Структура волновой функции на границе первой зоны Бриллюэна. Поверхностные электронные состояния в модели свободного электронного газа. Интерференция поверхностных электронных состояний вблизи дефектов и восстановление спектра поверхностных квазичастиц. Число разрешенных состояний в одномерной цепочке атомов. Заполнение состояний в цепочке двухвалентных и одновалентных атомов. Удвоение периода и структурный фазовый переход Пайерлса. Перестройка энергетического спектра и появление энергетической щели. Невозможность существования одномерных металлов при низких температурах. Волны зарядовой плотности.

		<p>Функционал свободной энергии сверхпроводника. Уравнения Гинзбурга–Ландау. Два характерных масштаба – длина когерентности и глубина проникновения магнитного поля. Эффект Мейсснера. Энергия границы раздела сверхпроводник – нормальный металл. Сверхпроводимость 1-го и 2-го рода. Зарождение сверхпроводимости в неограниченном кристалле. Верхнее критическое поле H_{c2}. Зарождение сверхпроводимости в полуограниченном кристалле с плоской поверхностью. Поверхностная (прикраевая) сверхпроводимость. Критическое поле поверхностной сверхпроводимости H_{c3}. Наноструктурированные сверхпроводники.</p>
4	<p>Экспериментальные методы исследования поверхности</p>	<p>Зачем нужен вакуум? Принципы работы насосов различных типов. Методы измерения уровня вакуума. Приготовление атомарно-чистых поверхностей. Техника напыления в вакууме.</p> <p>Рассеяние электронов на неоднородном электрическом потенциале. Задача рассеяния в дифференциальной и интегральной формах. Борновское приближение. Рассеяние на изолированном атоме. Рассеяние на кристаллической структуре. Условия дифракции Лауэ в трехмерном, двухмерном и одномерном случаях. Построение Эвальда в трехмерном и двумерном случаях. Дифракция медленных электронов (ДМЭ): построение Эвальда, аппаратура для регистрации, типичные результаты. Сверхструктура и суперрефлексы. Примеры восстановления структуры поверхности по ДМЭ-изображению. Дифракция быстрых электронов (ДБЭ): построение Эвальда, аппаратура для регистрации, типичные результаты. Примеры восстановления структуры поверхности по ДБЭ-изображению. Искажения дифракционной картины из-за структурных дефектов поверхности. Фактор Дебая-Валлера. Линии Кикучи.</p> <p>Туннельный эффект. Задача рассеяния и оценка туннельного тока для плоскостной структуры. Метод туннельного матричного элемента. Задача Терсоффа–Хаманна. Связь туннельной проводимости и локальной плотности электронных состояний. Основные компоненты и принцип работы сканирующего туннельного микроскопа. Артефакты туннельных изображений и методы их устранения. Сканирующая туннельная спектроскопия.</p> <p>Спин-зависящее туннелирование и спин-поляризованная туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия и спектроскопия. Магнитно-силовая микроскопия и спектроскопия.</p> <p>Фотоэлектрический эффект. Фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением. Примеры восстановления зонной структуры кристалла по данным ARPES.</p>

5	Структура и электронные свойства чистых поверхностей некоторых кристаллов	<p>Примеры релаксированных и реконструированных поверхностей металлов. Поверхности с нормальной и латеральной релаксацией Al(110) и Fe(211), с квазигексагональной реконструкцией Pt(100), с реконструкцией типа missing-row Pt(110), с реконструкцией типа herring-bone Au(111).</p> <p>Примеры реконструированных поверхностей полупроводников. Поверхности графита C(0001) и графена. Поверхность Si(100): естественная структура 1×1, реконструкция 2×1 и c(4×2). Поверхность Si(111): естественная структура 1×1 и реконструкции 2×1 и 7×7. DAS-модель. Поверхность Ge(111): реконструкции 2×1, 2×2, c(2×4) и c(2×8). Поверхности GaAs(100) и GaAs(111).</p> <p>Примеры интерференции поверхностных квазичастиц на поверхности благородных металлов Au(111), Ag(111), Cu(111); топологических изоляторов Bi₂Se₃, кристаллов высокотемпературных сверхпроводников BiSrCaCuO.</p>
6	Адсорбция и элементарные процессы на поверхности твердых тел	<p>Терминология: адсорбция, десорбция, физосорбция и хемосорбция; поверхностная фаза; гомо- и гетероэпитаксия; покрытие. Примеры поверхностей с адсорбатами.</p> <p>Основные термодинамические потенциалы. Поверхностное натяжение. Равновесная форма кристаллов. Теорема Вульфа. Огранка кристаллов. Переход порядок – беспорядок.</p> <p>Каноническое распределение Гиббса. Решеточные модели типа Изинга. Статистическая сумма для двумерного решеточного газа в условиях заданной температуры и химического потенциала. Приближение среднего поля. Связь покрытия и химического потенциала. Условия равновесия двух фаз и область устойчивости. Правило Максвелла. Оценка покрытия для плотной и разреженной фаз. Спинодаль. Изотермы адсорбции Лэнгмюра и Хилла – де Бура. Смачивание. Краевой угол.</p> <p>Модель Френкеля – Конторовой формирования соизмеримых и несоизмеримых структур. Солитоны. Дислокации несоответствия. Псевдоморфный рост. Механизмы и стадии роста. Элементарные процессы на поверхности твердого тела. Основы теории нуклеации Беккера – Дёринга – Зельдовича – Френкеля. Независимый рост островков. Оствальдовское созревание, модель Лифшица-Слэзова. Коалесценция островков, модель Колмогорова.</p> <p>Сильно неравновесные системы и спинодальный распад. Поверхностная диффузия. Механизмы поверхностной диффузии. Методы исследования.</p>

Текущий контроль успеваемости осуществляется в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на зачете, в ходе которого оцениваются уровень теоретических знаний и

навыки решения практических задач.

4. Образовательные технологии

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

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических занятий, а также в виде коллективных и индивидуальных консультаций. На занятиях лекционного типа используются мультимедийные средства поддержки образовательного процесса, часть занятий проводятся в виде лекций с проблемным изложением материала. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Аспиранты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних заданий, подготовку семинаров, а также теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, аспиранты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, мастер-классах экспертов и специалистов в области современных задач физики поверхности.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

В курсе запланировано на самостоятельную работу аспирантов 72 часа (67 % общего объема). Самостоятельная работа аспирантов является одним из видов учебных занятий, выполняется по заданию преподавателя индивидуально и без его непосредственного участия. Самостоятельная работа аспиранта – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – систематизация и закрепление полученных знаний и умений, углубление и расширение знаний, приобретение навыков самостоятельной работы с литературой, формирование способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа аспиранта подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних задач с последующей проверкой навыков решения задач. Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных аспирантам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится при подготовке к зачету по дисциплине. Выполнение домашних работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

6. Фонд оценочных средств по дисциплине

6.1 Типовые контрольные задания или иные материалы

1. Постройте плоскости (100), (110) и (111) для *простого кубического* кристалла. Для атомных плоскостей указанных типов вычислите расстояние между плоскостями и нарисуйте расположение атомов для первого и второго атомных слоев, отсчитывая номера слоев от поверхности.
2. Постройте плоскости (100), (110) и (111) для кристалла с *гранецентрированной кубической* решеткой. Для атомных плоскостей указанных типов вычислите расстояние между плоскостями и нарисуйте расположение атомов для первого и второго атомных слоев, отсчитывая номера слоев от поверхности.
3. Постройте плоскости (100), (110) и (111) для кристалла с *объемноцентрированной кубической* решеткой. Для атомных плоскостей указанных типов вычислите расстояние между плоскостями и нарисуйте расположение атомов для первого и второго атомных слоев, отсчитывая номера слоев от поверхности.
4. Постройте плоскости (100), (110) и (111) для кристалла с решеткой *типа алмаза*. Для атомных плоскостей указанных типов вычислите расстояние между плоскостями и нарисуйте расположение атомов для первого и второго атомных слоев, отсчитывая номера слоев от поверхности.
5. Для гексагональной двумерной решетки нарисуйте суперструктуры, соответствующие следующим матричным формам: $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} 2 & 0 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}$, а также запишите эквивалентные выражения в записи Вуда.
6. Для квадратной двумерной решетки нарисуйте суперструктуры, соответствующие следующим матричным формам: $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}$, а также запишите эквивалентные выражения в записи Вуда.
7. Покажите, что суперструктура $\sqrt{3} \times \sqrt{3} - R30^\circ$ в матричной форме описывается как $\begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}$, если угол между векторами основных трансляций равен 120° .
8. Адсорбция Ni на поверхность Si(111), которая имеет гексагональную решетку, приводит образованию суперструктуры $\sqrt{7} \times \sqrt{7} - R\varphi$. Определите значение угла φ и постройте двумерную решетку суперструктуры, наложенную на решетку 1×1 .
9. Покажите, что изменение толщины $d(x)$ металлической плёнки, напыленной из проволочного источника, описывается соотношением

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

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

10. Рассмотрите следующие двумерные суперструктуры: гексагональная сверхрешетка $2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3} - R30^\circ$, гексагональная сверхрешетка $\sqrt{7} \times \sqrt{7} - R \pm 19.1^\circ$ и прямоугольная сверхрешетка 2×3 . Сколько симметричных доменов могут иметь такие суперструктуры? Схематически нарисуйте дифракционные картины медленных электронов для однодоменных и многодоменных поверхностей указанных видов.
11. Используя построение Эвальда, определите масштаб картины дифракции от поверхности с квадратной решеткой с периодом 3 А. Сколько дифракционных

рефлексов будет видно на картине ДМЭ при энергии 50 эВ в системе с 120° экраном?

12. Используя построение Эвальда, определите масштаб картины дифракции от поверхности с квадратной решеткой с периодом 3 Å. Сколько дифракционных рефлексов будет видно на картине ДБЭ при энергии 10 кэВ в системе с углом падения 5° и расстоянием от образца до экрана 30 см и диаметром экрана 10 см?
13. Покажите, что волновые функции электронов с энергиями, близкими к энергии Ферми, вблизи плоской поверхности монокристаллического образца описываются выражением

$$\varphi(x, y, z) = \sum_{\mathbf{G}} a_{\mathbf{G}} \times e^{-z\sqrt{\tau^2 + (\mathbf{k}_{\parallel} + \mathbf{G})^2}} \times e^{i(\mathbf{k}_{\parallel} + \mathbf{G})\mathbf{R}}$$

где \mathbf{G} – вектор двумерной обратной решетки, \mathbf{R} – двумерный радиус-вектор, \mathbf{k}_{\parallel} – волновой вектор частицы вдоль поверхности, $z > 0$.

14. Рассчитайте период осцилляций Фриделя для Au, который является благородным металлом и имеет г.ц.к. решетку с постоянной решетки 4.08 Å, для энергий, близких к энергии Ферми.
15. Рассчитайте период осцилляций Фриделя для Na, который является щелочным металлом и имеет о.ц.к. решетку с постоянной решетки 4.23 Å, для энергий, близких к энергии Ферми.
16. Атом Ag случайно мигрирует на поверхности Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag. Оцените среднее смещение атома за 1 сек, 1 мин и 1 час при температуре 450 С, коэффициент диффузии $D_0 = 10^{-3}$ см²/сек, $E_{diff} = 0.33$ эВ.
17. Частота скачков атома азота по поверхности Fe(100) составляет 10^{-3} 1/сек при температуре 300 К и 3×10^{-3} 1/сек при температуре 330 К. Оцените коэффициент диффузии и вычислите энергию активации, принимая во внимание, что Fe – о.ц.к. кристалл с постоянной решетки 2.87 Å. Предположите, что частота колебаний равна 4×10^{12} 1/сек.

6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения аспирантами содержания дисциплины проводится в виде зачета, на котором определяется:

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

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

Зачет ставится при уровне знаний на оценку «удовлетворительно» и выше.

Оценка	Уровень подготовки
Отлично	<p>Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Аспирант 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>
Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Аспирант 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 90%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Аспирант 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. Аспирант 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</p>

	<p>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>
--	--

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Дубровский В.Г., Теория формирования эпитаксиальных наноструктур. М.: Физматлит, 2009 (Режим доступа: сайт Российского фонда фундаментальных исследований http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_72020).
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., курс "Теоретическая физика", Том V. «Статистическая физика. Часть 1». М.: Физматлит 2010.
3. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., курс "Теоретическая физика", Том X. «Физическая кинетика». М.: Физматлит 2007.
4. Киттель Ч., Квантовая теория твердых тел. М.: Мир, 1967.

б) дополнительная литература:

1. Успехи физических наук (<https://ufn.ru/ru/>).
2. Reviews of Modern Physics (RMP) (<https://journals.aps.org/rmp/>).
3. Surface Science (<https://www.journals.elsevier.com/surface-science>).
4. Physical Review B (PRB) (<https://journals.aps.org/prb/>)

в) факультативная литература

1. К. Оура, В.Г. Лифшиц, А.А. Саранин, А.В. Зотов, М. Катаяма, «Введение в физику поверхности». М.: Наука, 2006.
2. И.Ф. Люксютов, А.Г. Наумовец, В.Л. Покровский, «Двумерные кристаллы». Наукова Думка, 1988.
3. Дж. Займан, «Модели беспорядка». М.: Мир, 1982
4. Ф.Ф. Волькенштейн, «Физико-химия поверхности полупроводников». М.: Наука, 1973.
5. А.Г. Хачатурян, «Теория фазовых превращений и структура твердых растворов». М.: Наука, 1974.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Использование программного обеспечения:

1. Microsoft Office Word.
2. Microsoft Office Excel.
3. Microsoft Office Power Point.
4. Free Origin Viewer.

9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

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 аспиранты имеют возможность работать за компьютером с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Составитель:

Аладышкин А.Ю., к.ф.-м.н., с.н.с. отдела физики сверхпроводников ИФМ РАН

Рецензент:

Новиков А.В., к.ф.-м.н., зав. лабораторией молекулярно-пучковой эпитаксии кремний-германиевых структур отдела физики полупроводников ИФМ РАН