



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

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

Огнев А.В.



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор департамента  
общей и экспериментальной  
физики

Короченцев В.В.

«12» февраля 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Научно-исследовательский семинар по микромагнитному моделированию**

Направление подготовки 03.04.02 «Физика»

(Прикладная физика (совместно с НИЦ "Курчатовский институт" и ИАПУ ДВО РАН))

**Форма подготовки очная**

курс 2, семестр 3

лекции – 0 час.

практические занятия - 16 час.

лабораторные работы – 32 час.

в том числе с использованием МАО лек. 0 /пр. 16 /лаб. 0 час.

всего часов аудиторной нагрузки 48 час.

в том числе с использованием МАО 16 час.

самостоятельная работа 60 час.

в том числе на подготовку к экзамену - 0 час.

контрольные работы (количество) – не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет 3 семестр

экзамен не предусмотрен

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки по направлению подготовки 03.04.02 Физика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07 августа 2020 г. № 914.

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики ШЕН ДВФУ, протокол № 3 от «05» февраля 2021 г.

Директор департамента: к.х.н., доцент, Короченцев В.В.

Составитель: д.ф.-м.н., профессор Саранин А.А.

Владивосток  
2021

**Оборотная сторона титульного листа РПД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200 г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200 г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## Цели и задачи освоения дисциплины:

**Цель:** изучение физических и математических основ работы метода микромагнитного моделирования, освоение и применение их на практике, приобретение практических навыков формулировки и решения научно-исследовательских задач в области наномагнетизма.

### Задачи:

– Изучить теоретические основы, (законы, взаимодействия) позволяющие описать явления и процессы, реализующиеся в магнитных средах на наноразмерном уровне.

– Получить представления о методах конечных разностей и конечных элементов для решения задач математической физики в области наномагнетизма.

– Получить практический навык работы в программном пакете The Object Oriented MicroMagnetic Framework (OOMMF).

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются профессиональные компетенции.

Профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Проектный	<b>ПК-4</b> Способен проектировать технологические процессы создания наноматериалов и изделий электронной техники	ПК-4.1 выбирает программное обеспечение и применяет методы проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники ПК-4.2 проектирует технологические процессы создания наноматериалов и изделий электронной техники
Организационно-управленческий	<b>ПК-6</b> Способен использовать навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей	ПК-6.1 соблюдает этапы проектирования изделий, составляющих основу компонентной базы электроники, порядок разработки технических заданий на проектирование технологических процессов ПК-6.2 использует программное обеспечение для оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей
	<b>ПК-7</b> Способен к организации научно-исследовательских команд (лабораторий), планирование стратегии их развития	ПК-7.1 применяет методы планирования и организации деятельности научных подразделений ПК-7.2 формирует научно-исследовательские команды (лаборатории) и выбирает инструменты планирования стратегии их развития

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-4.1 выбирает программное обеспечение и применяет методы проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники	Знает функциональность современных инструментальных средств и основное программное обеспечение в области проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники
	Умеет проводить оценку и выбор программного обеспечения, методов проектирования технологических процессов для создания наноматериалов и изделий электронной техники
	Владеет навыками работы с программными продуктами и информационными ресурсами, методами проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники
ПК-4.2 проектирует технологические процессы создания наноматериалов и изделий электронной техники	Знает методы проектирования технологических процессов производства наноматериалов и изделий электронной техники
	Умеет определять и применять подходящий метод проектирования технологических процессов производства наноматериалов и изделий электронной техники
	Владеет комплексом инструментов и методов для осуществления проектирования наноматериалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства
ПК-6.1 соблюдает этапы проектирования изделий, составляющих основу компонентной базы электроники, порядок разработки технических заданий на проектирование технологических процессов	Знает этапы проектирования изделий, составляющих основу компонентной базы электроники
	Умеет поэтапно проектировать изделия, составляющие основу компонентной базы электроники, формулировать техническое задание на проектирование технологических процессов
	Владеет навыками разработки технических заданий на проектирование технологических процессов
ПК-6.2 использует программное обеспечение для оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей	Знает принципы и правила оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей
	Умеет применять программное обеспечение для оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей в области прикладной физики
	Владеет навыками грамотного оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей с использованием современного ПО
ПК-7.1 применяет методы планирования и организации деятельности научных подразделений	Знает методологию и принципы руководства деятельностью научного подразделения, этапы планирования деятельности подразделения
	Умеет вести организационно-управленческую работу в коллективе на высоком уровне, планировать деятельность научного подразделения, принимать решения
	Владеет навыками планирования и принципами руководства деятельностью научных подразделений, информацией о формах ответственности за принятые решения
ПК-7.2 формирует научно-исследовательские команды (лаборатории) и выбирает инструменты планирования стратегии их развития	Знает принципы формирования научно-исследовательской команды (лаборатории), методы и подходы к планированию стратегии их развития
	Умеет формировать научно-исследовательскую команду, планировать стратегию развития
	Владеет инструментами планирования стратегии развития научно-исследовательской команды (лаборатории), навыками использования особенностей, специфики работы и способов руководства при формировании научно-исследовательские команды (лаборатории)

## 1. Трудоёмкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётных единицы 108 академических часов, в том числе 48 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и 60 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам).

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лб	Лабораторные занятия
Пр	Практические занятия
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения

### Структура дисциплины:

#### Форма обучения – очная

	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР	
1	Описание геометрических параметров и расчет магнитных постоянных моделируемого объекта на основании экспериментальных данных	3		-	4		4	Зачет
2	Анализ экспериментальных результатов исследования магнитной структуры	3		4	-		4	
3	Установка, изучение интерфейса и работа в программном пакете OOMMF	3		-	4		4	
4	Моделирование двумерных (2D) наноструктур в OOMMF	3		-	4		4	
5	Моделирование трехмерных (3D) наноструктур различной геометрической формы в OOMMF	3		-	4		4	
6	Особенности задания геометрии моделируемого 3D объекта при использовании ScriptAtlas в OOMMF	3		2	-		4	
7	Формирование необходимой начальной конфигурации намагнитченности 3D структур в OOMMF	3		2	-		4	

8	Виды обменного взаимодействия при моделировании 3D объектов в ООММФ	3		2	-		4		
9	Магнитная анизотропия при моделировании 3D объектов в ООММФ	3		2	-		4		
10	Симуляция процессов перемагничивания под действием внешнего магнитного поля в ООММФ	3		4	-		4		
11	Симуляция спиновой динамики 3D объекта под действием температуры в ООММФ	3		4	-		4		
12	Моделирование топологических спиновых конфигураций в ООММФ	3		4	-		4		
13	Моделирование магнитостатических полей создаваемых ферромагнитной наноструктурой в ООММФ	3		4	-		6		
14	Моделирование пленок и многослойных структур в ООММФ	3		4	-		6		
	Итого:			32	16		60		

## 2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Не предусмотрено

## 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Лабораторные занятия

#### Лабораторная работа №1. Анализ экспериментальных результатов исследования магнитной структуры

1. Используя изображение доменной структуры в размагниченном состоянии, полученное методом магнитно-силовой микроскопии (МСМ), определите тип анизотропии образца.
2. Зная масштаб сканируемой на МСМ области образца, измерьте средний размер доменов.
3. Обозначьте направление намагниченности в каждом домене МСМ изображения.
4. Учитывая состав образца и толщины слоев, установите тип доменных границ.
5. Разделите на изображении МСМ дефекты сканирования связанные с рельефом и особенности магнитной структуры – топологические спиновые

- конфигурации (магнитные вихри, скирмионы, изменения киральности доменных границ).
6. Обработайте изображение образца №2 в размагниченном состоянии, полученное на магнитооптическом Керр-микроскопе.
  7. По виду доменной структуры на изображении Керр-микроскопии определите тип анизотропии.
  8. Зная масштаб сканируемой области образца на Керр-микроскопе, измерьте средний размер доменов.
  9. Используя изображения Керр-микроскопии измеренные на образце №2 в процессе перемагничивания, определите плотность центров зарождения доменов.
  10. Постройте зависимость изменения среднего размера доменов при изменении внешнего магнитного поля.

**Лабораторная работа №2. Особенности задания геометрии моделируемого 3D объекта при использовании ScriptAtlas в OOMMF**

1. Задайте 3D наноструктуру с определенными магнитными параметрами и геометрией, используя блок ScriptAtlas.
2. Сохранить файл исходных задач в формате MIF 2.1.
3. Запустите подпрограмму mmDisp, включите отображение полученных наноструктур и сохраните OMF файл данных 3D наноструктур.
4. Задайте наноструктуру с определенными магнитными параметрами и геометрией, и найдите конфигурацию намагниченности с минимальной энергией, реализуемую в отсутствие внешнего поля.
5. Задайте массив 3D наноструктур с определенными магнитными параметрами и геометрией, используя блок ScriptAtlas.
6. Сохранить файл исходных задач в формате MIF 2.1.
7. Запустите подпрограмму mmDisp, включите отображение полученного массива наноструктур и сохраните OMF файл.
8. Найдите конфигурацию намагниченности с минимальной энергией, реализуемую в отсутствие внешнего поля в массиве наноструктур.

**Лабораторная работа №3. Формирование необходимой начальной конфигурации намагниченности 3D структур в OOMMF**

1. Задайте 3D наноструктуру с определенными магнитными параметрами и геометрией, используя блок UniformVectorField, задайте однородную

- намагниченность по осям  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$ . Сохраните полученные распределения намагниченности в OMF файлах.
2. Задайте двухдоменное состояние через обращение к разным регионам моделируемой геометрии. Сохраните полученное распределение намагниченности в OMF файле и исходный код задачи в MIF файле.
  3. Задайте двухдоменное состояние, используя подпрограмму ScriptVectorField. Сохраните полученное распределение намагниченности в OMF файле и исходный код задачи в MIF файле.
  4. Задайте вихревое состояние, используя подпрограмму ScriptVectorField. Сохраните полученное распределение намагниченности в OMF файле и исходный код задачи в MIF файле.
  5. Задайте полосовую доменную структуру, используя подпрограмму ScriptVectorField. Сохраните полученное распределение намагниченности в OMF файле и исходный код задачи в MIF файле.
  6. Задайте хаотическое распределение намагниченности с размером ячейки  $4 \times 4 \times 4 \text{ нм}^3$ . Сохраните полученное распределение намагниченности в OMF файле и исходный код задачи в MIF файле.
  7. Сравните полные энергии системы при различных конфигурациях намагниченности и найдите конфигурацию с минимальной энергией.

#### **Лабораторная работа №4. Виды обменного взаимодействия при моделировании 3D объектов в OOMMF**

1. Задайте 3D наноструктуру с определенными магнитными параметрами и геометрией. В полученной наноструктуре задайте косвенное обменное взаимодействие Дзялошинского-Мория.
2. Задайте двухдоменное состояние, после минимизации энергии сохраните OMF файл распределения намагниченности. Определите киральность доменных границ.
3. Измените знак константы обменное взаимодействие Дзялошинского-Мория на противоположный, повторите задания 1 и 2.
4. Задайте 3D наноструктуру трехслойной пленки с определенными магнитными параметрами. Между верхним и нижним слоями задайте косвенное обменное взаимодействие RKKY с антиферромагнитной связью через немагнитную прослойку.
5. Задайте в качестве начальной конфигурации хаотическое распределение намагниченности в трехслойной пленке.



6. Найдите конфигурацию с минимальной энергией в отсутствие внешнего магнитного поля.
7. Сохраните полученное распределение намагниченности в OMF файле и исходный код задачи в MIF файле.

### **Лабораторная работа №5. Магнитная анизотропия при моделировании 3D объектов в OOMMF**

1. Задайте 3D наноструктуру с определенными магнитными параметрами и геометрией. В полученной наноструктуре задайте одноосную анизотропию.
2. Проведите симуляции процессов перемагничивания в полях ориентированных параллельно и перпендикулярно о.л.н..
3. Включите автоматическое сохранение данных в ODT файл.
4. Импортируйте данные ODT файла в OriginPro и постройте петли гистерезиса для двух случаев ориентации внешнего магнитного поля.
5. Задайте 3D наноструктуру с определенными магнитными параметрами и геометрией. В полученной наноструктуре задайте кубическую анизотропию.
6. Проведите симуляции процессов перемагничивания в полях ориентированных вдоль кристаллографических осей [100], [010], [001] и по диагонали [111].
7. Включите автоматическое сохранение данных в ODT файл.
8. Импортируйте данные ODT файла в OriginPro и постройте петли гистерезиса для двух случаев ориентации внешнего магнитного поля.

### **Лабораторная работа №6. Симуляция процессов перемагничивания под действием внешнего магнитного поля в OOMMF**

1. Задайте 3D наноструктуру с определенными магнитными параметрами и геометрией. В начальном состоянии задайте хаотическое распределение намагниченности. Проведите симуляцию процесса намагничивания вдоль оси  $Ox$ .
2. Включите автоматическое сохранение данных в ODT файл.
3. Импортируйте данные ODT файла в OriginPro и постройте кривую намагничивания.
4. Задайте в начальной конфигурации двухдоменное состояние. Исследуйте динамику доменной стенки под действием вращающегося магнитного поля в плоскости  $Oxy$ .

5. Задайте в начальной конфигурации вихревое состояние намагниченности. Исследуйте динамику ядра вихря под действием переменного магнитного поля.
6. Задайте однодоменное состояние намагниченности. Исследуйте процесс перемагничивания наноструктуры под действием локального смещающегося магнитного поля. Включите автоматическое сохранение данных в OMF файл.

### **Лабораторная работа №7. Симуляция спиновой динамики 3D объекта под действием температуры в OOMMF**

1. Задайте 3D наноструктуру с определенными магнитными параметрами и геометрией. В начальном состоянии задайте вихревую намагниченность.
2. Увеличивайте температуру, что найти предельную  $T_{crit}$  до которой данное состояние будет оставаться устойчивым.
3. Увеличивайте температуру дальше выводя на mmGraph зависимость  $m=f(T)$ .
4. Найдите точку Кюри для вашей структуры.
5. Увеличьте размер ячейки разбиения в 2 раза и повторите задания 1-4.
6. Проведите анализ полученных результатов и сделайте вывод о том, как размер ячейки разбиения влияет на динамику намагниченности под действием температуры.

### **Лабораторная работа №8. Моделирование топологических спиновых конфигураций в OOMMF**

1. Задайте 3D наноструктуру с плоскостной магнитной анизотропией. В начальном состоянии задайте вихревую намагниченность.
2. Сохраните распределение намагниченности в OMF файл.
3. Измените кодировку полученного OMF файла из binary 4 в text.
4. Импортируйте полученное распределение намагниченности в OriginPro.
5. Используя формулу 
$$N_{sk} = \frac{1}{4\pi} \iint \vec{m} \cdot \left( \frac{\partial \vec{m}}{\partial x} \times \frac{\partial \vec{m}}{\partial y} \right) dx dy,$$
 рассчитайте величину топологического заряда для данной конфигурации намагниченности.
6. Задайте 3D наноструктуру перпендикулярной магнитной анизотропией и взаимодействием Дзялошинского-Мория. В начальном состоянии задайте скирмион.
7. Повторите действия, описанные в пунктах 2-5, для данной структуры.

8. Сравните величины топологических зарядов рассчитанные для вихря и скирмиона.

### **Лабораторная работа №9. Моделирование магнитостатических полей создаваемых ферромагнитной наноструктурой в OOMMF**

1. Задайте 3D наноструктуру с определенными магнитными параметрами и геометрией. При этом размер моделируемой области пространства должен в 2 раза превышать геометрические размеры наноструктуры в каждом из направлений.
2. Задайте однодоменное состояние намагниченности вдоль оси  $Ox$ .
3. Найдите энергетический минимум для данной структуры.
4. Включите отображение магнитостатических полей, создаваемых наноструктурой в mmDisp.
5. Сохраните полученное распределение магнитостатических полей в OMF файл.
6. Задайте массив наноструктур так, чтобы моделируемая область пространства полностью охватывала данный массив.
7. Задайте в качестве начальной конфигурации намагниченности хаотическое распределение.
8. Запустите минимизацию энергии системы в отсутствие внешнего поля.
9. Получите распределение магнитостатических полей взаимодействия между элементами массива.
10. Уменьшите расстояние между элементами массива и пункты 7-9.

### **Лабораторная работа №10. Моделирование пленок и многослойных структур в OOMMF**

1. Задайте 3D область ферромагнитной пленки размером  $2 \times 2$  мкм<sup>2</sup> определенными магнитными параметрами и толщиной.
2. Задайте в качестве начальной конфигурации намагниченности хаотическое распределение.
3. Запустите минимизацию полной энергии системы и сохраните OMF файл распределение намагниченности в энергетическом минимуме.
4. Добавьте периодические граничные условия на краях моделируемой области с количеством трансляций вдоль  $Ox$  и  $Oy$  – 3.
5. Повторите действия из пунктов 2-3.

6. Сравните полученные результаты без и с периодическими граничными условиями.
7. Задайте многослойный нанодиск, состоящий из 5 ферромагнитных слоев разделенных немагнитными прослойками.
8. Задайте в качестве начальной конфигурации намагниченности однодоменное состояние.
9. Запустите минимизацию полной энергии системы и сохраните OMF файл распределение намагниченности в энергетическом минимуме.
10. Используя эффективную модель, описанную в работе [Woo, S. et al. *Nature materials* 2016, 15, (5), 501-506], проведите пересчет магнитных параметров моделируемой структуры.
11. Задайте новую структуру нанодиска с одним эффективным ферромагнитным слоем.
12. Повторите действия из пунктов 8-9.

Сравните результаты, полученные при моделировании реальной многослойной структуры и эффективной модели.

## Практические занятия

### Практическое занятие 1. Описание геометрических параметров и расчет магнитных постоянных моделируемого объекта на основании экспериментальных данных

1. Используя изображение экспериментального образца, опишите его геометрическую форму и рассчитайте площадь поверхности ферромагнитного слоя.
2. Постройте в OriginPro петли гистерезиса, измеренные экспериментально на вибромагнетометре в полях измеренных параллельно и перпендикулярно оси легкого намагничивания (о.л.н.).
3. Проведите нормировку построенных петель гистерезиса.
4. Определите значения таких характеристик формы петель как коэрцитивная сила ( $H_c$ ), остаточная намагниченность ( $M_r/M_s$ ), поля эффективной анизотропии ( $H_{eff}$ ).
5. Зная состав экспериментальной структуры и геометрические параметры измеренного образца, рассчитайте его объем.
6. Определив магнитный момент образца в насыщении, рассчитайте величину намагниченности насыщения образца ( $M_s$ ).

7. Рассчитайте величину эффективной магнитной анизотропии, используя формулу  $K_{eff} = \frac{1}{2} H_{eff} \cdot M_s$ .
8. Учитывая ориентацию о.л.н. и кристаллическую структуру экспериментального образца, произведите пересчет эффективной анизотропии в константу наведенной ( $K_u$ ), либо кристаллографической анизотропии ( $K_c$ ), которая будет использоваться в моделировании.
9. Из графика температурного изменения намагниченности определите температуру Кюри ( $T_c$ ) и рассчитайте константу обменного взаимодействия ( $A$ ).
10. Рассчитайте длину ферромагнитной корреляции для данного образца, используя формулу  $l_{ex} = \sqrt{\frac{2A}{\mu_0 M_s^2}}$ .

## **Практическое занятие 2. Установка, изучение интерфейса и работа в программном пакете OOMMF**

1. Зайдите на сайт разработчика The Object Oriented MicroMagnetic Framework <https://math.nist.gov/oommf/> и скачайте версию программного пакета необходимую для вашей операционной системы.
2. Скачайте ActiveTcl Software, подходящий для вашей ОС, с сайта <https://www.activestate.com/products/activetcl/downloads/> и установите данный пакет.
3. Запустите `oommf.tcl`.
4. В появившемся окне выберите подпрограмму `mmProbEd`.
5. Запустите пример 2D задачи из папки `app\mmpe\examples`.
6. Запустите подпрограмму `mmDisp` и выведите отображение распределения намагниченности в процессе расчета.
7. Поставьте расчет на паузу и сохраните полученное изображение микромагнитной структуры.
8. Откройте подпрограмму `mmGraph`, возобновите расчет и постройте график изменения полной энергии системы от числа итераций.
9. Дождитесь момента, когда полная энергия достигнет минимума и сохраните изображение микромагнитной структуры.
10. Откройте подпрограмму `Oxsii` и запустите пример 3D задачи из папки `app\oxs\examples`.

11. Запустите подпрограмму mmDataTable для отображения текущего значения величины магнитного поля, а также критерия сходимости задачи.
12. Запустите подпрограмму mmArchive для автоматического сохранения данных в ODT файле.
13. Импортируйте данные ODT файла в OriginPro и постройте петлю гистерезиса, полученную на моделировании 3D структуры.

### **Практическое занятие 3. Моделирование двумерных (2D) наноструктур в OOMMF**

1. Используя mmSolve2D задать двумерную задачу для наноструктур различной геометрической формы.
2. Сохранить файл исходных задач в формате MIF 1.1.
3. Запустите подпрограмму mmDisp, включите отображение полученных наноструктур и сохраните OMF файл данных структур.
4. Задайте наноструктуру с определенными магнитными параметрами и геометрией и найдите конфигурацию намагниченности с минимальной энергией, реализуемую в отсутствие внешнего поля.
5. Сделайте симуляцию процесса намагничивания образца в двух направлениях  $O_x$  и  $O_y$ , сохранив в ODT файле данные.
6. Импортируйте данные ODT файла в OriginPro и постройте кривые намагничивания.
7. Смоделируйте процессы перемагничивания в полях ориентированных вдоль  $O_x$  и  $O_y$ , сохраните данные в ODT файле.
8. Импортируйте данные ODT файла в OriginPro и постройте петли гистерезиса.
9. Напишите исходный код в формате MIF 1.1 для 2D наноструктуры с определенными магнитными и геометрическими параметрами.
10. Используя командную строку сконвертируйте исходный код из кодировки MIF 1.1 в кодировку MIF 2.1.

### **Практическое занятие 4. Моделирование трехмерных (3D) наноструктур различной геометрической формы в OOMMF**

1. Используя Oxsii задать трехмерную задачу для наноструктур различной геометрической формы.
2. Сохранить файл исходных задач в формате MIF 2.1.

3. Запустите подпрограмму mmDisp, включите отображение полученных наноструктур и сохраните OMF файл данных 3D наноструктур.
4. Задайте наноструктуру с определенными магнитными параметрами и геометрией и найдите конфигурацию намагниченности с минимальной энергией, реализуемую в отсутствие внешнего поля.
5. Сделайте симуляцию процесса намагничивания образца в трех направлениях  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$ , сохранив в ODT файле данные.
6. Импортируйте данные ODT файла в OriginPro и постройте кривые намагничивания в трех направлениях.
7. Смоделируйте процессы перемангничивания в полях ориентированных вдоль  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  сохраните данные в ODT файле.
8. Импортируйте данные ODT файла в OriginPro и постройте петли гистерезиса.
9. Задайте наноструктуру, используя блок ImageAtlas, и сохраните OMF файл полученной геометрии.
10. Задайте массив наноструктур, используя блок MultiAtlas, и сохраните OMF файл полученной геометрии.

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

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	в течение семестра	Работа с основной и дополнительной литературой, интернет-источниками. Подготовка к лабораторным и практическим занятиям. Подготовка к дискуссиям.	60 час.	ПР-6 Лабораторная работа 1-10 ПР-11 Практическая задача
	ИТОГО		60 часов	

#### 4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

##### Рекомендации по самостоятельной работе студентов

Самостоятельная работа студентов является неотъемлемой частью образовательного процесса и рассматривается как организационная форма обучения. Самостоятельная работа по дисциплине осуществляется в виде внеаудиторных форм познавательной деятельности.

### ***Работа с литературой.***

Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ (<http://www.dvfu.ru/library/>) и других ведущих вузов страны, а также доступных для использования научно-библиотечных систем.

В процессе выполнения самостоятельной работы, в том числе при подготовке к лабораторным и практическим занятиям рекомендуется работать со следующими видами изданий:

а) Научные издания, предназначенные для научной работы и содержащие теоретические, экспериментальные сведения об исследованиях. Они могут публиковаться в форме: монографий, научных статей в журналах или в научных сборниках;

б) Учебная литература подразделяется на:

- учебные издания (учебники, учебные пособия), в которых содержится наиболее полное системное изложение дисциплины или какого-то ее раздела;

- справочники, словари и энциклопедии – издания, содержащие краткие сведения научного или прикладного характера, не предназначенные для сплошного чтения. Их цель – возможность быстрого получения самых общих представлений о предмете.

*Самостоятельная работа включает в себя* повторение теоретического материала дисциплины; изучение основной и дополнительной литературы, указанной в рабочей программе дисциплины, подготовку к дискуссиям, подготовку к практическим и лабораторным занятиям.

Результаты самостоятельной работы отражаются в письменных работах (отчетах по лабораторным работам).



## ***Подготовка к лабораторным работам.***

### **Структура отчета по лабораторной работе**

Отчеты по лабораторным работам представляются в электронной форме, подготовленные как текстовые документы в редакторе MSWord.

Отчет должен быть обобщающим документом, включать всю информацию по выполнению заданий, в том числе, построенные диаграммы, таблицы, приложения, список литературы и (или) расчеты, сопровождая необходимыми пояснениями и иллюстрациями в виде схем, экранных форм («скриншотов») и т. д.

Структурно отчет по лабораторной работе, как текстовый документ, комплектуется по следующей схеме:

✓ *Титульный лист* – обязательная компонента отчета, первая страница отчета, по принятой для лабораторных работ форме (титульный лист отчета должен размещаться в общем файле, где представлен текст отчета);

✓ *Исходные данные к выполнению заданий* – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержат указание варианта, темы и т.д.);

✓ *Основная часть* – материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: разделы – подразделы – пункты – подпункты и т. д.

Рекомендуется в основной части отчета заголовки рубрик (подрубрик) давать исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных;

✓ *Выводы* – обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по работе (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы);

✓ *Список литературы* – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии);

✓ *Приложения* – необязательная компонента отчета, с новой страницы,

содержит дополнительные материалы к основной части отчета.

### Оформление отчета по лабораторной работе

Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов работ:

- набор текста;
- структурирование работы;
- оформление заголовков всех видов (рубрик-подрубрик-пунктов-подпунктов, рисунков, таблиц, приложений);
- оформление перечислений (списков с нумерацией или маркировкой);
- оформление таблиц;
- оформление иллюстраций (графики, рисунки, фотографии, схемы, «скриншоты»);
- набор и оформление математических выражений (формул);
- оформление списков литературы (библиографических описаний) и ссылок на источники, цитирования.

### Набор текста

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

- ✓ печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);
- ✓ интервал межстрочный – полуторный;
- ✓ шрифт – TimesNewRoman;
- ✓ размер шрифта – 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);
- ✓ выравнивание текста – «по ширине»;
- ✓ поля страницы – левое - 25-30 мм., правое - 10 мм., верхнее и нижнее - 20 мм.;
- ✓ нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы,

арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.).

✓ режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать, как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все *приложения* включаются в общую сквозную нумерацию страниц работы.

## 5. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы/ темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения	Результаты обучения	Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1.	Лабораторные занятия темы 1-10	ПК-4.1 выбирает программное обеспечение и применяет методы проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники	<i>Знает</i> функциональность современных инструментальных средств и основное программное обеспечение в области проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники <i>Умеет</i> проводить оценку и выбор программного обеспечения, методов проектирования технологических процессов для создания наноматериалов и изделий электронной техники <i>Владеет</i> навыками работы с программными продуктами и информационными ресурсами, методами проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники	ПР-6 лабораторные работы 1-10	Зачет
		ПК-4.2 проектирует технологические процессы создания	<i>Знает</i> методы проектирования технологических процессов производства наноматериалов и		

		наноматериалов и изделий электронной техники	изделий электронной техники <i>Умеет</i> определять и применять подходящий метод проектирования технологических процессов производства наноматериалов и изделий электронной техники <i>Владеет</i> комплексом инструментов и методов для осуществления проектирования наноматериалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства	ПР-6 лабораторные работы 1-10	Зачет
2.	Лабораторные занятия темы 1-10	ПК-6.1 соблюдает этапы проектирования изделий, составляющих основу компонентной базы электроники, порядок разработки технических заданий на проектирование технологических процессов	<i>Знает</i> этапы проектирования изделий, составляющих основу компонентной базы электроники <i>Умеет</i> поэтапно проектировать изделия, составляющие основу компонентной базы электроники, формулировать техническое задание на проектирование технологических процессов <i>Владеет</i> навыками разработки технических заданий на проектирование технологических процессов	ПР-6 лабораторные работы 1-10	Зачет
		ПК-6.2 использует программное обеспечение для оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей	<i>Знает</i> принципы и правила оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей <i>Умеет</i> применять программное обеспечение для оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей в области прикладной физики <i>Владеет</i> навыками грамотного оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей с использованием современного ПО	ПР-6 лабораторные работы 1-10	Зачет
3.	Лабораторные занятия темы 1-10	ПК-7.1 применяет методы планирования и организации деятельности научных подразделений	<i>Знает</i> методологию и принципы руководства деятельностью научного подразделения, этапы планирования деятельности подразделения <i>Умеет</i> вести организационно-управленческую работу в коллективе на высоком уровне, планировать деятельность научного подразделения, принимать	ПР-6 лабораторные работы 1-10	Зачет

			решения <i>Владеет</i> навыками планирования и принципами руководства деятельностью научных подразделений, информацией о формах ответственности за принятые решения		
		ПК-7.2 формирует научно-исследовательские команды (лаборатории) и выбирает инструменты планирования стратегии их развития	<i>Знает</i> принципы формирования научно-исследовательской команды (лаборатории), методы и подходы к планированию стратегии их развития <i>Умеет</i> формировать научно-исследовательскую команду, планировать стратегию развития <i>Владеет</i> инструментами планирования стратегии развития научно-исследовательской команды (лаборатории), навыками использования особенностей, специфики работы и способов руководства при формировании научно-исследовательские команды (лаборатории)	ПР-6 лабораторные работы 1-10	Зачет
4.	Практические занятия темы 1-4	ПК-4.1 выбирает программное обеспечение и применяет методы проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники	<i>Знает</i> функциональность современных инструментальных средств и основное программное обеспечение в области проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники <i>Умеет</i> проводить оценку и выбор программного обеспечения, методов проектирования технологических процессов для создания наноматериалов и изделий электронной техники <i>Владеет</i> навыками работы с программными продуктами и информационными ресурсами, методами проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники	ПР-11 практические задания 1-4	Зачет
		ПК-4.2 проектирует технологические процессы создания наноматериалов и изделий электронной техники	<i>Знает</i> методы проектирования технологических процессов производства наноматериалов и изделий электронной техники <i>Умеет</i> определять и применять подходящий метод проектирования технологических процессов производства наноматериалов и изделий электронной техники <i>Владеет</i> комплексом инструментов и методов для	ПР-11 практические задания 1-4	Зачет

			осуществления проектирования наноматериалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства		
--	--	--	--	--	--

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также качественные критерии оценивания, которые описывают уровень сформированности компетенций, представлены в разделе ФОС.

## **6. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. Аполлонский, С. М. Электромагнитные поля технического оборудования. Том I. Методы математической физики и их использование при расчетах электромагнитных полей [Электронный ресурс] : монография / С.М. Аполлонский. – Электрон. текстовые данные. – М. : Русайнс, 2016. – 280 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/61685.html> – ЭБС «IPRbooks».

2. Ибатуллин, Р. У. Физика. Часть 2. Электричество и магнетизм [Электронный ресурс]: методические рекомендации/ Ибатуллин Р.У., Кузьмичева В.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2016.— 39 с. <http://www.iprbookshop.ru/65692.html> – ЭБС «IPRbooks».

3. Кудреватых, Н. В. Магнетизм редкоземельных металлов и их интерметаллических соединений [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.В. Кудреватых, А.С. Волегов. – Электрон. текстовые данные. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. – 200 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69622.html> – ЭБС «IPRbooks».

4. Мешков, И. Н. Электромагнитное поле. Часть 1. Электричество и магнетизм [Электронный ресурс] / И.Н. Мешков, Б.В. Чириков. – Электрон.

текстовые данные. – Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2014. – 544 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/28923.html> – ЭБС «IPRbooks».

5. Юрчук, С. Ю. Методы математического моделирования [Электронный ресурс]: учебное пособие / Юрчук С.Ю. – Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский Дом МИСиС, 2018. – 96 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/78562.html> – ЭБС «IPRbooks».

### Дополнительная литература

1. Астайкин, А. И. Метрология и радиоизмерения [Электронный ресурс]: учебное пособие / Астайкин А.И., Помазков А.П., Щербак Ю.П. – Электрон. текстовые данные. – Саров: Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2010. – 405 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/18440.html> – ЭБС «IPRbooks».

2. Берлин, Б. В. Получение тонких пленок реактивным магнетронным распылением [Электронный ресурс] / Б.В. Берлин, Л.А. Сейдман. — Электрон. текстовые данные. — М. : Техносфера, 2014. — 256 с. — 978-5-94836-369-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/31877.html> – ЭБС «IPRbooks».

3. Кудреватых, Н. В. Магнетизм редкоземельных металлов и их интерметаллических соединений [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.В. Кудреватых, А.С. Волегов. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 200 с. — 978-5-7996-1604-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69622.html> – ЭБС «IPRbooks».

4. Ландсберг, Г. С. Элементарный учебник физики. Т.2 Электричество и магнетизм [Электронный ресурс] : учебник / Г.С. Ландсберг. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2011. — 400 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2240>

5. Савельев, И. В. Курс общей физики. В 5-и тт. Том 2. Электричество и магнетизм [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.В. Савельев. — Электрон.

дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 352 с. — Режим доступа:  
<https://e.lanbook.com/book/705>

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

1. <http://math.nist.gov/oommf/>
2. <http://deparkes.co.uk/wp-content/uploads/2014/02/userguide1.pdf>
3. <http://mumax.github.io/>
4. <https://arxiv.org/pdf/1406.7635.pdf>
5. <http://www.magpar.net/static/magpar/doc/html/install.html>
6. <http://www.magpar.net/static/magpar/doc/magpar.pdf>
7. <http://gmsh.info/>

### **Нормативно-правовые документы**

1. ГОСТ Р 57700.6-2017 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения в области бессеточных методов численного моделирования.
2. ГОСТ 19693-74 Межгосударственный стандарт. Материалы магнитные. Термины и определения.
3. ГОСТ 15971-90. Системы обработки информации. Термины и определения
4. ГОСТ 8.417-02. ГСИ. Единицы величин.
5. ГОСТ Р 8.563-96. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений.

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине может использоваться стандартное программное обеспечение компьютерных учебных классов (Windows, Microsoft Office).

### **Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>



2. Базаданных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>

## **7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Студент в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу.

При организации учебной деятельности на занятиях широко используются как традиционные, так и современные электронные носители информации, а также возможности информационных и коммуникационных образовательных технологий.

Лабораторные и практические занятия проводятся в учебной группе.

Со стороны преподавателя студентам оказывается помощь в формировании навыков работы с литературой, анализа литературных источников.

Следует учитывать, что основной объем информации студент должен усвоить в ходе систематической самостоятельной работы с материалами, размещенными как на электронных, так и на традиционных носителях.

Для углубленного изучения материала курса дисциплины рекомендуется использовать основную и дополнительную литературу.

Литературные источники доступны обучаемым в научной библиотеке (НБ) ДВФУ, а также в электронных библиотечных системах (ЭБС), с доступом по гиперссылкам — ЭБС издательства "Лань" (<http://e.lanbook.com/>), ЭБС Znanium.com НИЦ "ИНФРА-М" (<http://znanium.com/>), ЭБС IPRbooks (<http://iprbookshop.ru/>) и другие ЭБС, используемые в ДВФУ <https://www.dvfu.ru/library/electronic-resources/>

Формами текущего контроля результатов работы студентов по дисциплине являются практические задания, лабораторные работы.

Итоговый контроль по дисциплине осуществляется в форме зачета в конце 3 семестра.

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

ДВФУ располагает соответствующей материально-технической базой, включая современную вычислительную технику, объединенную в локальную вычислительную сеть, имеющую выход в Интернет.

Используются специализированные компьютерные классы, оснащенные современным оборудованием. Материальная база соответствует действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивает проведение всех видов занятий (лабораторной, практической, дисциплинарной и междисциплинарной подготовки) и научно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных учебным планом.

### Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 502. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 30) Оборудование: ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 CCBA – 1 шт. Доска аудиторная.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Сублицензионное соглашение Blackboard № 2906/1 от 29.06.2012.
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L320 Специализированная лаборатория пленочных технологий	1. Сверхвысоковакуумный комплекс Omicron 2. ACM Integra Aura NT MDT 3. Photolithography system Suss MicroTech MJB6 (Germany) Количество посадочных рабочих мест для студентов – 8	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593 Microsoft Teams Gwyddion – Free SPM (AFM, SNOM/NSOM, STM, MFM) data analysis software / Department of Nanometrology/ Czech Metrology Institute/ свободное ПО
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корп. А (Лит. П), Этаж 10, каб. А1017. Аудитория для самостоятельной работы	Оборудование: Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт. Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.)	IBM SPSS Statistics Premium Campus Edition. Поставщик ЗАО Прогностические решения. Договор ЭА-442-15 от 18.01.2016 г., лот 5. Срок действия договора с 30.06.2016 г. Лицензия - бессрочно. SolidWorks Campus 500. Поставщик Солид Воркс Р. Договор 15-04-101 от 23.12.2015

		<p>г. Срок действия договора с 15.03.2016 г. Лицензия - бессрочно.</p> <p>АСКОН Компас 3D v17. Поставщик Нави-ком. Договор 15-03-53 от 20.12.2015 г. Срок действия договора с 31.12.2015 г. Лицензия - бессрочно.</p> <p>MathCad Education Universety Edition. Поставщик Софт Лайн Трейд. Договор 15-03-49 от 02.12.2015 г. Срок действия договора с 30.11.2015 г. Лицензия - бессрочно.</p> <p>Windows Edu Per Device 10 Education. Поставщик Microsoft. Договор № ЭА-261-18 от 30.06.2018 г. Под-писка. Срок действия договора с 30.06.2018 г. Лицензия - 30.06.2020 г.</p> <p>Office Professional Plus 2019. Поставщик Microsoft. Договор № ЭА-261-18 от 30.06.2018 г. Подписка. Срок действия договора с 30.06.2018 г. Лицензия - бессрочно.</p> <p>Autocad 2018. Поставщик Autodesk. Договор № 110002048940 от 27.10.2018 г. Сетевая, конкурентная. Срок действия договора с 27.10.2018 г. Лицензия - 27.10.2021 г.</p> <p>Сублицензионное соглашение Blackboard № 2906/1 от 29.06.2012.</p>
--	--	---

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.

## 9. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-4.1 выбирает программное обеспечение и применяет методы проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники	Знает функциональность современных инструментальных средств и основное программное обеспечение в области проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники
	Умеет проводить оценку и выбор программного обеспечения, методов проектирования технологических процессов для создания наноматериалов и изделий электронной техники

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
	Владеет навыками работы с программными продуктами и информационными ресурсами, методами проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники
ПК-4.2 проектирует технологические процессы создания наноматериалов и изделий электронной техники	Знает методы проектирования технологических процессов производства наноматериалов и изделий электронной техники
	Умеет определять и применять подходящий метод проектирования технологических процессов производства наноматериалов и изделий электронной техники
	Владеет комплексом инструментов и методов для осуществления проектирования наноматериалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства
ПК-6.1 соблюдает этапы проектирования изделий, составляющих основу компонентной базы электроники, порядок разработки технических заданий на проектирование технологических процессов	Знает этапы проектирования изделий, составляющих основу компонентной базы электроники
	Умеет поэтапно проектировать изделия, составляющие основу компонентной базы электроники, формулировать техническое задание на проектирование технологических процессов
	Владеет навыками разработки технических заданий на проектирование технологических процессов
ПК-6.2 использует программное обеспечение для оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей	Знает принципы и правила оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей
	Умеет применять программное обеспечение для оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей в области прикладной физики
	Владеет навыками грамотного оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей с использованием современного ПО
ПК-7.1 применяет методы планирования и организации деятельности научных подразделений	Знает методологию и принципы руководства деятельностью научного подразделения, этапы планирования деятельности подразделения
	Умеет вести организационно-управленческую работу в коллективе на высоком уровне, планировать деятельность научного подразделения, принимать решения
	Владеет навыками планирования и принципами руководства деятельностью научных подразделений, информацией о формах ответственности за принятые решения
ПК-7.2 формирует научно-исследовательские команды (лаборатории) и выбирает инструменты планирования стратегии их развития	Знает принципы формирования научно-исследовательской команды (лаборатории), методы и подходы к планированию стратегии их развития
	Умеет формировать научно-исследовательскую команду, планировать стратегию развития
	Владеет инструментами планирования стратегии развития научно-исследовательской команды (лаборатории), навыками использования особенностей, специфики работы и способов руководства при формировании научно-исследовательские команды (лаборатории)

№ п/п	Контролируемые разделы/ темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения	Результаты обучения	Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация

					ция
1.	Лабораторные занятия темы 1-10	ПК-4.1 выбирает программное обеспечение и применяет методы проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники	<i>Знает</i> функциональность современных инструментальных средств и основное программное обеспечение в области проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники <i>Умеет</i> проводить оценку и выбор программного обеспечения, методов проектирования технологических процессов для создания наноматериалов и изделий электронной техники <i>Владеет</i> навыками работы с программными продуктами и информационными ресурсами, методами проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники	ПР-6 лабораторные работы 1-10	Зачет
		ПК-4.2 проектирует технологические процессы создания наноматериалов и изделий электронной техники	<i>Знает</i> методы проектирования технологических процессов производства наноматериалов и изделий электронной техники <i>Умеет</i> определять и применять подходящий метод проектирования технологических процессов производства наноматериалов и изделий электронной техники <i>Владеет</i> комплексом инструментов и методов для осуществления проектирования наноматериалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства	ПР-6 лабораторные работы 1-10	Зачет
2.	Лабораторные занятия темы 1-10	ПК-6.1 соблюдает этапы проектирования изделий, составляющих основу компонентной базы электроники, порядок разработки технических заданий на проектирование технологических процессов	<i>Знает</i> этапы проектирования изделий, составляющих основу компонентной базы электроники <i>Умеет</i> поэтапно проектировать изделия, составляющие основу компонентной базы электроники, формулировать техническое задание на проектирование технологических процессов <i>Владеет</i> навыками разработки технических заданий на проектирование технологических процессов	ПР-6 лабораторные работы 1-10	Зачет
		ПК-6.2 использует программное	<i>Знает</i> принципы и правила оформления научно-		

		обеспечение для оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей	технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей <i>Умеет</i> применять программное обеспечение для оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей в области прикладной физики <i>Владеет</i> навыками грамотного оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей с использованием современного ПО	ПР-6 лабораторные работы 1-10	Зачет
3.	Лабораторные занятия темы 1-10	ПК-7.1 применяет методы планирования и организации деятельности научных подразделений	<i>Знает</i> методологию и принципы руководства деятельностью научного подразделения, этапы планирования деятельности подразделения <i>Умеет</i> вести организационно-управленческую работу в коллективе на высоком уровне, планировать деятельность научного подразделения, принимать решения <i>Владеет</i> навыками планирования и принципами руководства деятельностью научных подразделений, информацией о формах ответственности за принятые решения	ПР-6 лабораторные работы 1-10	Зачет
		ПК-7.2 формирует научно-исследовательские команды (лаборатории) и выбирает инструменты планирования стратегии их развития	<i>Знает</i> принципы формирования научно-исследовательской команды (лаборатории), методы и подходы к планированию стратегии их развития <i>Умеет</i> формировать научно-исследовательскую команду, планировать стратегию развития <i>Владеет</i> инструментами планирования стратегии развития научно-исследовательской команды (лаборатории), навыками использования особенностей, специфики работы и способов руководства при формировании научно-исследовательские команды (лаборатории)	ПР-6 лабораторные работы 1-10	Зачет
4.	Практические занятия	ПК-4.1 выбирает программное обеспечение и применяет методы проектирования технологических процессов создания	<i>Знает</i> функциональность современных инструментальных средств и основное программное обеспечение в области проектирования технологических процессов	ПР-11 практические задания 1-4	Зачет

	темы 1-4	наноматериалов и изделий электронной техники	создания наноматериалов и изделий электронной техники <i>Умеет</i> проводить оценку и выбор программного обеспечения, методов проектирования технологических процессов для создания наноматериалов и изделий электронной техники <i>Владеет</i> навыками работы с программными продуктами и информационными ресурсами, методами проектирования технологических процессов создания наноматериалов и изделий электронной техники		
		ПК-4.2 проектирует технологические процессы создания наноматериалов и изделий электронной техники	<i>Знает</i> методы проектирования технологических процессов производства наноматериалов и изделий электронной техники <i>Умеет</i> определять и применять подходящий метод проектирования технологических процессов производства наноматериалов и изделий электронной техники <i>Владеет</i> комплексом инструментов и методов для осуществления проектирования наноматериалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства	ПР-11 практические задания 1-4	Зачет

**Текущая аттестация студентов** по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

– учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);

– степень усвоения теоретических знаний;

– результаты самостоятельной работы.

Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине.

Оценка посещаемости, активности обучающихся на занятиях ведётся на основе журнала, который ведёт преподаватель в течение учебного семестра.

Для текущего контроля используется проверка отчетов по каждому лабораторному занятию, практические задания.

Для дисциплины используются следующие оценочные средства:

1. Практическое задание (ПР-11).
2. Лабораторная работа (ПР-6).

**Практическое задание (ПР-11)** - задание, в котором обучающемуся предлагается осмыслить и решить профессиональную задачу.

### *Практические задания*

#### **Тема 1. Вариант 1**

**Задание 1.1** В **mmSolve2D** получить и сохранить OMF files следующих структур с магнитными параметрами: намагниченность насыщения  $1200 \times 10^3$  А/м; константа обменного взаимодействия  $11 \times 10^{-12}$  Дж/м; константа одноосной анизотропии  $5 \times 10^4$  Дж/м<sup>3</sup> вдоль оси Оу, константа затухания Гильберта 0,1. Геометрическая форма структур:

- а) квадрат  $50 \times 50 \times 20$  нм<sup>3</sup>, размер ячейки 2 нм;
- б) эллипс  $100 \times 50 \times 10$  нм<sup>3</sup>, размер ячейки 1 нм;
- в) квадратный массив [2×2] нанодисков диаметром  $d=50$  нм, толщиной 10 нм, расстояние между центрами дисков  $2d$ , размер ячейки 1 нм.

**Задание 1.2** Для структуры из задания 1.1(а) найти конфигурацию намагниченности, обладающую минимальной энергией в отсутствие внешнего воздействия, задав следующие начальные конфигурации намагниченности: хаотическое распределение намагниченности; однодоменное; вихрь; антивихрь. Сохраните полученные конфигурации (OMF file) и исходную задачу (MIF file), предварительно создав отдельную папку для расчетов.

**Задание 1.3** Для структуры, использованной в задании 1.2, провести моделирование кривых намагничивания + петель гистерезиса вдоль направлений Ох и Оу. Начальную конфигурацию задать файлом, используйте состояние с минимальной энергией, определенное во втором задании. Включите автоматическое сохранение скалярных данных и конфигурации намагниченности на каждом шаге. Сохраните исходную задачу (MIF file). Постройте полученные петли.

**Задание 1.4** Сконвертируйте исходную задачу из задания 1.3 из кодировки MIF 1.1 в кодировку MIF 2.1

#### **Тема 1. Вариант 2**

**Задание 1.1** В **mmSolve2D** получить и сохранить OMF files следующих структур с магнитными параметрами: намагниченность насыщения  $480 \times 10^3$  А/м; константа обменного взаимодействия  $9 \times 10^{-12}$  Дж/м; константа кубической



анизотропии  $3 \times 10^3$  Дж/м<sup>3</sup>; константа затухания Гильберта 0,3. Геометрическая форма структур:

- а) нанодиск диаметром 50 нм, толщиной 20 нм, размер ячейки 2 нм;
- б) прямоугольник  $300 \times 200 \times 10$  нм<sup>3</sup>, размер ячейки 1 нм;
- в) прямоугольный массив  $[2 \times 2]$  наноточек квадратной формы со стороной  $a=50$  нм, толщиной 10 нм, расстояние между центрами наноточек  $2a$ , размер ячейки 1 нм.

Задание 1.2 Для структуры из задания 1.1(а) найти конфигурацию намагниченности, обладающую минимальной энергией в отсутствие внешнего воздействия, задав следующие начальные конфигурации намагниченности: хаотическое распределение намагниченности; двухдоменное; четырехдоменное; вихрь. Сохраните полученные конфигурации (OMF file) и исходную задачу (MIF file), предварительно создав отдельную папку для расчетов.

Задание 1.3 Для структуры, использованной в задании 1.2, провести моделирование кривых намагничивания + петель гистерезиса вдоль направлений  $Ox$  и  $Oy$ . Начальную конфигурацию задать файлом, используйте состояние с минимальной энергией, определенное во втором задании. Включите автоматическое сохранение скалярных данных и конфигурации намагниченности на каждом шаге. Сохраните исходную задачу (MIF file). Постройте полученные петли.

Задание 1.4 Сконвертируйте исходную задачу из задания 1.3 из кодировки MIF 1.1 в кодировку MIF 2.1

### Тема 1. Вариант 3

Задание 1.1 В **mmSolve2D** получить и сохранить OMF files следующих структур с магнитными параметрами: намагниченность насыщения  $1000 \times 10^3$  А/м; константа обменного взаимодействия  $15 \times 10^{-12}$  Дж/м; константа затухания Гильберта 0,5; в структурах имеется только анизотропия формы. Геометрическая форма структур:

- а) прямоугольник  $25 \times 100 \times 10$  нм<sup>3</sup>, размер ячейки 2 нм;
- б) эллипс  $300 \times 200 \times 10$  нм<sup>3</sup>, размер ячейки 1 нм;
- в) ряд из четырех нанодисков диаметром  $d=75$  нм, толщиной 5 нм, расстояние между центрами дисков  $2d$ , размер ячейки 1 нм.

Задание 1.2 Для структуры из задания 1.1(а) найти конфигурацию намагниченности, обладающую минимальной энергией в отсутствие внешнего воздействия, задав следующие начальные конфигурации намагниченности: хаотическое распределение намагниченности; однодоменное; двухдоменное вдоль и поперек длинной стороне. Сохраните полученные конфигурации (OMF file) и исходную задачу (MIF file), предварительно создав отдельную папку для расчетов.

Задание 1.3 Для структуры, использованной в задании 1.2, провести моделирование кривых намагничивания + петель гистерезиса вдоль направлений  $Ox$  и  $Oy$ . Начальную конфигурацию задать файлом, используйте состояние с минимальной энергией, определенное во втором задании. Включите

автоматическое сохранение скалярных данных и конфигурации намагниченности на каждом шаге. Сохраните исходную задачу (MIF file). Постройте полученные петли.

Задание 1.4 Сконвертируйте исходную задачу из задания 1.3 из кодировки MIF 1.1 в кодировку MIF 2.1

### **Тема 1. Вариант 4**

Задание 1.1 В **mmSolve2D** получить и сохранить OMF files следующих структур с магнитными параметрами: намагниченность насыщения  $1400 \times 10^3$  А/м; константа обменного взаимодействия  $30 \times 10^{-12}$  Дж/м; константа одноосной анизотропии вдоль оси Oх  $3 \times 10^3$  Дж/м<sup>3</sup>; константа затухания Гильберта 0,3. Геометрическая форма структур:

а) нанополоска длиной 250 нм, шириной 10 нм и толщиной 20 нм, размер ячейки 2 нм;

б) эллипсоид  $200 \times 500 \times 10$  нм<sup>3</sup>, размер ячейки 1 нм;

в) массив из четырех нанополосок  $20 \times 300 \times 10$  нм<sup>3</sup>, расстояние между центрами полосок 60 нм, размер ячейки 1 нм.

Задание 1.2 Для структуры из задания 1.1(а) найти конфигурацию намагниченности, обладающую минимальной энергией в отсутствие внешнего воздействия, задав следующие начальные конфигурации намагниченности: хаотическое распределение намагниченности; однодоменное; четырехдоменное; вихрь. Сохраните полученные конфигурации (OMF file) и исходную задачу (MIF file), предварительно создав отдельную папку для расчетов.

Задание 1.3 Для структуры, использованной в задании 1.2, провести моделирование кривых намагничивания + петель гистерезиса вдоль направлений Oх и Oу. Начальную конфигурацию задать файлом, используйте состояние с минимальной энергией, определенное во втором задании. Включите автоматическое сохранение скалярных данных и конфигурации намагниченности на каждом шаге. Сохраните исходную задачу (MIF file). Постройте полученные петли.

Задание 1.4 Сконвертируйте исходную задачу из задания 1.3 из кодировки MIF 1.1 в кодировку MIF 2.1

### **Тема 1. Вариант 5**

Задание 1.1 В **mmSolve2D** получить и сохранить OMF files следующих структур с магнитными параметрами: намагниченность насыщения  $800 \times 10^3$  А/м; константа обменного взаимодействия  $15 \times 10^{-12}$  Дж/м; константа кубической анизотропии  $3 \times 10^3$  Дж/м<sup>3</sup>; константа затухания Гильберта 0,5. Геометрическая форма структур:

а) эллипс  $25 \times 100 \times 5$  нм<sup>3</sup>, размер ячейки 2 нм;

б) параллелепипед  $100 \times 200 \times 50$  нм<sup>3</sup>, размер ячейки 1 нм;

в) квадратный массив [3×2] наноточек треугольной формы (равносторонний треугольник со стороной  $a=50$  нм), расстояние между центрами 2а, размер ячейки 1 нм.

Задание 1.2 Для структуры из задания 1.1(а) найти конфигурацию намагниченности, обладающую минимальной энергией в отсутствие внешнего воздействия, задав следующие начальные конфигурации намагниченности: хаотическое распределение намагниченности; однодоменное; вихрь; антивихрь. Сохраните полученные конфигурации (OMF file) и исходную задачу (MIF file), предварительно создав отдельную папку для расчетов.

Задание 1.3 Для структуры, использованной в задании 1.2, провести моделирование кривых намагничивания + петель гистерезиса вдоль направлений Oх и Oу. Начальную конфигурацию задать файлом, используйте состояние с минимальной энергией, определенное во втором задании. Включите автоматическое сохранение скалярных данных и конфигурации намагниченности на каждом шаге. Сохраните исходную задачу (MIF file). Постройте полученные петли.

Задание 1.4 Сконвертируйте исходную задачу из задания 1.3 из кодировки MIF 1.1 в кодировку MIF 2.1

## Тема 2. Вариант 1

### Задание

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов, используя **ScriptAtlas**, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $480 \times 10^3$  А/м; константой обменного взаимодействия  $10 \times 10^{-12}$  Дж/м. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) цилиндр диаметром 100 нм и высотой 50 нм с квадратным отверстием в центре, сторона квадрата 30 нм. Размер ячейки  $1 \times 1 \times 1$  нм<sup>3</sup>.

б) сферу диаметром 150 нм с отверстием конусной формы, выходящим из центра. Размер ячейки  $2 \times 2 \times 2$  нм<sup>3</sup>;

в) структуру диск на диске, толщины дисков 10 нм, диаметры 200 нм и 100 нм, верхний диск смещен на 50 нм и центра нижнего. Размер ячейки  $1 \times 1 \times 10$  нм<sup>3</sup>.

## Тема 2. Вариант 2

### Задание

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов, используя **ScriptAtlas**, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $1400 \times 10^3$  А/м; длина ферромагнитной корреляции 6 нм. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) кольцо толщиной 20 нм, диаметры внешний – 200 нм, внутренний – 150 нм. Размер ячейки  $1 \times 1 \times 10$  нм<sup>3</sup>.

б) двухслойный нанодиск диаметром 250 нм, размер ячейки в плоскости  $2 \times 2$  нм, толщина каждого слоя 10 нм;

в) квадратный массив из 4х нанодисков  $d=50$  нм и толщиной 10 нм, расстояние между центрами дисков  $2d$ . Размер ячейки разбиения  $1 \times 1 \times 20$  нм<sup>3</sup>.

### Тема 2. Вариант 3

#### *Задание*

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов, используя **ScriptAtlas**, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $1400 \times 10^3$  А/м; константой обменного взаимодействия  $9 \times 10^{-12}$  Дж/м. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) эллипсоид вращения  $100 \times 500 \times 40$  нм<sup>3</sup>. Размер ячейки разбиения  $1 \times 1 \times 1$  нм<sup>3</sup>.

б) участок пленки  $300 \times 300$  нм<sup>2</sup> с нанопорами квадратной формы (сторона квадрата  $a=100$  нм), упакованными в квадратный массив на расстоянии  $2a$  между центрами, толщина пленки 10 нм; Размер ячейки разбиения  $4 \times 4 \times 10$  нм<sup>3</sup>.

в) овальная призма, вписанная в прямоугольник  $200 \times 100$  нм<sup>3</sup>, высота призмы 90 нм. Размер ячейки разбиения  $2 \times 2 \times 10$  нм<sup>3</sup>.

### Тема 2. Вариант 4

#### *Задание*

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов, используя **ScriptAtlas**, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $800 \times 10^3$  А/м; длина ферромагнитной корреляции 9 нм. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) призма в основании, которой лежит равносторонний треугольник со стороной 50 нм. Высота призмы 20 нм. Размер ячейки разбиения  $1 \times 1 \times 10$  нм<sup>3</sup>.

б) сфера радиусом 75 нм, в центре которой находится пора квадратной формы (сторона квадрата 40 нм). Размер ячейки разбиения  $1 \times 1 \times 1$  нм<sup>3</sup>.

в) массив из 4х наноплосок размером  $10 \times 50$  нм<sup>3</sup>, толщиной 10 нм. Расстояние между центрами соседних нанополосок 40 нм. Размер ячейки разбиения  $2 \times 2 \times 10$  нм<sup>3</sup>.

### Тема 2. Вариант 5

#### *Задание*

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов, используя **ScriptAtlas**, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $1000 \times 10^3$  А/м; длина ферромагнитной корреляции 7 нм. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) прямоугольный крест длиной 100 нм, ширина нанополосок 20 нм, толщина 10 нм. Размер ячейки разбиения  $1 \times 1 \times 10$  нм<sup>3</sup>.

б) сферическая наночастица core-shell диаметром 90 нм, толщина оболочки 20 нм. Размер ячейки разбиения  $1 \times 1 \times 1 \text{ нм}^3$ . Намагниченность насыщения в оболочке в 2 раза ниже.

в) массив из 4х нанодисков, упорядоченных в сточку, с диаметром  $50 \text{ нм}^3$ , толщиной 10 нм. Расстояние между центрами соседних нанодисков 100 нм. Размер ячейки разбиения  $2 \times 2 \times 10 \text{ нм}^3$ .

### **Тема 3. Вариант 1**

#### **Задание**

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $480 \times 10^3 \text{ А/м}$ ; константой обменного взаимодействия  $10 \times 10^{-12} \text{ Дж/м}$ . Геометрия структуры диск на диске, толщины дисков 10 нм, диаметры 200 нм и 100 нм, верхний диск смещен на 50 нм и центра нижнего. Размер ячейки  $1 \times 1 \times 10 \text{ нм}^3$ . Необходимо задать следующие начальные конфигурации намагниченности и сохранить OMF files полученных структур:

- а) в верхнем диске однодоменное состояние, в нижнем вихрь;
- б) в верхнем диске двухдоменное состояние, в нижнем четырехдоменное;
- в) в верхнем 2D хаотическое распределение в нижнем двухдоменное.

### **Тема 3. Вариант 2**

#### **Задание**

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $1400 \times 10^3 \text{ А/м}$ ; длина ферромагнитной корреляции 6 нм. Геометрия структуры квадратный массив из 4х нанодисков  $d=50 \text{ нм}$  и толщиной 10 нм, расстояние между центрами дисков  $2d$ . Размер ячейки разбиения  $1 \times 1 \times 10 \text{ нм}^3$ . Необходимо задать следующие начальные конфигурации намагниченности и сохранить OMF files полученных структур:

- а) в каждом диске однодоменное состояние  $\uparrow \rightarrow \downarrow \leftarrow$ ;
- б) в каждом диске вихрь;
- в) хаотическое распределение.

### **Тема 3. Вариант 3**

#### **Задание**

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания core-shell частицы сферической формы радиусом 75 нм, толщина оболочки 20 нм, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $1200 \times 10^3 \text{ А/м}$  и  $900 \times 10^3 \text{ А/м}$  для оболочки; константой обменного взаимодействия  $9 \times 10^{-12} \text{ Дж/м}$ . Размер ячейки разбиения  $1 \times 1 \times 1 \text{ нм}^3$ . Необходимо задать следующие начальные конфигурации намагниченности и сохранить OMF files полученных структур:

- а) в центре однодоменное  $\rightarrow$ , в оболочке однодоменное  $\leftarrow$ ;
- б) в центре вихрь, оболочка насыщена по оси Oz;

в) в центре двухдоменное состояние, в оболочке хаотическое распределение.

### **Тема 3. Вариант 4**

#### **Задание**

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $800 \times 10^3$  А/м; длина ферромагнитной корреляции 9 нм. Геометрия структуры массив из 4х нанополосок размером  $10 \times 50$  нм<sup>3</sup>, толщиной 10 нм. Расстояние между центрами соседних нанополосок 40 нм. Размер ячейки разбиения  $2 \times 2 \times 10$  нм<sup>3</sup>. Необходимо задать следующие начальные конфигурации намагниченности и сохранить OMF files полученных структур:

- а) в каждой полоске однодоменное состояние  $\uparrow \downarrow \uparrow \downarrow$ ;
- б) в каждой полоске двухдоменное;
- в) хаотическое распределение.

### **Тема 3. Вариант 5**

#### **Задание**

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $980 \times 10^3$  А/м; константой обменного взаимодействия  $12 \times 10^{-12}$  Дж/м. Геометрия структуры диск, на поверхности которого расположена наноструктура квадратной формы, толщины каждого слоя 10 нм, диаметр диска 200 нм, сторона квадрата 90 нм. Размер ячейки  $1 \times 1 \times 10$  нм<sup>3</sup>. Необходимо задать следующие начальные конфигурации намагниченности и сохранить OMF files полученных структур:

- а) в верхнем слое однодоменное состояние, в нижнем вихрь;
- б) в верхнем слое четырехдоменное состояние, в нижнем двухдоменное;
- в) в верхнем слое 2D хаотическое распределение, в нижнем 3D хаотическое распределение.

### **Тема 4. Вариант 1**

#### **Задание**

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $1400 \times 10^3$  А/м; константой обменного взаимодействия  $30 \times 10^{-12}$  Дж/м; кубической анизотропией  $[1 \ 0 \ 0]$  и  $K_1 = 5 \times 10^5$  Дж/м<sup>3</sup>. Геометрия структуры диск толщиной 10 нм, диаметр 80 нм. Размер ячейки  $1 \times 1 \times 10$  нм<sup>3</sup>. Провести симуляцию следующих процессов:

- а) намагничивание из Random state;
- б) петли гистерезиса в двух направлениях параллельно и перпендикулярно плоскости;
- в) показать поведение ядра вихря во вращающемся поле 60 Э.

### **Тема 4. Вариант 2**

#### **Задание**

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $1000 \times 10^3$  А/м; константой обменного взаимодействия  $10 \times 10^{-12}$  Дж/м; одноосной анизотропией  $[1\ 0\ 0]$  и  $K_1 = 4 \times 10^4$  Дж/м<sup>3</sup>. Квадратная наноструктура со стороной 70 нм и толщиной 10 нм. Размер ячейки  $1 \times 1 \times 10$  нм<sup>3</sup>. Провести симуляцию следующих процессов:

- а) намагничивание из Random state;
- б) петли гистерезиса в двух направлениях параллельно и перпендикулярно легкой оси;
- в) показать поведение ядра вихря во вращающемся поле 40 Э.

### **Тема 4. Вариант 3**

#### **Задание**

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $580 \times 10^3$  А/м; длиной ферромагнитной корреляции 10 нм; одноосной анизотропией  $[0\ 1\ 0]$  и  $K_1 = 2 \times 10^5$  Дж/м<sup>3</sup>. Прямоугольная наноструктура  $20 \times 90$  нм<sup>2</sup> и толщиной 10 нм. Размер ячейки  $1 \times 1 \times 10$  нм<sup>3</sup>. Провести симуляцию следующих процессов:

- а) намагничивание из Random state;
- б) петли гистерезиса в двух направлениях параллельно и перпендикулярно длинной стороне;
- в) задать двухдоменное состояние и показать поведение доменной стенки во вращающемся поле 50 Э.

### **Тема 4. Вариант 4**

#### **Задание**

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $1220 \times 10^3$  А/м; константой обменного взаимодействия  $15 \times 10^{-12}$  Дж/м; одноосной анизотропией  $[1\ 0\ 0]$  и  $K_1 = 3 \times 10^3$  Дж/м<sup>3</sup>. Прямоугольная наноструктура  $30 \times 70$  нм<sup>2</sup> и толщиной 10 нм. Размер ячейки  $1 \times 1 \times 10$  нм<sup>3</sup>. Провести симуляцию следующих процессов:

- а) намагничивание из Random state;
- б) петли гистерезиса в двух направлениях параллельно и перпендикулярно длинной стороне;
- в) задать двухдоменное состояние и показать поведение доменной стенки во вращающемся поле 50 Э.

### **Тема 4. Вариант 5**

#### **Задание**

Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения  $900 \times 10^3$  А/м; длиной ферромагнитной корреляции 11 нм; кубической анизотропией  $[1\ 0\ 0]$  и  $K_1 = 3 \times 10^3$  Дж/м<sup>3</sup>. Наноструктура равностороннего треугольника со стороной 50 нм и толщиной 10 нм. Размер ячейки  $1 \times 1 \times 10$  нм<sup>3</sup>. Провести симуляцию следующих процессов:

- а) намагничивание из Random state;
- б) петли гистерезиса в двух направлениях параллельно и перпендикулярно плоскости;
- в) показать поведение ядра вихря во вращающемся поле 60 Э.

**Требования к представлению и оцениванию материалов (результатов):**

Приступая к выполнению практического задания, прежде всего, студенту необходимо подробно изучить вопросы практического занятия, соответствующую литературу, требования к содержанию и структуре задания. Студент должен определить и усвоить ключевые понятия и представления. В случае возникновения трудностей студент должен и может обратиться за консультацией к преподавателю.

Критерием оценки выполнения практического задания является умение студента синтезировать, анализировать, обобщать фактический материал с формулированием конкретного результата. Оценивается творческий уровень, позволяющий диагностировать умения, интегрировать знания, аргументировать ответ. При оценке учитывается знание основных направлений микромагнитного моделирования.

**Критерии оценки:**

Уровень освоения	Критерии оценки результатов обучения	Количество баллов / оценка
Повышенный	Студент выполнил задание, грамотно решил задачу с представлением результата. Продемонстрировано знание и владение навыками самостоятельной работы по заданной теме, технологиями, методами и приемами анализа ситуации. Требования к содержанию и структуре задания полностью соблюдены.	100-86 Зачтено
Базовый	Студент выполнил задание, решил задачу с представлением результата. Продемонстрировано владение навыком самостоятельной работы по заданной теме, методами анализа ситуации. В целом соблюдаются требования, предъявляемые к	85-76 Зачтено



	содержанию и структуре задания. Допущено не более 1 неточности при выполнении задания.	
Пороговый	Студент выполнил задание, но обнаружил фрагментарные, поверхностные знания темы; испытывает затруднения с использованием ключевых понятий, выполнением задания в целом. В целом соблюдаются требования, предъявляемые к содержанию и структуре задания. Допущено не более 2 ошибок или неточностей при выполнении задания.	75-61 Зачтено
Уровень не достигнут	Студент частично выполнил задание, обнаружил незнание темы и ключевых понятий. Не соблюдены требования к содержанию и структуре задания. Допущено более 2 ошибок или неточностей при выполнении задания.	60-0 Не зачтено

**Лабораторная работа (ПР-6)** – средство для закрепления и практического освоения материала по темам дисциплины.

Цель лабораторных работ – выработка у учащихся профессиональных умений применять полученные знания для решения практических задач в области нанотехнологий и наноматериалов, умений и навыков пользоваться физическими подходами и методами для осуществления профессиональной деятельности.

Во всех лабораториях существуют особые правила поведения студентов, которые необходимо неукоснительно соблюдать – правила техники безопасности. За знание правил техники безопасности и обязательство их выполнять каждый студент должен расписаться в соответствующем журнале.

Домашнюю подготовку к работе рекомендуется вести следующим образом. Прочитать имеющееся описание работы и отметить возникшие вопросы и неясности. Затем прочитать соответствующие разделы по учебникам. После этого снова вернуться и к описанию, подробно проработать его и особенно часть, посвященную практике, составить и записать примерный план проведения эксперимента.

Обработка результатов и оформление отчета проводится в течение недели после выполнения работы. Студент, не сдавший отчета в срок, к следующей работе не допускается. Варианты заданий и вопросов к лабораторным работам представлены в разделах дисциплины.

**Требования к представлению и оцениванию материалов (результатов):**

Выполнение лабораторной работы осуществляется студентом самостоятельно в часы лабораторных занятий.

При оценке работы студента преподаватель учитывает все этапы работы студента над отчетом. Если отчет не был принят преподавателем и возвращен для доработки, то все исправления вносятся в тот же экземпляр отчета.

При оценке учитывается правильность выполнения отчета. Выставляется дифференцированный зачет.

***Критерии оценки:***

Уровень освоения	Критерии оценки результатов обучения	Количество баллов / оценка
Повышенный	Студент показал прочные знания основных понятий и их взаимосвязей, сущности явлений, рассматриваемых в работе, и умение их объяснить, знание методов, используемых в работе, методики обработки результатов. Показано хорошее понимание профессиональной значимости изучаемых вопросов. При выполнении экспериментальной части работы и оформлении отчета студент показал умение работать с приборами и владение навыками представления и обработки результатов, умение делать выводы по результатам работы. Отчет по работе оформлен аккуратно, в соответствии с требованиями, структурирован, не содержит ошибок; правильно и полно сформулирован вывод по работе.	100 – 86  Зачтено  (отлично)
Базовый	Студент показал знания основных понятий и их взаимосвязей, сущности явлений, рассматриваемых в работе, и умение их объяснить, знание методов, используемых в работе, методики обработки результатов. Показано хорошее понимание профессиональной значимости изучаемых вопросов. При выполнении экспериментальной части работы и оформлении отчета студент показал умение работать с приборами и владение навыками представления и обработки результатов, умение делать выводы по результатам работы. Отчет по работе оформлен аккуратно, в основном – в соответствии с требованиями, структурирован; правильно и полно сформулирован вывод по работе. Допускаются не более 2-х недочетов в оформлении отчета.	85-76  Зачтено  (хорошо)

Пороговый	Студент показал базовые знания основных понятий и их взаимосвязей, сущности явлений, рассматриваемых в работе, и умение их объяснить, демонстрирует, в целом, знание методов, используемых в работе, методики обработки результатов. При выполнении экспериментальной части работы и оформлении отчета студент в целом показал умение работать с приборами и владение навыками представления и обработки результатов, умение делать выводы по результатам работы. Отчет по работе оформлен аккуратно, в основном в соответствии с требованиями, не содержит грубых ошибок, вывод по работе сформулирован.	75-61  Зачтено (удовлетворительно)
Уровень не достигнут	Студент не выполнил лабораторную работу, либо показал незнание основных понятий, сущности явлений, рассматриваемых в работе, демонстрирует плохое знание или незнание методов, методики обработки результатов. Слабо сформировано или не сформировано умение работать с приборами, отсутствуют выводы по результатам работы. Отчет не соответствует требованиям, не сделан или сделан с грубыми ошибками.	60-0  Не зачтено (неудовлетворительно)

**Промежуточная аттестация студентов** по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Форма отчётности по дисциплине – зачет (3-й, осенний семестр). Студент допускается к зачету после получения положительных оценок за лабораторные работы, практические задания, выполненные в течение семестра (оценочные средства для текущего контроля). Зачет по дисциплине проводится в форме собеседования.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливается оценка «зачтено» или «не зачтено».

### **Вопросы к зачету**

1. Основные типы упорядочения магнетиков. Источник магнитного момента атома. Критерий ферромагнетизма.
2. Обменное взаимодействие. Энергия обменного взаимодействия.
3. Магнитная кристаллографическая анизотропия. Энергия кристаллографической анизотропии различных кристаллов.
4. Наведенная магнитная анизотропии. Энергия наведенной анизотропии.
5. Магнитостатическая энергия. Размагничивающее поле.
6. Энергия магнитного момента во внешнем магнитном поле.
7. Антиферромагнитная и ферромагнитная косвенная обменная связь. Поле насыщения, билинейная и биквадратная косвенная обменная связь.
8. Взаимодействие Дзялошинского-Мория (ВДМ). Влияние данного взаимодействия на магнитную структуру. Методы измерения величины ВДМ.
9. Доменная граница и ее энергия. Типы доменных границ.
10. Процессы смещения доменных границ. Критические поля.
11. Методы исследования магнитных параметров и доменной структуры. Экспериментальные методы оценки энергии анизотропии, намагниченности насыщения.
12. Виды подходов для моделирования магнитных систем. Теоретические основы микромагнитного моделирования.
13. Метод конечных разностей и метод конечных элементов.
14. Способы задания геометрии двумерных (2D) наноструктур в OOMMF.
15. Моделирование необходимой магнитной конфигурации в 2D объектах.
16. Способы задания геометрии трехмерных (3D) наноструктур в OOMMF.
17. Блоки анизотропии, магнитостатического и обменного взаимодействий при моделировании 3D наноструктур в OOMMF.
18. Использование ScriptAtlas в OOMMF для моделирования сложных геометрических объектов.
19. Логические операции для моделирования сложных трехмерных геометрических объектов в OOMMF.

20. Способы задания необходимой начальной конфигурации намагниченности при моделировании 3D наноструктур в OOMMF.
21. Использование ScriptVectorField в OOMMF для формирования необходимой начальной конфигурации намагниченности.
22. Блоки для описания прямого обменного взаимодействия 3D наноструктур в OOMMF.
23. Виды косвенного обменного взаимодействия. Блоки для описания косвенных обменных взаимодействий 3D наноструктур в OOMMF.
24. Типы анизотропии, задаваемые при моделировании 3D наноструктур в OOMMF.
25. Источники магнитной анизотропии в реальных магнитных объектах.
26. Поведение намагниченности под действием однородного магнитного поля.
27. Моделирование процессов перемагничивания под действием внешнего магнитного поля в OOMMF. Энергия взаимодействия намагниченности с внешним полем.
28. Влияние температуры среды на поведение намагниченности. Энергия тепловых флуктуаций.
29. Симуляция процессов спиновой динамики 3D объекта под действием температуры в OOMMF.
30. Формула топологического заряда для спиновых конфигураций. Основные виды топологических объектов в доменной структуре ферромагнетика.
31. Формирование вихревой конфигурации намагниченности в OOMMF.
32. Анизотропия формы. Размагничивающий фактор. Поле магнитостатики.
33. Моделирование картины распределения магнитостатических полей вокруг 3D наноструктуры в OOMMF.
34. Периодические граничные условия для моделирования участка пленки в OOMMF.
35. Эффективная модель для описания многослойных структур.

### Критерии выставления оценки студенту на зачете

Оценка	Требования к сформированным компетенциям
<b>«зачтено»</b>	Студент показывает глубокое и систематическое знание программного материала и структуры конкретного вопроса. Студент демонстрирует отчетливое и свободное владение понятийным аппаратом, научным языком и терминологией соответствующей научной области. Знание основной литературы. Логически корректное и убедительное изложение ответа.
<b>«не зачтено»</b>	Незнание, либо отрывочное представление пройденного программного материала; неумение использовать понятийный аппарат; отсутствие логической связи в ответе.

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения по дисциплине</b>				
Оценка	2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
виды оценочных средств				
<b>Знания</b> (виды оценочных средств: практическое задание, лабораторная работа)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<b>Умения</b> (виды оценочных средств: практическое задание, лабораторная работа)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b>	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач