




МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП  
«Физика конденсированного состояния»

 Афремов Л.Л.  
(подпись) (Ф.И.О.)  
« 08 » \_\_\_\_\_ сентября \_\_\_\_\_ 2018 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой  
Теоретической и ядерной физики

 Ширмовский С.Э.  
(подпись) (Ф.И.О.)  
« 08 » \_\_\_\_\_ сентября \_\_\_\_\_ 2018 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Физика магнитных наноструктур**

Направление подготовки 03.06.01 *Физика и астрономия*

Профиль «*Физика конденсированного состояния*»

Форма подготовки (очная)

курс 2 семестр 4  
лекции 18 час. / 0,5 з.е.  
практические занятия 18 час. / 0,5 з.е.  
лабораторные работы не предусмотрены.  
с использованием МАО лек. 12 / пр. 12 / лаб. \_\_\_ час.  
всего часов контактной работы 36 час.  
в том числе с использованием МАО 24 час., в электронной форме \_\_\_ час.  
самостоятельная работа 72 час.  
в том числе на подготовку к экзамену \_\_\_ час.  
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены.  
зачет 4 семестр  
экзамен нет семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 30.07.2014 г. № 867

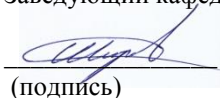
Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры теоретической и ядерной физики ШЕН ДВФУ, протокол № 19 от «08» \_сентября\_ 2018 г.

Заведующий кафедрой теоретической и ядерной физики Ширмовский С.Э.  
Составитель: д-р физ.- мат. наук, профессор, профессор кафедры теоретической и ядерной физики Л.Л. Афремов

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры теоретической и ядерной физики:**

Протокол от «07» июня 2019 г. № 16

Заведующий кафедрой /директор академического департамента



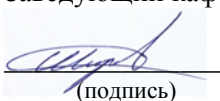
(подпись)

Ширмовский С.Э.  
(И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/ академического департамента:**

Протокол от «10» января 2020 г. № 4

Заведующий кафедрой теоретической и ядерной физики



(подпись)

Ширмовский С.Э.  
(И.О. Фамилия)

## **Аннотация рабочей программы учебной дисциплины «Физика магнитных наноструктур»**

Дисциплина «Физика магнитных наноструктур» предназначена для аспирантов, обучающихся по образовательной программе направления подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия», профиль «Физика конденсированного состояния», форма подготовки очная и входит в вариативную часть, обязательная дисциплина учебного плана:Б1.В.ОД.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (18 часов, из них 12 часов занятий с применением методов активного обучения (МАО)), практические занятия (18 часов, из них 12 часов занятий с применением методов активного обучения (МАО)), самостоятельная работа (72 часа). Дисциплина реализуется на 2 курсе в 4-ом семестре. Форма контроля - зачет ( 4 семестр).

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30.07.2014 г. № 867 и учебным планом подготовки аспирантов по профилю «Физика конденсированного состояния».

**Цель** ознакомление с современным состоянием физических представлений о магнитных свойствах различных структур: тонких пленок, нанодисков, нанопроволок.

### **Задачи:**

- получение знаний об основных типах магнитных энергий формирующих распределение намагниченности в ферромагнитных объектах;
- установление взаимосвязи между структурой наноразмерных частиц и их коэрцитивной силой;
- формирование магнитной структуры в массивах нанопроволок содержащих две наведенные магнитные анизотропии, расположенные друг к другу под разными углами.

Для успешного изучения дисциплины «Физика магнитных наноструктур» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-1);
- способностью и готовностью анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования (ПК-6);

способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (ПК-2).

В результате изучения дисциплины у аспирантов формируются следующие универсальные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции:

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-1 Владение методами математического описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах	Знает	основные методы математического описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах
	Умеет	выбирать математические методы необходимые для описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах, критически оценивать область применимости выбранных математических методов для описания протекающих в конденсированных средах физических процессов
	Владеет	методами математического описания физических полей
ПК-2 Владение основными методами компьютерного моделирования состояния и прогнозирования изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения	Знает	основные методы экспериментального исследования структуры конденсированных сред; основные типы лабораторных установок (оборудования) для экспериментального исследования структуры конденсированных сред
	Умеет	обосновано выбирать методы экспериментального исследования структуры конденсированных сред, использовать современное лабораторное оборудование для проведения эксперимента
	Владеет	основными методами компьютерного моделирования физических процессов
ПК-3 Владение основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред	Знает	основные методы исследования физических свойств конденсированных сред; методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред
	Умеет	выбирать и применять методы исследования физических свойств конденсированных сред, выбирать и применять методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред
	Владеет	основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред
УК-1 Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений,	Знает	методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том

генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях		числе в междисциплинарных областях
	Умеет	анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений
	Владеет	навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Физика магнитных наноструктур» применяются следующие методы активного / интерактивного обучения: «лекции визуализации» и дискуссии по основным вопросам образовательной программы.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

(18 час., в том числе 12 час. с использованием методов активного обучения)

**Модуль1. Основные типы энергий ферромагнитных объектов (6 час.)**

**Раздел I. Обменная энергия (2 час.)**

**Тема 1. Классификация магнетиков. Молекула водорода. Энергия обменного взаимодействия (1 час)**

Диамagnetики. Виды диамagnetиков (классические, аномальные, сверхпроводники). Парамагнетики и их виды (нормальные, парамагнитные металлы, антиферромагнетики). Явление парамагнитного резонанса. Ферромагнетики.

**Тема 2. Синглетное и триплетное состояние. Критерий ферромагнетизма (1 час)**

*Интерактивная форма : лекция визуализация*

Расщепление энергетических уровней в результате спин-орбитального взаимодействия называют тонкой структурой. Систему подуровней, на которые расщепляется исследуемый уровень, называют мультиплетом. Количество подуровней, на которые расщепляется уровень, определяет название мультиплета: дублет, триплет, квартет, квинтет и так далее. Уровни, которые не расщепляются, называют синглетами. Аналогичные термины используют для именованя совокупностей линий спектра.

**Раздел 2. Магнитная анизотропия (4 час.)**

## **Тема 1. Энергия кристаллографической анизотропии (1 час)**

Вычисление энергии анизотропии, исходя из микроскопической теории, требовало бы применения квантовомеханической теории возмущений, в которой роль возмущающей энергии играют члены в гамильтониане кристалла, описывающие релятивистские взаимодействия. Но общий вид искомого выражений может быть установлен и без проведения этих вычислений, на основании простых соображений симметрии. Гамильтониан релятивистских взаимодействий содержит члены первой и второй степени по операторам векторов спина электронов (спин-орбитальное и спин-спиновое взаимодействия).

## **Тема 2. Магнитоупругая энергия. Магнотстрикционная энергия. Анизотропия, созданная напряжениями (1 час)**

*Интерактивная форма : лекция визуализация*

**Магнитоупругая энергия**  $-U_{\sigma}$ . Магнотстрикция - частный случай магнитоупругих взаимодействий. При наличии внешнего напряжения  $\sigma_{ij}$  эта энергия. **Магнитоэластическая энергия**  $-U_0$ . Появление магнитоэластической энергии  $U_0$  связано с тем, что при наличии свободных полюсов возникает размагничивающее поле. Если мы имеем однодоменный кристалл, то сформированные на поверхности этого домена полюса будут иметь большую магнитоэластическую энергию.

## **Тема 3. Анизотропия формы. Размагничивающий фактор. Размагничивающее поле. Поверхностная анизотропия (1 час)**

Для тела с резко различающимися геометрическими параметрами направления легкого намагничивания часто определяются не магнокристаллической анизотропией, а формой образца – анизотропией формы. Размагничивающий фактор - безразмерная тензорная величина, зависящая только от формы исследуемого образца, определяющая величину размагничивающего поля. При намагничивании образца из ферромагнитного материала разомкнутой формы (например, цилиндра) во внешнем магнитном поле на его краях образуются магнитные полюсы, создающие внутри образца магнитное поле обратного (по отношению к внешнему полю) направления.

## **Тема 4. Анизотропия, наведенная наклонным падением молекулярного пучка, упорядоченными парами, волокнистой структурой, перераспределением точечных дефектов и ступенями подложки (1 час)**

*Интерактивная форма: дискуссия по основным вопросам темы лекции*

Скорость конденсации. Угол падения молекулярного пучка. Наведенная анизотропия различной природы. Наклонное падение атомов на подложку. Упорядоченные пары, волокнистые структуры, перераспределение точечных дефектов и ступеней подложки.

## **Модуль 2. Магнитная структура (3 час.)**

### **Раздел 1. Типы доменных границ (1 час)**

**Тема 1. Неелевские, Блоховские доменные стенки. Влияние толщины на вид доменных границ. (1 час.)**

***Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции***

Блоховские стенки в широком смысле - область (слой) внутри магнитоупорядоченного вещества (ферромагнетика, ферримагнетика или слабого ферромагнетика), разделяющая смежные домены. Внутри этой области происходит поворот вектора намагниченности  $M$  от его направления в одном домене к направлению в соседнем домене. Отличие доменных стенок Нееля от доменных стенок Блоха. Доменные границы голова к голове. Энергия доменных границ. Размеры и форма доменов.

**Раздел 2. Доменная структура нанополосок (2 час.)**

**Тема 1. Ламинарная доменная структура. Доменная структура с замыкающими доменами (1 час)**

***Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции***

Размагничивающие поля, минимальная энергия обмена. Однородно намагниченные кристаллы. Факторы, определяющие доменную структуру ферромагнетика. Влияние несовершенств и дефектов. Причины замыкания доменов.

**Тема 2. Доменная структура в нанопроволоках и массивах нанопроволок с двумя наведенными магнитными анизотропиями. Процессы перемагничивания (1 час)**

***Интерактивная форма : лекция визуализация***

Причины возникновения доменной структуры в нанопроволоках и массивах нанопроволок. Магнитная анизотропия нанопроволок. Силовой рельеф закрепления доменной стенки. Процесс смещения доменных границ.

**Модуль 3. Теория коэрцитивной силы (6 час.)**

**Раздел 1. Теория критического поля. Структурные дефекты и коэрцитивная сила (6 час.)**

**Тема 1. Роль внутренних напряжений. Вклад в коэрцитивную силу от изгиба доменной границы (1 час)**

***Интерактивная форма : лекция визуализация***

Теория процессов намагничивания, связанных с локальным закреплением.

**Тема 2. Теория гибкой и жесткой доменной стенки (1 час)**

***Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции***

Смещение доменных границ в поле статистически распределенных дефектов (эпитаксиальные пленки).

**Тема 3. Вклад в коэрцитивную силу шероховатостей поверхности и объемных дефектов (1 час)**

Шероховатость. Объемные дефекты. Теория включений – теория, связывающая магнитные свойства магнетиков с задержкой смещения доменных границ на включениях. Доменная граница задерживается на немагнитных включениях. Магнитные заряды на границах доменов.

#### **Тема 4. Зависимость коэрцитивной силы от толщины пленок (1 час)**

##### ***Интерактивная форма : лекция визуализация***

Структура ферромагнитных пленок. Одномерность магнитной пленки. Процессы перемагничивания в пленках, смещение доменных границ и вращение доменов.

#### **Тема 5. Компоненты коэрцитивной силы. Компоненты коэрцитивной силы нанопроволок (1 час)**

Влияние отжига на кристаллическую и магнитную структуру, магнитные свойства пленок Co/Cu/Co с антиферромагнитной и ферромагнитной связью между слоями Co. Теоретические оценки компонент коэрцитивной силы и наведенной анизотропии многослойных пленок и нанопроволок. Поведение коэрцитивной силы и наведенной анизотропии от изменения структурных дефектов и косвенной обменной связи

#### **Тема 6. Коэрцитивная сила эпитаксиальных и наноструктурированных образцов (1 час)**

##### ***Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции***

Трехслойная магнитная анизотропия в эпитаксиальных пленках Co. Оценка коэрцитивной силы и остаточной намагниченности в зависимости от угла между направлением внешнего магнитного поля и кристаллографическим направлением плоскости пленки. Взаимодействие доменной границы с дефектами.

#### **Модуль 4. Массивы нанопроволок (3 час.)**

**Раздел 1 Нанопроволоки с двумя взаимно перпендикулярными наведенными анизотропиями. Магнитная структура массивов нанопроволок (3 час.)**

**Тема 1. Магнитная структура нанопроволок с анизотропией формы большей анизотропии, наведенной ступенями (1 час)**

##### ***Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции***

Поликристаллические и эпитаксиальные проволоки. Методы получения. Анизотропия проволок, наведенная формой и ступенями подложки. Случай, когда наведенные оси легкого намагничивания сонаправлены и взаимно перпендикулярны.

**Тема 2. Магнитная структура нанопроволок с наведенной анизотропией ступенями большей анизотропии формы (1 час)**



Теория коэрцитивной силы поликристаллических и эпитаксиальных нанопроволок. Анизотропия нанопроволок. Поведение магнитной структуры при высокой степени анизотропии формы.

**Тема 3. Зависимость магнитной структуры массивов нанопроволок от угла между анизотропией формы и наведенной анизотропией (1 час)**

*Интерактивная форма : лекция визуализация*

Влияние одноосной анизотропии обусловленной формой, зависимость от формы поперечного сечения наноструктур (круглые и овальные). Процессы перемагничивания вдоль легкой и трудной оси намагничивания, смещение доменных границ. Когерентное вращение намагниченности. Влияние ширины нанопроволок на сложные многодоменные состояния.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

**(\_18 час., в том числе \_12 час. с использованием методов активного обучения)**

**Модуль 1. Основные типы энергий ферромагнитных объектов (6 час.)**

**Занятие 1. Определение полей взаимодействия в массивах нанопроволок методом FORC (6 час.)**

*Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции*

1. Диаграммы Прейзаха (2 час.)
2. Минорные петли магнитного гистерезиса и построение распределения полей коэрцитивной силы и полей взаимодействия из теории FORC (производная первого порядка обратной кривой перемагничивания (4 час.)

**Модуль 2. Магнитная структура (3 час.)**

**Занятие 2. Неелевское взаимодействие (3 час.)**

1. Связь поля переключения и энергии Неелевского взаимодействия (1 час)
2. Перемагничивание отдельных полосок и массивов нанополосок (2 час.)

**Модуль 3. Теория коэрцитивной силы (6 час.)**

**Занятие 3 Модифицированные поверхности монокристаллических подложек кремния (6 час.)**

*Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции*

1. Методы формирования модифицированной поверхности Si(111) (3 час.)
2. Морфология поверхности подложки и магнитные свойства нанопроволок (3 час.)

**Модуль 4. Массивы нанопроволок (3 час.)**

#### **Занятие 4. Формирование массивов нанопроволок(3 час.)**

1. Получение массивов ферромагнитных нанопроволок электроосаждением при импульсном токе в высокоупорядоченные матрицы оксида алюминия (2 час.)

2. Получение массивов ферромагнитных нанополосок методом электронно лучевой литографии (1 час.)

### **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Физика магнитных наноструктур» представлено

в приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

### **IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛИ КУРСА**

1 семестр

№ п/п	Контролируемые разделы	Коды, наименование и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	МОДУЛЬ 1: Основные типы энергий ферромагнитных объектов	ПК-1 ПК-2 ПК-3 УК-1	Знает	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад	Вопросы к зачету 1-10
			Умеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к зачету 1-10
			Владеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к зачету 1-10
2	МОДУЛЬ 2: Магнитная структура	ПК-1 ПК-2 ПК-3 УК-1	Знает	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад	Вопросы к зачету 11-16
			Умеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к зачету 11-16

				ие	
			Владеет	УО-1 Собеседован ие	Вопросы к зачету 11-16
3	МОДУЛЬ 3 Теория коэрцитивной силы	ПК-1 ПК-2 ПК-3 УК-1	Знает	УО-1 Собеседован ие; УО-3 доклад	Вопросы к зачету 17-21
			Умеет	УО-1 Собеседован ие	Вопросы к зачету 17-21
			Владеет	УО-1 Собеседован ие	Вопросы к зачету 17-21
4	МОДУЛЬ 4 Массивы нанопроволок	ПК-1 ПК-2 ПК-3 УК-1	Знает	УО-1 Собеседован ие; УО-3 доклад	Вопросы к зачету 22-28
			Умеет	УО-1 Собеседован ие	Вопросы к зачету 22-28
			Владеет	УО-1 Собеседован ие	Вопросы к зачету 22-28

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении 2.

## V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

1. Старостин, В.В. Материалы и методы нанотехнологии [Электронный ресурс] : учебное пособие / Под общ. редакцией Л.Н. Патрикеева. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 431 с.: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:298098&theme=FEFU>
2. Стрекалов, Ю.А. Физика твердого тела: учебное пособие [Электронный ресурс] / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 307 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=363421>

### Дополнительная литература

1. Боровик, Е.С. Лекции по магнетизму [Электронный ресурс] : учебное пособие/Е. С. Боровик, В.В. Еременко, А.С. М. Мильнер Физматлит. 2005. 511 с. <http://www.iprbookshop.ru/17301...>
2. Оура, К. Введение в физику поверхности / К. Оура, В. Г. Лифшиц, А. А. Саранин [и др.] – М.: Наука, 2006. – 490 с.

3. Вонсовский С. В. Магнетизм микрочастиц/ С. В. Вонсовский. – М.: Наука, 1973. – 280 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:83949&theme=FEFU>
4. Вонсовский, С.В. Магнетизм [Электронный ресурс] / С.В. Вонсовский. — М. : Наука, 1971. – 1032 с.  
[http://www.samomudr.ru/d/Vonsovskij%20S.V.%20\\_MAGNETIZM%20MAGNITNYE%20VOJSTVA%20%20FERRIMAGNETIKOV%20\\_801str\\_1971g.pdf](http://www.samomudr.ru/d/Vonsovskij%20S.V.%20_MAGNETIZM%20MAGNITNYE%20VOJSTVA%20%20FERRIMAGNETIKOV%20_801str_1971g.pdf)
5. Вонсовский С. В. Магнетизм микрочастиц/ С. В. Вонсовский. – М.: Наука, 1973. – 280 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:83949&theme=FEFU>

### Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://www.scopus.com/> - Система поиска публикаций;
2. <http://www.webofknowledge.com/> – Система поиска публикаций

### Перечень информационных технологий и программного обеспечения

№ п/п	Место расположения компьютерной техники, на которой установлено программное обеспечение, количество рабочих мест	Перечень программного обеспечения
1	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. 690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, кампус ДВФУ, корпус L, ауд. L560.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30.
2	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. 690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, кампус ДВФУ, корпус L, ауд. L556.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30.
3	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. 690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, кампус ДВФУ, корпус L, ауд. L557.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30.

## VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекционные занятия ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов, поэтому посещение лекций крайне необходимо!

Важной является самостоятельная работа по курсу. В ходе этой работы необходимо тщательно изучить теоретический материал и систематизировать

основные формулы, которые могут быть использованы при решении практических задач.

Методические указания по подготовке доклада

По отдельным темам на коллоквиумах могут делаться более емкие и глубокие доклады – до 15-20 минут. Тема доклада может быть предложена преподавателем или выбрана обучающимся самостоятельно.

При подготовке к докладу проводится подбор литературных источников по теме из рекомендуемой основной и дополнительной литературы, а также работа с ресурсами информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», указанными в рабочей программе.

Работа с текстом научных книг и учебников состоит не только в прочтении материала, необходимо провести анализ, сравнить изложение материала в разных источниках, подобрать материал таким образом, чтобы он раскрывал тему доклада. Проанализированный материал конспектируют, при этом надо избегать простого переписывания текстов без каких-либо комментариев и анализа. Прямое заимствование текстов других авторов в науке не допускается, оно определяется как плагиат и является наказуемым. Цитирование небольших фрагментов (со ссылкой на автора) допускается, если надо подчеркнуть стиль или сущность авторского определения, но злоупотреблять чужими текстами нельзя. Доклад должен быть выстроен логично, материал излагается цельно, связно и последовательно, делаются выводы. Желательно, чтобы обучающимся мог выразить своё мнение по обсуждаемой проблеме. Необходимо заранее продумать схемы для иллюстрации на доске или приготовить их в форме компьютерной презентации. В докладе обязательно необходимо использовать термины и ключевые слова по данной теме. После доклада проводится обсуждение с дополнениями и поправками. Оценивается как качество доклада, так и активность участников дискуссии.

Методические указания по сдаче зачета.

Зачеты принимаются ведущим преподавателем. Во время проведения зачета студенты могут пользоваться рабочей программой учебной дисциплины, собственными конспектами, подготовленными при выполнении самостоятельной работы, а также, с разрешения преподавателя, проводящего зачет, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>
1	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L560.	Парты и стулья, экран проекционный SENSSCREEN ES-431150 150* настенно-потолочный моторизированный, покрытие Matte White, 4:3, размер рабочей поверхности

	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	305*229 , проектор BenQ MW 526 E.
2	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L556. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	Парты и стулья, экран проекционный SENSSCREEN ES-431150 150* настенно-потолочный моторизированный, покрытие Matte White, 4:3, размер рабочей поверхности 305*229 , проектор BenQ MW 526 E.
3	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L557. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	Парты и стулья, экран проекционный SENSSCREEN ES-431150 150* настенно-потолочный моторизированный, покрытие Matte White, 4:3, размер рабочей поверхности 305*229 , проектор BenQ MW 526 E.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

**по дисциплине «Физика магнитных наноструктур»**  
Направление подготовки 03.06.01 *Физика и астрономия*  
Профиль «*Физика конденсированного состояния*»  
Форма подготовки (очная)

**Владивосток  
2015**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине 1 семестр

№* п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-2 неделя	Работа с литературой и конспектом лекций, подготовка к докладу	9 часов	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад
2	3-6 неделя	Работа с литературой и конспектом лекций, подготовка к докладу	9 часов	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад
3	7-10 неделя	Работа с литературой и конспектом лекций, подготовка к докладу	9 часов	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад
4	11-13 неделя	Работа с литературой и конспектом лекций, подготовка к докладу	9 часов	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад
5	14-15 неделя	Работа с литературой и конспектом лекций, подготовка к докладу	9 часов	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад
6	15-16 неделя	Работа с литературой и конспектом лекций, подготовка к докладу	9 часов	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад
7	17-18 неделя	Подготовка к зачету	18 часов	Зачет

### Методические указания по работе с литературой

Надо составить первоначальный список источников. Основой может стать список литературы, рекомендованный в рабочей программе курса. Для удобства работы можно составить собственную картотеку отобранных источников (фамилия авторов, заглавие, характеристики издания) в виде рабочего файла в компьютере. Такая картотека имеет преимущество, т.к. она позволяет добавлять источники, заменять по необходимости одни на другие, Первоначальный список литературы можно дополнить, используя электронный каталог библиотеки ДВФУ, при этом не стесняйтесь обращаться за помощью к сотрудникам библиотеки.

Работая с литературой по той или другой теме, надо не только прочитать, но и усвоить метод ее изучения: сделать краткий конспект, алгоритм, схему прочитанного материала, что позволяет быстрее его понять, запомнить. Не рекомендуется дословно переписывать текст.

### Методические рекомендации к самостоятельной работе студента

Текущий контроль результатов самостоятельной работы осуществляется в ходе проведения практических занятий (устный опрос), коллоквиумов и тестирования. На основании этих результатов студент получает текущие и экзаменационные оценки, по которым выводится итоговая оценка. Промежуточная (семестровая) аттестация проводится в форме устного экзамена.



### **Методические указания по подготовке доклада**

По отдельным темам на коллоквиумах могут делаться более емкие и глубокие доклады – до 15-20 минут. Тема доклада может быть предложена преподавателем или выбрана студентом самостоятельно.

При подготовке к докладу проводится подбор литературных источников по теме из рекомендуемой основной и дополнительной литературы, а также работа с ресурсами информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», указанными в рабочей программе.

Работа с текстом научных книг и учебников состоит не только в прочтении материала, необходимо провести анализ, сравнить изложение материала в разных источниках, подобрать материал таким образом, чтобы он раскрывал тему доклада. Проанализированный материал конспектируют, при этом надо избегать простого переписывания текстов без каких-либо комментариев и анализа. Прямое заимствование текстов других авторов в науке не допускается, оно определяется как плагиат и является наказуемым. Цитирование небольших фрагментов (со ссылкой на автора) допускается, если надо подчеркнуть стиль или сущность авторского определения, но злоупотреблять чужими текстами нельзя. Доклад должен быть выстроен логично, материал излагается цельно, связно и последовательно, делаются выводы. Желательно, чтобы студент мог выразить своё мнение по обсуждаемой проблеме. Необходимо заранее продумать схемы для иллюстрации на доске или приготовить их в форме компьютерной презентации. В докладе обязательно необходимо использовать термины и ключевые слова по данной теме. После доклада проводится обсуждение с дополнениями и поправками. Оценивается как качество доклада, так и активность участников дискуссии.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования

**«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)**

---

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**по дисциплине «Физика магнитных наноструктур»**

Направление подготовки 03.06.01 *Физика и астрономия*

Профиль *«Физика конденсированного состояния»*

Форма подготовки (очная)

**Владивосток  
2015**

## Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-1 Владение методами математического описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах	Знает	основные методы математического описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах
	Умеет	выбирать математические методы необходимые для описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах, критически оценивать область применимости выбранных математических методов для описания протекающих в конденсированных средах физических процессов
	Владеет	методами математического описания физических полей
ПК-2 Владение основными методами компьютерного моделирования состояния и прогнозирования изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения	Знает	основные методы экспериментального исследования структуры конденсированных сред; основные типы лабораторных установок (оборудования) для экспериментального исследования структуры конденсированных сред
	Умеет	обосновано выбирать методы экспериментального исследования структуры конденсированных сред, использовать современное лабораторное оборудование для проведения эксперимента
	Владеет	основными методами компьютерного моделирования физических процессов
ПК-3 Владение основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред	Знает	основные методы исследования физических свойств конденсированных сред; методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред
	Умеет	выбирать и применять методы исследования физических свойств конденсированных сред, выбирать и применять методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред
	Владеет	основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред
УК-1 Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в	Знает	методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
	Умеет	анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши

том числе в междисциплинарных областях		реализации этих вариантов при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений
	Владеет	навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях

### 1 семестр

№ п/п	Контролируемые разделы	Коды, наименование и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	МОДУЛЬ 1: Основные типы энергий ферромагнитных объектов	ПК-1 ПК-2 ПК-3 УК-1	Знает	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад	Вопросы к зачету 1-10
			Умеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к зачету 1-10
			Владеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к зачету 1-10
2	МОДУЛЬ 2: Магнитная структура	ПК-1 ПК-2 ПК-3	Знает	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад	Вопросы к зачету 11-16
			Умеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к зачету 11-16
			Владеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к зачету 11-16
3	МОДУЛЬ 3 Теория коэрцитивной силы	ПК-1 ПК-2 ПК-3 УК-1	Знает	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад	Вопросы к зачету 17-21
			Умеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к зачету 17-21
			Владеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к зачету 17-21
4	МОДУЛЬ 4 Массивы нанопроволок	ПК-1 ПК-2 ПК-3	Знает	УО-1 Собеседование; УО-3	Вопросы к зачету 22-28

		УК-1		доклад	
			Умеет	УО-1 Собеседован ие	Вопросы к зачету 22-28 ие
			Владеет	УО-1 Собеседован ие	Вопросы к зачету 22-28 ие

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ПК-1 Владение методами математического описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах	знает (пороговый уровень)	основные методы математического описания физических процессов, протекающих в магнитных структурах	знание основных методов математического описания физических процессов, протекающих в магнитных наноструктурах	способность систематического знания основных понятий и методов математического описания магнитных наноструктур
	умеет (продвинутый)	выбирать математические методы необходимые для описания физических процессов, протекающих в магнитных структурах	Умение выбирать математические методы необходимые для описания физических процессов, протекающих в магнитных структурах	способность выделять математические методы, определения и понятия физики конденсированного состояния для решения физики магнитных наноструктур
	владеет (высокий)	методами математического описания процессов, протекающих в магнитных структурах	владение основными методами математического описания физических процессов, протекающих в магнитных структурах	способность успешного и систематического владения основными методами математического описания для решения современных научно-исследовательских и практических задач в физике магнитных наноструктур
ПК-2 Владение основными методами компьютерного моделирования	знает (пороговый уровень)	Базовые методы компьютерного моделирования и прогнозирования физических свойств в зависимости от	знание методов компьютерного моделирования и прогнозирования физических свойств в зависимости от	способность применить базовые методы компьютерного моделирования и прогнозирования физических свойств в зависимости от

ания состояния и прогнози- рования изменения физически- х свойств конденсиро- ванных веществ в зависимост и от внешних условий их нахождени я		внешних условий в физике магнитных наноструктур	внешних условий в физике магнитных наноструктур	внешних условий в физике магнитных наноструктур
	умеет (продв инутый )	Применять базовые методы компьютерного моделирования и прогнозирования физических свойств в зависимости от внешних условий в физике магнитных наноструктур	Использует методы компьютерного моделирования и прогнозирования физических свойств в зависимости от внешних условий в физике магнитных наноструктур	способность применить базовые методы компьютерного моделирования и прогнозирования физических свойств в зависимости от внешних условий в физике магнитных наноструктур
	владеет (высокий)	методами компьютерного моделирования и прогнозирования физических свойств в зависимости от внешних условий в физике магнитных наноструктур	Навыками применения методов компьютерного моделирования и прогнозирования физических свойств в зависимости от внешних условий в физике магнитных наноструктур для решения научно- исследовательски х задач	способность применять методы компьютерного моделирования и прогнозирования физических свойств в зависимости от внешних условий в физике магнитных наноструктур для решения научно- исследовательских задач
ПК-3 Владение основными методами исследования физически- х свойств и функциональ- ных характерис	знает (порог овый уровень)	Базовые методы исследования физических свойств и функциональных характеристик материалов, изучаемых в физике магнитных наноструктур	знание основных понятий и методов исследования физических свойств и функциональных характеристик материалов, изучаемых в физике магнитных наноструктур	Способность дать развернутое пояснение основным понятиям и методам исследования физических свойств и функциональных характеристик материалов, изучаемых в физике магнитных наноструктур

тик конденсированных сред	умеет (продвинутый)	Применять основные понятия и методы исследования физических свойств и функциональных характеристик материалов, изучаемых в физике магнитных наноструктур	Умение использовать основные понятия и методы исследования физических свойств и функциональных характеристик материалов, изучаемых в физике магнитных наноструктур	Способность применить основные понятия и методы исследования физических свойств и функциональных характеристик материалов, изучаемых в физике магнитных наноструктур для решения учебных задач
	владеет (высокий)	Понятиями и методами исследования физических свойств и функциональных характеристик материалов, изучаемых в физике магнитных наноструктур	владение основными понятиями и методами исследования физических свойств и функциональных характеристик материалов, изучаемых в физике магнитных наноструктур для решения научно-исследовательских задач	Способность использовать основные понятия и методы исследования физических свойств и функциональных характеристик материалов, изучаемых в физике магнитных наноструктур для решения научно-исследовательских задач
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	знает (пороговый уровень)	Базовые современные научные достижения и современные научные проблемы в области физики магнитных наноструктур	знание современных научных достижений и современных научных проблем в области физики магнитных наноструктур	Способность озвучить и объяснить основные современные научные достижения и современные научные проблемы в области физики магнитных наноструктур
	умеет (продвинутый)	Оценить базовые современные научные достижения и современные научные проблемы в области физики магнитных наноструктур	Умение критически анализировать и оценивать современные научные достижения и современные научные проблемы в области физики магнитных наноструктур	Способность провести критический анализ и оценка современных научных достижений и современных научных проблем в области физики магнитных наноструктур

	владеет (высокий)	Методами критического анализа и оценки современных научных, знаниями о новых идеях, применяемых в физике магнитных наноструктур, в том числе и в междисциплинарных областях	Умение критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области физики магнитных наноструктур, видит связь с междисциплинарными областями и способен генерировать новые идеи решения исследовательских и практических задач	Способность провести критический анализ и оценку современных научных достижений в области физики магнитных наноструктур, увидеть связь с междисциплинарными областями и генерировать новые идеи решения исследовательских и практических задач
--	-------------------	---	--	--

### Оценочные средства для промежуточной аттестации

В качестве заключительного этапа промежуточной (семестровой) аттестации по дисциплине «Физика магнитных наноструктур» предусмотрен зачет.

#### Вопросы к зачету

по дисциплине «Физика магнитных наноструктур»

1. Основные типы энергий ферромагнитных объектов
2. Обменная энергия
3. Классификация магнетиков. Молекула водорода. Энергия обменного взаимодействия
4. Синглетное и триплетное состояние. Критерий ферромагнетизма
5. Магнитная анизотропия
6. Энергия кристаллографической анизотропии
7. Магнитоупругая энергия. Магнотрикссионная энергия. Анизотропия, созданная напряжениями
8. Анизотропия формы. Размагничивающий фактор. Размагничивающее поле. Поверхностная анизотропия
9. Анизотропия, наведенная наклонным падением молекулярного пучка, упорядоченными парами, волокнистой структурой, перераспределением точечных дефектов и ступенями подложки
10. Магнитная структура
11. Типы доменных границ
12. Неелевские, блоховские доменные стенки



13. Влияние толщины на вид доменных границ. Доменные границы голова к голове. Энергия доменных границ. Размеры и форма доменов
14. Доменная структура нанополосок
15. Ламинарная доменная структура. Доменная структура с замыкающими доменами
16. Доменная структура в нанопроволоках и массивах нанопроволок с двумя наведенными магнитными анизотропиями. Процессы перемагничивания
17. Теория критического поля. Структурные дефекты и коэрцитивная сила
18. Роль внутренних напряжений. Вклад в коэрцитивную силу от изгиба доменной границы
19. Теория гибкой и жесткой доменной стенки
20. Вклад в коэрцитивную силу шероховатостей поверхности и объемных дефектов
21. Зависимость коэрцитивной силы от толщины пленок
22. Компоненты коэрцитивной силы. Компоненты коэрцитивной силы нанопроволок
23. Коэрцитивная сила эпитаксиальных и наноструктурированных образцов
24. Массивы нанопроволок
25. Нанопроволоки с двумя взаимно перпендикулярными наведенными анизотропиями. Магнитная структура массивов нанопроволок
26. Магнитная структура нанопроволок с анизотропией формы большей анизотропии, наведенной ступенями
27. Магнитная структура нанопроволок с наведенной анизотропией ступенями большей анизотропии формы
28. Зависимость магнитной структуры массивов нанопроволок от угла между анизотропией формы и наведенной анизотропией

### **Оценочные средства для текущего контроля**

**Устный опрос** - наиболее распространенный метод контроля знаний обучающихся. При устном опросе устанавливается непосредственный контакт между преподавателем и обучающимися, в процессе которого преподаватель получает широкие возможности для оценки количества и качества усвоения аспирантами учебного материала. Он является наиболее распространенной и адекватной формой контроля знаний учащихся, включает в себя собеседование (главным образом на экзамене), коллоквиум, доклад.

#### Критерии оценки устного ответа:

Оценка	Критерии
Оценка «5» «Отлично»	Аспирант показал развернутый ответ, представляющий собой связное, логическое, последовательное раскрытие

	поставленного вопроса, широкое знание литературы. Аспирант обнаружил понимание материала, обоснованной суждений, способность применить полученные знания на практике.
Оценка «4» «Хорошо»	Аспирант дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для оценки «5», но допускает некоторые ошибки, которые исправляет самостоятельно, и некоторые недочеты в изложении вопроса.
Оценка «3» «Удовлетворительно»	Аспирант обнаруживает знание и понимание основных положений данной темы, но излагает материал неполно и допускает неточности в ответе.
Оценка «2» «Неудовлетворительно»	Аспирант обнаруживает незнание большей части проблем, связанных с изучением вопроса; допускает ошибки в ответе, искажает смысл текста, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Данная оценка характеризует недостатки в подготовке аспиранта, которые являются серьезным препятствием к успешной профессиональной и научной деятельности.

### **Примерные темы для докладов**

по дисциплине «**Физика магнитных наноструктур**»

1. Классификация магнетиков
2. Энергия обменного взаимодействия
3. Критерий ферромагнетизма
4. Магнотриксционная энергия
5. Поверхностная анизотропия
6. Типы доменных границ
7. Энергия доменных границ
8. Теория критического поля
9. Теория гибкой и жесткой доменной стенки
10. Компоненты коэрцитивной силы.
11. Массивы нанопроволок

### **Вопросы для собеседования**

по дисциплине «**Физика магнитных наноструктур**»

1 семестр

1. Основные типы энергий ферромагнитных объектов
2. Обменная энергия
3. Классификация магнетиков. Молекула водорода. Энергия обменного взаимодействия
4. Синглетное и триплетное состояние. Критерий ферромагнетизма
5. Магнитная анизотропия
6. Энергия кристаллографической анизотропии

7. Магнитоупругая энергия. Магнитострикционная энергия. Анизотропия, созданная напряжениями
8. Анизотропия формы. Размагничивающий фактор. Размагничивающее поле. Поверхностная анизотропия
9. Анизотропия, наведенная наклонным падением молекулярного пучка, упорядоченными парами, волокнистой структурой, перераспределением точечных дефектов и ступенями подложки
10. Магнитная структура
11. Типы доменных границ
12. Неелевские, блоховские доменные стенки
13. Влияние толщины на вид доменных границ. Доменные границы голова к голове. Энергия доменных границ. Размеры и форма доменов
14. Доменная структура нанополосок
15. Ламинарная доменная структура. Доменная структура с замыкающими доменами
16. Доменная структура в нанопроволоках и массивах нанопроволок с двумя наведенными магнитными анизотропиями. Процессы перемагничивания
17. Теория критического поля. Структурные дефекты и коэрцитивная сила
18. Роль внутренних напряжений. Вклад в коэрцитивную силу от изгиба доменной границы
19. Теория гибкой и жесткой доменной стенки
20. Вклад в коэрцитивную силу шероховатостей поверхности и объемных дефектов
21. Зависимость коэрцитивной силы от толщины пленок
22. Компоненты коэрцитивной силы. Компоненты коэрцитивной силы нанопроволок
23. Коэрцитивная сила эпитаксиальных и наноструктурированных образцов
24. Массивы нанопроволок
25. Нанопроволоки с двумя взаимно перпендикулярными наведенными анизотропиями. Магнитная структура массивов нанопроволок
26. Магнитная структура нанопроволок с анизотропией формы большей анизотропии, наведенной ступенями
27. Магнитная структура нанопроволок с наведенной анизотропией ступенями большей анизотропии формы
28. Зависимость магнитной структуры массивов нанопроволок от угла между анизотропией формы и наведенной анизотропией.