



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

ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине «Изучение магнитоупорядоченных сред численными методами»
Направление 11.04.04 Электроника и наноэлектроника
Форма подготовки очная

Владивосток
2023

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	критерии	показатели	баллы
ПК-10.1 анализирует современное состояние науки, связанной с получением и изучением новых наноструктурированных конденсированных сред	<u>Знает</u> современное состояние науки, связанной с получением и изучением новых наноструктурированных конденсированных сред	Способность пересказать и объяснить учебный теоретический материал достаточной степенью научной точности и полноты, с приведением примеров	<p>Знает основы электродинамики сплошных сред, классификацию основных методов исследования магнитных свойств и доменной структуры;</p> <p>Знаком с основными разделами физики конденсированного состояния, для изучения ферромагнитных материалов;</p> <p>Знает, как определить возможные перспективные направления нанoeлектроники и спинтроники, в которых используются, или могут использоваться стабильные спиновые конфигурации;</p> <p>Знает, как можно решить наиболее типовые научные и инновационные задачи, затрагивающие нанoeлектронику и спинтронику.</p>	60-74
	<u>Умеет</u> применять передовые методы и технологии в получении новых наноструктурированных материалов	Уметь систематизировать научную информацию о ферромагнитном объекте, выполнять типовые задачи по расчету магнитных параметров исследуемого объекта	<p>Умеет самостоятельно использовать теоретические знания магнетизма для расчета магнитных параметров исследуемого объекта;</p> <p>Умеет проводить математическое описание геометрической модели, соответствующей конкретному экспериментальному объекту;</p> <p>Умеет на практике определить возможные перспективные направления нанoeлектроники и спинтроники, в которых используются или могут использоваться стабильные спиновые конфигурации;</p> <p>Умеет решать типовые научные и инновационные задачи в областях нанoeлектроники и спинтроники для достижения конкретного результата.</p>	75-89
	<u>Владеет</u> навыками анализа текущих	Владеет навыками практического использования	<p>Владеет основами теории магнетизма;</p> <p>Владеет навыками интерпретации</p>	90-100

	тенденций в современной науке для разработки собственного технологического процесса получения перспективных наноструктурированных систем		основ магнетизма для решения простых научно-инновационных задач в областях наноэлектроники и спинтроники.	<p>результатов микромагнитного моделирования для описания и дополнения результатов экспериментального исследования;</p> <p>Владеет навыками практического использования основ магнетизма для исследования магнитных свойств и доменной структуры ферромагнитных объектов;</p> <p>Владеет навыками применения современных подходов для исследования поведения намагниченности в ферромагнитных средах;</p> <p>Владеет способами и навыками, позволяющими определять перспективные направления наноэлектроники и спинтроники, в которых активно используются или могут использоваться стабильные спиновые конфигурации.</p>	
ПК-10.2 использует принципы экономической эффективности и технологических процессов в профессиональной деятельности	<u>Знает</u> принципы экономической эффективности технологических процессов в профессиональной деятельности		<p>Может пересказать и объяснить учебный теоретический материал достаточной степенью научной точности и полноты, приведением примеров</p>	<p>Знает основные алгоритмы проведения экспериментальных исследований магнитных свойств;</p> <p>Знает программные пакеты микромагнитного моделирования и их возможности;</p> <p>Знает основные примеры использования методов микромагнитного моделирования для решения специфических задач, включая симуляцию статических, динамических и термических процессов;</p> <p>Знает основные этапы планирования экспериментальных исследований;</p> <p>Знаком с базовыми методиками проведения экспериментальных исследований.</p>	60-74
	<u>Умеет</u> использовать различные методики оценки экономической эффективности технологических процессов в своей		<p>Уметь проводить микромагнитное моделирование стандартных экспериментов по исследованию магнитных свойств и</p>	<p>Умеет проводить планирование основных этапов экспериментальных исследований в области магнетизма;</p> <p>Производить простые действия, касающиеся стандартных приемов вычислений для микромагнитного моделирования реального объекта и выбирать необходимый программный пакет с учетом особенностей</p>	75-89

	профессиональной области		структуры микро и нанообъектов	исследования; Умеет применять основные методы проведения экспериментальных исследований магнитных свойств на практике.	
	<u>Владеет</u> навыками оценки экономической эффективности технологических процессов в решении научно-исследовательских задач		Владеет навыками использования микромагнитного моделирования для аналитики и прогнозирования экспериментальных результатов	Владеет навыками планирования экспериментальных исследований в области магнетизма; Владеет навыками самостоятельного проведения исследовательской работы с помощью метода микромагнитного моделирования; Владеет навыками использования методов микромагнитного моделирования для прогнозирования экспериментальных результатов; Владеет навыками решения задач средней сложности в одном из пакетов микромагнитного моделирования в соответствии с программой курса.	90-100

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины

Текущая аттестация студентов

Текущая аттестация студентов по дисциплине «Основы микромагнитного моделирования» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Основы микромагнитного моделирования» проводится в форме лабораторных занятий и самостоятельных работ, по результатам которых производится оценка результатов обучения студентов. Оценка осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

Оценивание результатов освоения дисциплины на этапе текущей аттестации проводится в соответствии с используемыми оценочными средствами и критериями.

Критерии оценки кратких отчетов по результатам практических занятий

Оценивание результатов работы на лабораторном занятии, а также выполнения самостоятельной работы проводится при представлении

краткого отчета в электронном или письменном виде по двухбалльной шкале: «зачтено», «не зачтено».

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он представляет преподавателю краткий отчет, удовлетворяющий требованиям по поставленным заданиям, демонстрирует владение методами и приемами теоретических и/или практических аспектов работы.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если он не владеет методами и приемами теоретических и/или практических аспектов, рассматриваемых на занятии, допускает существенные ошибки в работе, представляет неполный отчет по выполнению заданий.

Промежуточная аттестация студентов

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Основы микромагнитного моделирования» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Основы микромагнитного моделирования» проводится в виде экзамена, форма экзамена – «устный опрос в форме ответов на вопросы», «практические задания по типам». Допуск к экзамену возможен только после защиты отчетов по всем лабораторным работам курса и защиты курсовой работы с оценкой (задание на курсовую работу приведено в разделе оценочных средств для текущей аттестации).

Критерии выставления оценки студенту на экзамене по дисциплине «Основы микромагнитного моделирования»:

Баллы (рейтинговой оценки)	Оценка (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86-100	«отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет

		тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
76-85	«хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
61-75	«удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
0-60	«неудовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Собеседование (УО-1)

Вопросы к экзамену

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.

Типы экзаменационных заданий

Тип 1. Сделайте описание геометрической формы реального объекта, а также рассчитайте величины всех магнитных параметров согласно данным из эксперимента.

Тип 2. По экспериментально измеренному изображению магнитной структуры определите тип анизотропии. Опишите доменную структуру и отметьте на ней доменные границы.

Тип 3. Откройте программу для моделирования 2D объектов. Запустите готовую программу из примеров. Выведите отображение микромагнитной структуры на экран.

Тип 4. Задайте 2D наноструктуру с определенными магнитными и геометрическими параметрами в OOMMF и запустите симуляцию процесса перемагничивания. Постройте петли гистерезиса.

Тип 5. Задайте 3D наноструктуру с необходимой геометрической формой в OOMMF. Сохраните OMF файл полученной структуры.

Тип 6. Задайте 3D наноструктуру с необходимой геометрической формой в OOMMF, используя ScriptAtlas. Сохраните OMF файл полученной структуры.

Тип 7. Задайте необходимую начальную конфигурацию в 3D наноструктуре в OOMMF. Сохраните OMF файл полученной конфигурации.

Тип 8. Смоделируйте 3D наноструктуру трехслойной пленки с косвенным обменным взаимодействием в OOMMF.

Тип 9. Смоделируйте 3D наноструктуру с кубической анизотропией в OOMMF.

Тип 10. Смоделируйте петлю гистерезиса вдоль о.л.н. 3D наноструктуры в OOMMF.

Тип 11. Смоделируйте поведение намагниченности 3D наноструктуры при увеличении температуры в OOMMF.

Тип 12. Задайте вихрь, скирмион в 3D нанодиске в OOMMF. Сохраните OMF файл полученной структуры.

Тип 13. Получите распределение магнитостатических полей вокруг 3D наноструктуры. Сохраните OMF файл полученной структуры.

Тип 14. Смоделируйте многослойную пленку с взаимодействием Дзялошинского-Мория в OOMMF, используя реальную и эффективную модели.

Оценочные средства для текущей аттестации

Типовые задания для самостоятельной работы студентов

Тема 1. Вариант 1

Задание 1.1 В **mmSolve2D** получить и сохранить OMF files следующих структур с магнитными параметрами: намагниченность насыщения $1200 \cdot 10^3$ А/м; константа обменного взаимодействия $11 \cdot 10^{-12}$ Дж/м; константа одноосной анизотропии $5 \cdot 10^4$ Дж/м³ вдоль оси Oy, константа затухания Гильберта 0,1. Геометрическая форма структур:

- а) квадрат $50 \cdot 50 \cdot 20$ нм³, размер ячейки 2 нм;
- б) эллипс $100 \cdot 50 \cdot 10$ нм³, размер ячейки 1 нм;
- в) квадратный массив $[2 \cdot 2]$ 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 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 2

Задание 1.1 В **mmSolve2D** получить и сохранить OMF files следующих структур с магнитными параметрами: намагниченность насыщения $480 \cdot 10^3$ А/м; константа обменного взаимодействия $9 \cdot 10^{-12}$ Дж/м; константа кубической анизотропии $3 \cdot 10^3$ Дж/м³; константа затухания Гильберта 0,3. Геометрическая форма структур:

- а) нанодиск диаметром 50 нм, толщиной 20 нм, размер ячейки 2 нм;
- б) прямоугольник $300 \cdot 200 \cdot 10$ нм³, размер ячейки 1 нм;
- в) прямоугольный массив $[2 \cdot 2]$ 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 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 3

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

а) прямоугольник $25 \cdot 100 \cdot 10$ нм³, размер ячейки 2 нм;

б) эллипс $300 \cdot 200 \cdot 10$ нм³, 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(a) 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 $1400 \cdot 10^3$ А/м; константа обменного взаимодействия $30 \cdot 10^{-12}$ Дж/м;

константа одноосной анизотропии вдоль оси Ox $3 \cdot 10^3$ Дж/м³; 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 $200 \times 500 \times 10$ нм³, размер ячейки 1 нм;

в) массив из четырех нанополосок $20 \times 300 \times 10$ нм³, 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 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 5

Задание 1.1 В **mmSolve2D** получить и сохранить OMF files следующих структур с магнитными параметрами: намагниченность насыщения $800 \cdot 10^3$ А/м; константа обменного взаимодействия $15 \cdot 10^{-12}$ Дж/м; константа кубической анизотропии $3 \cdot 10^3$ Дж/м³; константа затухания Гильберта 0,5. Геометрическая форма структур:

- а) эллипс $25 \cdot 100 \cdot 5$ нм³, размер ячейки 2 нм;
- б) параллелепипед $100 \cdot 200 \cdot 50$ нм³, размер ячейки 1 нм;
- в) квадратный массив $[3 \cdot 2]$ наноточек треугольной формы (равносторонний треугольник со стороной $a=50$ нм), расстояние между центрами $2a$, 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; 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 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 6

Задание 1.1 В **mmSolve2D** получить и сохранить OMF files следующих структур с магнитными параметрами: намагниченность насыщения $1000 \cdot 10^3$ А/м; константа обменного взаимодействия $18 \cdot 10^{-12}$ Дж/м; константа одноосной анизотропии вдоль Оу $5 \cdot 10^5$ Дж/м³; константа затухания Гильберта 0,2. Геометрическая форма структур:

- а) параллелепипед $100 \cdot 25 \cdot 10$ нм³, размер ячейки 2 нм;
- б) круглый нанодиск диаметром 200 нм и толщиной 30 нм, размер ячейки 1 нм;
- в) кольцо диаметром 300 нм, толщиной 20, диаметр круглого отверстия 50 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; двухдоменное; четырехдоменное. 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 7

Задание 1.1 В **mmSolve2D** получить и сохранить OMF files следующих структур с магнитными параметрами: намагниченность насыщения $1050 \cdot 10^3$ А/м; константа обменного взаимодействия $30 \cdot 10^{-12}$ Дж/м; константа затухания Гильберта 0,1; в структурах имеется только анизотропия формы. Геометрическая форма структур:

- а) прямоугольник с усеченными углами $80 \times 30 \times 10$ нм³, размер ячейки 2 нм;
- б) прямоугольный крест длиной 400 нм, шириной 30 нм, толщиной 5 нм, размер ячейки 1 нм;
- в) кольцо диаметром 300 нм, толщиной 20 нм, в центре отверстие квадратной формы со стороной $a=50$ нм, размер ячейки 1 нм.

Задание 1.2 Для структуры из задания 1.1(a) найти конфигурацию намагниченности, обладающую минимальной энергией в отсутствие внешнего воздействия, задав следующие начальные конфигурации намагниченности: хаотическое распределение намагниченности; однодоменное; двухдоменное; 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 8

Задание 1.1 В **mmSolve2D** получить и сохранить OMF files следующих структур с магнитными параметрами: намагниченность насыщения $1300 \cdot 10^3$ А/м; константа обменного взаимодействия $8 \cdot 10^{-12}$ Дж/м;

константа одноосной анизотропии вдоль Ox $5 \cdot 10^3$ Дж/м³; константа затухания Гильберта 0,3. Геометрическая форма структур:

- а) равносторонний треугольник со стороной 50 нм, размер ячейки 2 нм;
- б) нанополоска длиной 350 нм, шириной 10 нм, толщиной 15 нм, размер ячейки 1 нм;
- в) вертикальный массив из четырех равносторонних треугольников со стороной 50 нм расстояние между центрами 100 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; 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 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.

Тема 2. Вариант 1

Задание 2.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $1200 \cdot 10^3$ А/м; константой обменного взаимодействия $11 \cdot 10^{-12}$ Дж/м. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) куб со стороной 150 нм. Размер ячейки $2 \cdot 2 \cdot 2$ нм³.

б) участок многослойной пленки размером $400 \cdot 400$ нм², размер ячейки в плоскости 2 нм, состоящей из 4 ферромагнитных слоев толщиной 8 нм, разделенных немагнитными прослойками по 4 нм;

в) треугольная призма, в основании которой лежит равносторонний треугольник со стороной 150 нм, высота призмы 50 нм. Размер ячейки разбиения $2 \cdot 2 \cdot 10$ нм³.

Тема 2. Вариант 2

Задание 2.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $480 \cdot 10^3$ А/м; длина ферромагнитной корреляции 8 нм. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) прямоугольный параллелепипед $150 \cdot 300 \cdot 200$ нм³. Размер ячейки $2 \cdot 2 \cdot 2$ нм³.

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

в) пятиугольная призма, вписанная в окружность диаметром 300 нм, высота призмы 100 нм. Размер ячейки разбиения $2 \times 2 \times 20$ нм³.

Тема 2. Вариант 3

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

а) эллипсоид $300 \times 200 \times 10$ нм³. Размер ячейки разбиения $1 \times 1 \times 1$ нм³.

б) двухслойная структура, состоящая из двух нанодисков диаметрами 200 нм и 100 нм, верхний диск смещен из центра нижнего на 50 нм. Размер ячейки в плоскости 1×1 нм, толщина каждого слоя 10 нм;

в) надпись OOMMF, вписанная в прямоугольник 250×50 нм³. Ячейка $1 \times 1 \times 5$ нм³.

Тема 2. Вариант 4

Задание 2.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов со следующими магнитными параметрами:

намагниченностью насыщения $800 \cdot 10^3$ А/м; длина ферромагнитной корреляции 9 нм. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) эллипс 300×200 нм². Размер ячейки в плоскости 2×2 нм².

б) трехслойная структура, состоящая из двух ферромагнитных нанодисков диаметрами 300 нм и 200 нм и толщиной 10 нм, разделенных немагнитной прослойкой 5 нм. Размер ячейки в плоскости 1×1 нм.

в) овальная призма, вписанная в прямоугольник 300×200 нм³, высота призмы 90 нм. Размер ячейки разбиения $2 \times 2 \times 10$ нм³.

Тема 2. Вариант 5

Задание 2.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $480 \cdot 10^3$ А/м; константой обменного взаимодействия $25 \cdot 10^{-12}$ Дж/м. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) сферу диаметром 300 нм. Размер ячейки $2 \times 2 \times 2$ нм³.

б) массив из четырех нанополосок $10 \times 50 \times 2$ нм³. Направление трансляции Ox, расстояние между центрами нанополосок 20 нм. Размер ячейки разбиения $2 \times 2 \times 2$ нм³.

в) надпись NANO, вписанная в прямоугольник 400×90 нм³. Ячейка $2 \times 2 \times 5$ нм³.

Тема 2. Вариант 6

Задание 2.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $580 \cdot 10^3$ А/м; константой обменного взаимодействия $16 \cdot 10^{-12}$ Дж/м. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) сферу диаметром 300 нм. Размер ячейки $2 \cdot 2 \cdot 2$ нм³.

б) нанокольцо диаметром 300 нм, диаметр отверстия 150 нм, толщина 20 нм. Размер ячейки разбиения $2 \cdot 2 \cdot 2$ нм³.

в) треугольная призма, в основании которой лежит прямоугольный треугольник (длина катетов 100 нм и 200 нм), высота призмы 50 нм. Размер ячейки разбиения $2 \cdot 2 \cdot 10$ нм³.

Тема 2. Вариант 7

Задание 2.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $1580 \cdot 10^3$ А/м; длина ферромагнитной корреляции 7 нм. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) прямоугольный параллелепипед $300 \cdot 200 \cdot 100$ нм³. Размер ячейки $2 \cdot 2 \cdot 2$ нм³.

б) квадратный массив $[2 \times 2]$ нанодисков диаметром $d=50$ нм, толщиной 10 нм, расстояние между центрами дисков $2d$. Размер ячейки разбиения $1 \times 1 \times 10$ нм³.

в) треугольная призма, в основании которой лежит прямоугольный треугольник (длина катетов 100 нм и 200 нм), высота призмы 50 нм. Размер ячейки разбиения $2 \times 2 \times 10$ нм³.

Тема 2. Вариант 8

Задание 2.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения 900×10^3 А/м; константой обменного взаимодействия 30×10^{-12} Дж/м. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) эллипсоид вращения $100 \times 150 \times 100$ нм³. Размер ячейки $2 \times 2 \times 2$ нм³.

б) массив из 4 нанодисков диаметром $d=100$ нм, толщиной 10 нм. Направление трансляции Oy , расстояние между центрами дисков $2d$. Размер ячейки разбиения $2 \times 2 \times 10$ нм³.

в) надпись Modeling, вписанная в прямоугольник 450×50 нм³. Ячейка $1 \times 1 \times 5$ нм³.

Тема 3. Вариант 1

Задание 3.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов, используя **ScriptAtlas**, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $480 \cdot 10^3$ А/м; константой обменного взаимодействия $10 \cdot 10^{-12}$ 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 $1 \cdot 1 \cdot 1$ нм³.

б) сферу диаметром 150 нм с отверстием конусной формы, выходящим из центра. Размер ячейки $2 \cdot 2 \cdot 2$ нм³;

в) структуру диск на диске, толщины дисков 10 нм, диаметры 200 нм и 100 нм, верхний диск смещен на 50 нм от центра нижнего. Размер ячейки $1 \cdot 1 \cdot 10$ нм³.

Тема 3. Вариант 2

Задание 3.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов, используя **ScriptAtlas**, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $1400 \cdot 10^3$ 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 $1 \cdot 1 \cdot 10$ нм³.

б) двухслойный нанодиск диаметром 250 нм, размер ячейки в плоскости $2 \cdot 2$ 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 $1 \times 1 \times 20$ нм³.

Тема 3. Вариант 3

Задание 3.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов, используя **ScriptAtlas**, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения 1400×10^3 А/м; константой обменного взаимодействия 9×10^{-12} Дж/м. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) эллипсоид вращения $100 \times 500 \times 40$ нм³. Размер ячейки разбиения $1 \times 1 \times 1$ нм³.

б) участок пленки 300×300 нм² 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 $4 \times 4 \times 10$ нм³.

в) овальная призма, вписанная в прямоугольник 200×100 нм³, высота призмы 90 нм. Размер ячейки разбиения $2 \times 2 \times 10$ нм³.

Тема 3. Вариант 4

Задание 3.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов, используя **ScriptAtlas**, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения 800×10^3 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 $1 \times 1 \times 10 \text{ нм}^3$.

б) сфера радиусом 75 нм, в центре которой находится пора квадратной формы (сторона квадрата 40 нм). Размер ячейки разбиения $1 \times 1 \times 1 \text{ нм}^3$.

в) массив из 4х наноплосок размером $10 \times 50 \text{ нм}^3$, толщиной 10 нм. Расстояние между центрами соседних наноплосок 40 нм. Размер ячейки разбиения $2 \times 2 \times 10 \text{ нм}^3$.

Тема 3. Вариант 5

Задание 3.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов, используя **ScriptAtlas**, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $1000 \times 10^3 \text{ А/м}$; 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 наноплосок 20 нм, толщина 10 нм. Размер ячейки разбиения $1 \times 1 \times 10 \text{ нм}^3$.

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 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 6

Задание 3.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов, используя **ScriptAtlas**, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $1050 \times 10^3 \text{ А/м}$; константой обменного взаимодействия $20 \times 10^{-12} \text{ Дж/м}$. Полученный код необходимо запустить в **Oxsi** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) призма в основании, которой лежит прямоугольный треугольник с катетами, $100 \times 200 \text{ нм}^2$. Высота призмы 100 нм. Размер ячейки разбиения $2 \times 2 \times 10 \text{ нм}^3$.

б) цилиндр в основании, которого эллипс $100 \times 50 \text{ нм}$ и высотой 50 нм с квадратным отверстием в центре, сторона квадрата 20 нм. Размер ячейки $1 \times 1 \times 1 \text{ нм}^3$.

в) двухслойную структуру, состоящую из диска (диаметр 200 нм), на которой расположен прямоугольник $50 \times 100 \text{ нм}^2$, толщины слоев 10 нм. Размер ячейки $1 \times 1 \times 10 \text{ нм}^3$.

Тема 3. Вариант 7

Задание 3.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов, используя **ScriptAtlas**, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $800 \times 10^3 \text{ А/м}$;

длина ферромагнитной корреляции 8 нм. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) куб со стороной 100 нм с отверстием конусной формы, выходящим из центра. Размер ячейки $2 \times 2 \times 2$ нм³;

б) пирамиду в основании, которой лежит квадрат 90×90 нм². Высота призмы 100 нм. Размер ячейки $2 \times 2 \times 2$ нм³.

в) массив из 4х нанопловок диаметром 40 нм, длиной 100 нм, упакованных в квадратный массив с расстоянием между центрами 100 нм. Размер ячейки $1 \times 1 \times 10$ нм³.

Тема 3. Вариант 8

Задание 3.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания геометрии трехмерных объектов, используя **ScriptAtlas**, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения 950×10^3 А/м; длина ферромагнитной корреляции 5 нм. Полученный код необходимо запустить в **Oxsii** и сохранить OMF files полученных структур. Геометрические параметры структур:

а) участок пятислойной пленки 500×500 нм², структура ФМ/НМ/ФМ/НМ/ФМ (где ФМ-ферромагнитный слой, НМ-немагнитный слой). 5 нм толщина ФМ слоя, 2.5 нм толщина НМ слоя;

б) конус в основании, которой лежит овал 200×90 нм². Высота конуса 100 нм. Размер ячейки $2 \times 2 \times 2$ нм³.

в) структуру диск на диске, толщины дисков 5 нм, диаметры 150 нм и 50 нм, верхний диск смещен на 50 нм от центра нижнего. Размер ячейки $1 \times 1 \times 5$ нм³.

Тема 4. Вариант 1

Задание 4.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $480 \cdot 10^3$ А/м; константой обменного взаимодействия $10 \cdot 10^{-12}$ 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 $1 \cdot 1 \cdot 10$ нм³. 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 4. Вариант 2

Задание 4.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $1400 \cdot 10^3$ А/м; длина ферромагнитной корреляции 6 нм. Геометрия структуры квадратный массив из 4х нанодисков $d=50$ нм и толщиной 10 нм, расстояние между центрами дисков $2d$. Размер ячейки разбиения $1 \cdot 1 \cdot 10$ нм³. Необходимо задать следующие начальные конфигурации намагниченности и сохранить OMF files полученных структур:

- а) в каждом диске однодоменное состояние
- б) в каждом диске вихрь;

в) хаотическое распределение.

Тема 4. Вариант 3

Задание 4.1 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 $1200 \cdot 10^3$ А/м и $900 \cdot 10^3$ А/м для оболочки; константой обменного взаимодействия $9 \cdot 10^{-12}$ Дж/м. Размер ячейки разбиения $1 \cdot 1 \cdot 1$ нм³. Необходимо задать следующие начальные конфигурации намагниченности и сохранить OMF files полученных структур:

- а) в центре однодоменное в оболочке однодоменное
- б) в центре вихрь, оболочка насыщена по оси Oz;
- в) в центре двухдоменное состояние, в оболочке хаотическое распределение.

Тема 4. Вариант 4

Задание 4.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $800 \cdot 10^3$ А/м; длина ферромагнитной корреляции 9 нм. Геометрия структуры массив из 4х нанополосок размером $10 \cdot 50$ нм², толщиной 10 нм. Расстояние между центрами соседних нанополосок 40 нм. Размер ячейки разбиения $2 \cdot 2 \cdot 10$ нм³. Необходимо задать следующие начальные конфигурации намагниченности и сохранить OMF files полученных структур:

- а) в каждой полоске однодоменное состояние

б) в каждой полоске двухдоменное;

в) хаотическое распределение.

Тема 4. Вариант 5

Задание 4.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $980 \cdot 10^3$ А/м; константой обменного взаимодействия $12 \cdot 10^{-12}$ 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 $1 \cdot 1 \cdot 10$ нм³. 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 6

Задание 4.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $1000 \cdot 10^3$ А/м; длина ферромагнитной корреляции 8 нм. Геометрия структуры квадратный массив из 3х наноструктур квадратной формы. Сторона квадрата $d=50$ нм, толщиной 10 нм, расстояние между центрами $2d$. Размер ячейки разбиения $1 \cdot 1 \cdot 10$ нм³. Необходимо задать следующие начальные конфигурации намагниченности и сохранить OMF files полученных структур:

- а) в каждой наноструктуре однодоменное состояние $\square\square\square$
- б) в каждой наноструктуре вихрь;
- в) хаотическое распределение.

Тема 4. Вариант 7

Задание 4.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания core-shell частицы кубической формы, сторона куба 100 нм, толщина оболочки 20 нм, со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $800 \cdot 10^3$ А/м и $400 \cdot 10^3$ А/м для оболочки; константой обменного взаимодействия $9 \cdot 10^{-12}$ Дж/м. Размер ячейки разбиения $1 \cdot 1 \cdot 1$ нм³. Необходимо задать следующие начальные конфигурации намагниченности и сохранить OMF files полученных структур:

- а) в центре 2D хаотическое распределение, в оболочке 3D хаотическое распределение;
- б) в центре двухдоменное состояние, оболочка насыщена по оси Oх;
- в) в центре однодоменное состояние \square в оболочке \square

Тема 4. Вариант 8

Задание 4.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $800 \cdot 10^3$ А/м; длина ферромагнитной корреляции 9 нм. Геометрия структуры массив из 4х нанопроволок

диаметром 30 нм , длиной 80 нм . Расстояние между центрами соседних нанопроволок 40 нм . Размер ячейки разбиения $1 \times 1 \times 20 \text{ нм}^3$. Необходимо задать следующие начальные конфигурации намагниченности и сохранить OMF files полученных структур:

- а) в каждой проволоке однодоменное состояние $\square\square\square\square$
- б) в каждой проволоке вихрь;
- в) хаотическое распределение.

Тема 5. Вариант 1

Задание 5.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $1400 \times 10^3 \text{ А/м}$; константой обменного взаимодействия $30 \times 10^{-12} \text{ Дж/м}$; кубической анизотропией $[1 \ 0 \ 0]$ и $K_1 = 5 \times 10^5 \text{ Дж/м}^3$. Геометрия структуры диск толщиной 10 нм , диаметр 80 нм . Размер ячейки $1 \times 1 \times 10 \text{ нм}^3$. 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 5. Вариант 2

Задание 5.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $1000 \times 10^3 \text{ А/м}$; константой обменного

взаимодействия 10×10^{-12} Дж/м; одноосной анизотропией [1 0 0] и $K_1 = 4 \times 10^4$ Дж/м³. Квадратная наноструктура со стороной 70 нм и толщиной 10 нм. Размер ячейки $1 \times 1 \times 10$ нм³. 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 5. Вариант 3

Задание 5.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения 580×10^3 А/м; длиной ферромагнитной корреляции 10 нм; одноосной анизотропией [0 1 0] и $K_1 = 2 \times 10^5$ Дж/м³. Прямоугольная наноструктура 20×90 нм² и толщиной 10 нм. Размер ячейки $1 \times 1 \times 10$ нм³. 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 5. Вариант 4

Задание 5.4 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами:

намагниченностью насыщения $1220 \cdot 10^3$ А/м; константой обменного взаимодействия $15 \cdot 10^{-12}$ Дж/м; одноосной анизотропией [1 0 0] и $K_1 = 3 \cdot 10^3$ Дж/м³. Прямоугольная наноструктура $30 \cdot 70$ нм² и толщиной 10 нм. Размер ячейки $1 \cdot 1 \cdot 10$ нм³. 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 5. Вариант 5

Задание 5.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $900 \cdot 10^3$ А/м; длиной ферромагнитной корреляции 11 нм; кубической анизотропией [1 0 0] и $K_1 = 3 \cdot 10^3$ Дж/м³. Наноструктура равностороннего треугольника со стороной 50 нм и толщиной 10 нм. Размер ячейки $1 \cdot 1 \cdot 10$ нм³. 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 5. Вариант 6

Задание 5.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $480 \cdot 10^3$ А/м; константой обменного взаимодействия $12 \cdot 10^{-12}$ Дж/м; одноосной анизотропией [0 1 0] и $K_1 = 2 \cdot 10^4$ Дж/м³. Овальная наноструктура $70 \cdot 40$ нм² и толщиной 10 нм. Размер ячейки $1 \cdot 1 \cdot 10$ нм³. 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 50 Э.

Тема 5. Вариант 7

Задание 5.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $1000 \cdot 10^3$ А/м; длиной ферромагнитной корреляции 5 нм; одноосной анизотропией [0 0 1] и $K_1 = 3 \cdot 10^3$ Дж/м³. Нанопроволока диаметром 30 нм и длиной 90 нм. Размер ячейки $1 \cdot 1 \cdot 5$ нм³. 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 100 Э.

Тема 5. Вариант 8

Задание 5.1 Напишите код исходной задачи в формате MIF 2.1 для задания наноструктуры со следующими магнитными параметрами: намагниченностью насыщения $800 \cdot 10^3$ А/м; константой обменного взаимодействия $9 \cdot 10^{-12}$ Дж/м; одноосной анизотропией [1 0 0] и $K_1 = 1 \cdot 10^5$ Дж/м³. Нанокольцо внешний диаметр 150 нм, внутренний 100 нм и толщиной 10 нм. Размер ячейки $1 \cdot 1 \cdot 10$ нм³. Провести симуляцию следующих процессов:

а) намагничивание из Random state;

б) петли гистерезиса в двух направлениях параллельно и перпендикулярно плоскости;

в) задать двухдоменное состояние и показать поведение доменных стенок во вращающемся поле 100 Э.

Задание на курсовую работу

Основной целью курсового проектирования является приобретение навыков проведения самостоятельного исследования магнитных свойств методом микромагнитного моделирования, анализа полученных результатов на эксперименте и моделировании, работа со справочной литературой.

Задание на курсовой проект содержит три задачи, согласно индивидуальной теме. Выбор темы определяется либо студентом совместно с научным руководителем, согласно тематике Выпускной квалификационной работы (ВКР), либо формулируется преподавателем дисциплины, если тематика ВКР не связана с данным курсом.

Задача 1

Произвести анализ литературы на выбранную тему курсового проекта. Установить основные достижения по исследованию данного вопроса, а также описать методы получения конкретных результатов. Обозначить актуальность проведения самостоятельного исследования с использованием метода микромагнитного моделирования. Выявить перечень вопросов, на которые может ответить данное исследование. Сформулировать цель курсового проекта и перечень задач, которые необходимо выполнить для достижения поставленной цели.

Задача 2

Описать теоретические основы микромагнитного подхода, основные возможности метода микромагнитного моделирования для исследования ферромагнитных объектов. Также провести программное обеспечение, используемого в курсовом проекте. Список использованных блоков в

OOMMF для создания модели объекта исследования, а также описание синтаксиса и пунктуации каждого конкретного блока при написании исходного кода задачи. Если моделирование основывалось на данных из эксперимента, также нужно привести краткое описание методов которыми были получены экспериментальные результаты.

Задача 3

Описание конкретного объекта исследования согласно тематике курсовой работы. Если моделирование проводилось на основе экспериментальных данных, необходимо привести результаты эксперимента. Провести анализ экспериментальных результатов и рассчитать магнитные параметры объекта исследований. При отсутствии экспериментальных данных по ряду магнитных параметров, провести анализ литературы по исследованию данных свойств подобных систем. На основании описанных магнитных и геометрических параметров сформировать исходных код для моделирования данного объекта. Провести симуляцию процессов для выполнения перечня задач, определенных в начале исследования. Сделать анализ полученных результатов, сформулировать основные результаты и выводы.

Отчет по курсовому проекту должен содержать:

- титульный лист;
- содержание;
- цель работы и задачи курсового проекта;
- обзор литературы;
- описание микромагнитного подхода;

- описание параметров объекта исследования;
- расчет с использованием микромагнитного моделирования;
- выводы по произведенным расчетам;
- список использованной литературы.

Отчет выполняется согласно требованиям ГОСТ 2.105-95 на одной стороне листа формата А4 (210 x 197 мм). Текст отчета по курсовому проекту должен состоять из разделов, снабженных заголовками в соответствии с содержанием. В тексте отчета указываются ссылки на литературу.