

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

**ФИЗИКА ПОВЕРХНОСТИ**

**Сборник учебно-методических материалов**

для направления подготовки:

03.06.01 – Физика и астрономия

Благовещенск 2017

*Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
инженерно-физического факультета  
Амурского государственного  
университета*

*Составитель: Стукова Е.В.*

Физика поверхности: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

© Амурский государственный университет, 2017

© Кафедра физики, 2017

© Стукова Е.В., составление

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в системе высшего образования значительно возрастает роль самостоятельной работы аспирантов. Это обусловлено переходом на новую систему высшего образования, в которой предусматривается формирование компетенций выпускника по различным направлениям деятельности.

Профессиональная деятельность выпускника предполагает умение осваивать новые направления профессиональной деятельности и принимать решения по текущим вопросам. Это значит, что аспирант должен быть готов к самообразованию в современных условиях быстрого обновления знаний.

Самостоятельная работа рассматривается как высшая форма учебной деятельности, которая носит интегральный характер и является формой самообразования. Самостоятельная работа выполняется под методическим руководством и контролем преподавателя. Основными целями самостоятельной работы являются: развитие познавательных способностей личности; развитие самостоятельности, ответственности, организованности, инициативы; развитие самостоятельного мышления и исследовательских умений. В процессе работы происходит закрепление и систематизация знаний, углубление теоретических знаний, развитие умений работать с различными источниками информации и как результат – освоения основных компетенций. Для успешной самостоятельной работы от аспиранта требуется самостоятельность и самоконтроль. Самостоятельность позволит ответственно подойти к выполнению самостоятельной работы, организовать свою работу оптимальным образом, сознательно принимать нетрадиционные решения при выполнении заданий. Самоконтроль позволит аспиранту правильно распределить работу над учебным материалом и выполнять задания постепенно, избегая авральных ситуаций.

# 1 ОРГАНИЗАЦИЯ ЛЕКЦИОННЫХ ЗАНЯТИЙ

## *1.1 Общие рекомендации по организации работы на лекции*

В высшем учебном заведении лекция является важной формой учебного процесса и представляет собой в основном устное систематическое и последовательное изложение материала по какой-либо проблеме, методу, теме вопроса и т. д. Основные функции, которые осуществляет вузовская лекция – это информативная, ориентирующая и стимулирующая, методологическая, развивающая и воспитывающая, поскольку на лекции аспиранты получают глубокие и разносторонние знания, развивают свои творческие способности.

Лекции могут быть вводными, обзорными, тематическими (лекции по изучению нового материала), итоговыми. Вводные лекции подготавливают аспиранта к восприятию данной дисциплины или ее раздела. На вводной лекции излагаются цели и задачи дисциплины, ее актуальность, практическая значимость, методы научного исследования и т.д. для того, чтобы дать целостное представление о дисциплине и вызывать интерес к предмету.

Тематические лекции посвящены глубоко осмысленному и методически подготовленному систематическому изложению содержания курса (дисциплины).

Итоговая лекция содержит основные идеи и выводы по курсу физики, выводы о достижении поставленных учебных целей.

На обзорных лекциях рассматриваются наиболее сложные, проблемные вопросы курса или новейшие достижения физики в данной области, что позволит установить взаимосвязь учебного материала с производством и новейшими научными достижениями.

Подготовка к самостоятельной работе над лекционным материалом должна начинаться на самой лекции. На лекции аспирант должен совместить два момента внимательно слушать лектора, прикладывая максимум усилий для понимания излагаемого материала и одновременно вести его осмысленную запись. И как бы внимательно аспирант не слушал лекцию, большая часть

информации вскоре после восприятия будет забыта. Поэтому при изучении дисциплины аспирантам рекомендуется составлять подробный конспект лекций, так как это обеспечивает полноценную систематизацию и структурирование материала, подлежащего изучению. Конспект лекций должен отражать специфику данного курса.

Очень важным является умение правильно конспектировать лекционный материал и работать с ним. Ниже приведены *рекомендации по конспектированию лекций и дальнейшей работе с записями*.

1. Конспект лекций должен быть в отдельной тетради. Ее нужно сделать удобной, практичной и полезной, ведь именно она является основным информативным источником при подготовке к различным отчетным занятиям, зачету. Возможно ее сочетание с записями по практическим занятиям, иллюстрирующим применение теоретических законов и соотношений в решении практических задач.

2. Конспект должен легко восприниматься зрительно (чтобы максимально использовать «зрительную» память), поэтому он должен быть аккуратным. Выделяйте заголовки, отделите один вопрос от другого, соблюдайте абзацы, подчеркните термины.

3. При прослушивании лекции обращайтесь внимание на интонацию лектора и вводные слова «таким образом», «итак», «необходимо отметить» и т.п., которыми он акцентирует наиболее важные моменты. Не забывайте пометать это при конспектировании.

4. Не пытайтесь записывать каждое слово лектора, иначе потеряете основную нить изложения и начнете писать автоматически, не вникая в смысл. Ненужно просить лектора несколько раз повторять одну и ту же фразу для того, чтобы успеть записать. Лекция не должна превращаться в своеобразный урок-диктант. Техника прочтения лекций преподавателем такова, что он повторяет свою мысль два-три раза. Постарайтесь вначале понять ее, а затем записать, используя сокращения. Конспектируйте только самое важное в рассматриваемом параграфе: формулировки определений и законов, выводы

основных уравнений и формул, то, что старается выделить лектор, на чем акцентирует внимание аспирантов. Старайтесь отфильтровывать и сжимать подаваемый материал. Научитесь в процессе лекции разбивать текст на смысловые части и заменять их содержание короткими фразами и формулировками. Более подробно записывайте основную информацию и кратко – дополнительную.

5. По возможности записи ведите своими словами, своими формулировками. Используйте общепринятую в данном разделе физики аббревиатуру и систему сокращений. Придумайте собственную систему сокращений, аббревиатур и символов, удобную только вам (но не забудьте сделать словарь, иначе существует угроза не расшифровать текст). Однако при дальнейшей работе с конспектом символы лучше заменить обычными словами для быстрого зрительного восприятия текста.

6. Конспектируя лекцию, надо оставлять поля, на которых позднее, при самостоятельной работе с конспектом, можно сделать дополнительные записи, отметить непонятные места. Полезно после каждой лекции оставлять одну страницу свободной, она потребуется при самостоятельной подготовке. Сюда можно будет занести дополнительную информацию по данной теме, полученную из других источников: чертежи, графики, схемы, и т.п.

7. После прослушивания лекции необходимо проработать и осмыслить полученный материал. Насколько эффективно аспирант это сделает, зависит и прочность усвоения знаний, и, соответственно, качество восприятия предстоящей лекции, так как он более целенаправленно будет её слушать. В процессе изучения лекционного материала рекомендуется использовать опорные конспекты, учебники и учебные пособия.

## ***1.2 Краткое содержание курса лекций***

### Введение

Значение исследований поверхности. Методы получения чистой поверхности: прогрев при высоких температурах; химические методы очистки; ионная бомбардировка; раскалывание в сверхвысоком вакууме;

некоторые специфические методы. Термодинамика поверхности, уравнение адсорбции Гиббса, поверхностное натяжение. Анизотропия поверхностного натяжения, равновесная форма кристалла.

### Атомная структура чистых поверхностей

Двумерная кристаллическая решетка, двумерные решетки Браве. Обозначения поверхностей монокристаллов и атомных структур: матричное описание, обозначение Вуда. Изменение межплоскостных расстояний у поверхности. Зависимость от шероховатости грани. Механизмы, ответственные за эти изменения. Релаксация поверхности ионных кристаллов. Полярные и неполярные поверхности. "Взъерошивание" и его причины. Реконструкция поверхности металлов. Взъерошивание, спаривание, гофрировка, модель пропущенных рядов, фазовый переход. Возможность изменения валентности на поверхности. Реконструкция на поверхности полупроводников. Кремний (111). Фасетирование поверхности. Влияние дефектов (ступени, адчастицы) на структуру поверхности. Структура поверхности и ее физические свойства: изменение электронной структуры, работы выхода, поверхностной проводимости и т.п. при реконструкции. Колебания поверхностных атомов. Среднеквадратичное смещение атомов на поверхности, температура Дебая, термическое расширение на поверхности.

### Электронные свойства поверхности твердого тела

Модельные представления потенциала на поверхности: приближение сильной связи, модель желе-металла, приближение самосогласованной решетки. Поверхностные состояния Тамма. Метод ЛКАО. Поверхностные состояния Шокли. Поверхностные состояния. Приближение почти свободных электронов. О возможности изменения ширины запрещенной зоны на поверхности. Поверхностная (проектированная) зона Бриллюэна. Связанные поверхностные состояния, резонансные и антирезонансные поверхностные состояния. Влияние реконструкции поверхности. Локальная плотность электронных состояний. Экспериментальные исследования

электронной структуры поверхности металлов. Изменение потенциала и распределение электронной плотности у поверхности. Желе-модель металла. Метод функционала плотности: электронный газ с почти постоянной плотностью, плавно меняющаяся электронная плотность. Способы реализации метода функционала плотности: расширенный метод Томаса-Ферми, усовершенствованный метод Хартри, вариационный метод. Электронная плотность и потенциал у поверхности. Работа выхода. Обменно-корреляционная дырка, поляризационная часть работы выхода. Двойной слой. Роль шероховатости поверхности. Поверхностная энергия. Учет атомной структуры поверхности. Взаимодействие заряда с поверхностью. Влияние внешнего электрического поля.

### Адсорбция

Эпитаксия. Ориентационные соотношения Нишиямы-Вассермана и Курдюмова-Сакса. Зародыши и их образование. Влияние условий роста на размеры кристаллитов. Электропроводность диспергированных пленок. Механизмы: термоэлектронная эмиссия, туннелирование, активированное туннелирование, туннелирование через подложку. Электропроводность тонких сплошных пленок. Уравнение Больцмана, приближение времени релаксации. Диффузное и зеркальное отражение электронов от поверхности, параметр Фукса.

### Тонкие пленки на поверхности твердого тела

Кинетика адсорбции. Теория Ленгмюра. Изотерма Ленгмюра. Полимолекулярная адсорбция, теория БЭТ. Физическая и химическая адсорбция. Силы, приводящие к физической адсорбции: ориентационные, поляризационные, дисперсионные, репульсивные. Потенциал Леннарда-Джонса. Модель попарных взаимодействий и ее критика. Химическая связь: метод молекулярных орбиталей, теория валентных связей. Заселенность перекрывания, локальная плотность состояний. Электронное состояние адатома. Модель Герни. Теория Ньюнса, роль корреляционной энергии. Пространственное распределение электронной плотности. Энергия связи



адатомов с поверхностью. Особенности химической связи на поверхности. Полуэмпирический метод оценки энергии адсорбции, метод Хигучи. Электроотрицательность. Латеральное взаимодействие адатомов. Прямое и косвенное взаимодействие. Структура адсорбированных слоев. Фазовая диаграмма. Согласованные и несогласованные решетки. Изменение работы выхода при адсорбции. Дипольная модель, модель Лэнга. Поверхностная диффузия. Уравнения Фика. Константы поверхностной диффузии. Анизотропия. Зависимость от концентрации, механизмы поверхностной диффузии: ловушечный, механизм "разворачивающегося ковра", солитонный. Компенсационный закон.

## **2 ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

### ***2.1 Общие рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы***

В высшей школе аспирант должен, прежде всего, сформировать потребность в знаниях и научиться учиться, приобрести навыки самостоятельной работы, необходимые для непрерывного самосовершенствования, развития профессиональных и интеллектуальных способностей.

Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения аспирантом новых для него знаний и умений без непосредственного участия преподавателей. Для успешной самостоятельной работы аспирант должен планировать свое время и за основу рекомендуется брать рабочую программу учебной дисциплины.

При организации самостоятельной работы следует взять за правило:

- учиться ежедневно, начиная с первого дня семестра, пропущенные дни будут потеряны безвозвратно;
- чтобы выполнить весь объем самостоятельной работы, необходимо заниматься по 3 – 5 часов ежедневно;
- начиная работу, надо выбрать что-нибудь среднее по трудности, затем перейти к более трудной работе, и напоследок оставить легкую часть, требующую не столько больших интеллектуальных усилий, сколько определенных моторных действий.

Виды заданий для внеаудиторной самостоятельной работы, их содержание и характер могут иметь вариативный и дифференциальный характер, учитывать специфику специальности, изучаемой дисциплины, индивидуальные особенности аспиранта.

### ***2.2 Работа с учебно-методическим и информационным обеспечением***

Важной составляющей самостоятельной внеаудиторной подготовки по всем типам занятий является работа с литературой. Умение работать с литературой означает: научиться осмысленно пользоваться учебно-

методическим и другим информационным обеспечением дисциплины. Для изучения дисциплины вся рекомендуемая литература подразделяется на основную и дополнительную и приводится в п. 10 рабочей программы дисциплины.

К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия). Поскольку в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражения новые документы, события, явления, научные открытия последних лет, то рекомендуется для более углубленного изучения программного материала дополнительная литература.

Прежде чем приступить к чтению, необходимо запомнить или записать выходные данные издания: автор, название, издательство, год издания, название интересующих глав. Содержание (оглавление) дает представление о системе изложения ключевых положений всей публикации и помогает найти нужные сведения. Предисловие или введение книги поможет установить, на кого рассчитана данная публикация, какие задачи ставил перед собой автор, содержится краткая информация о содержании глав работы. Иногда полезно после этого посмотреть послесловие или заключение. Это помогает составить представление о степени достоверности или научности данной книги.

Изучение научной учебной и иной литературы требует ведения рабочих записей. Форма записей может быть весьма разнообразной: простой или развернутый план, тезисы, цитаты, конспект. Такие записи удлиняют процесс проработки, изучения книги, но способствуют ее лучшему осмыслению и усвоению, выработке навыков кратко и точно излагать материал. При изучении литературы особое внимание следует обращать на новые термины и понятия. Записи позволяют восстановить в памяти ранее прочитанный материал без дополнительного обращения к самой книге.

Процесс изучения дисциплины предполагает также активное использование информационных технологий при организации своей познавательной деятельности. Наличие огромного количества материалов в Сети и специализированных поисковых машин делает Интернет незаменимым средством при поиске информации в процессе обучения. Однако при использовании интернет ресурсов следует учитывать следующие рекомендации:

- необходимо критически относиться к информации;
- следует научиться обрабатывать большие объемы информации, представленные в источниках, уметь видеть сильные и слабые стороны, выделять из представленного материала наиболее существенную часть;
- необходимо избегать плагиата, поэтому, если текст источника остается
- без изменения, необходимо сделать ссылки на автора работы.