



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

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

Институт наукоемких технологий и передовых материалов

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

Саранин А.А.
(Ф.И.О. рук. ОП)

«28» февраля 2023 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

и.о. директора департамента
Общей и экспериментальной физики

Короченцев А.А.
(Ф.И.О.)

«28» февраля 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Основы микромагнитного моделирования

Направление подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
магистерская программа

«Электроника и нанoeлектроника (совместно с ИАПУ ДВО РАН)»

Форма подготовки очная

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного приказом Минобрнауки России от 22 сентября 2017 г. № 959

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики, протокол № 5 от «28» февраля 2023 г.

и.о. директора департамента общей и экспериментальной физики: канд. хим. наук, доцент Короченцев В.В.

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

Владивосток
2023

1. *Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики и утверждена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики, протокол от «» _____2023г.№*
2. *Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики и утверждена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики, протокол от «» _____202 г.№*
3. *Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики и утверждена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики, протокол от «» _____202 г.№*
4. *Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики и утверждена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики, протокол от «» _____202 г.№*
5. *Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики и утверждена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики, протокол от «» _202 г.№*

Аннотация дисциплины

«Основы микромагнитного моделирования»

Дисциплина «Основы микромагнитного моделирования» входит в часть формируемую участниками образовательных отношений цикла дисциплин образовательной программы, является дисциплиной по выбору (Б1.В.ДВ.05.01), реализуется на 2 курсе в 3 семестре, завершается экзаменом. Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 часов). Учебным планом предусмотрены лабораторные занятия (52 час.), самостоятельная работа студента (128 час., в том числе 36 час. на подготовку к экзамену), курсовое проектирование.

Язык реализации – русский.

Цель:

Изучение физических и математических основ работы метода микромагнитного моделирования, а также приобретение практических навыков формулировки и решения научно-исследовательских задач в области наноманетизма.

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

Базой для освоения данной дисциплины являются курсы «Физика», «Дифференциальные уравнения», «Математическая физика», «Физика магнитных пленок и наноразмерных структур».

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, характеризуют формирование следующих компетенций, индикаторов достижения компетенций:

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
Научно-исследовательский	ПК-3 Способен осваивать принципы планирования и методы автоматизации и эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени	ПК-3.1 разрабатывает требования к средствам проведения эксперимента, контроля и диагностики	Знает основные требования, предъявляемые к средствам проведения эксперимента, контроля и диагностики Умеет осуществлять разработку требований к средствам проведения эксперимента, контроля и диагностики в зависимости от исследовательской задачи Владеет навыками оценки соответствия средств проведения эксперимента, контроля и диагностики их нормативной документации
		ПК-3.2 разрабатывает проектные материалы при планировании и автоматизации эксперимента в избранной области электроники и наноэлектроники	Знает принципы разработки проектных материалов при планировании и автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов

			<p>Умеет осуществлять непосредственную разработку проектных материалов для экспериментальных задач в избранной области электроники и наноэлектроники</p> <p>Владеет навыками эксплуатации высокотехнологичного оборудования в избранной области электроники и наноэлектроники</p>
		ПК-3.3 тестирует и проводит диагностику изделий наноэлектроники	<p>Знает основные принципы, предъявляемые к тестированию и диагностике изделий наноэлектроники</p> <p>Умеет осуществлять подготовку к процессу тестирования и диагностики изделий наноэлектроники</p> <p>Владеет навыками проведения диагностики и тестирования изделий наноэлектроники в соответствии с технической и эксплуатационной документацией</p>
Научно-исследовательский	ПК-4 Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	ПК-4.1 планирует основные этапы экспериментальных исследований	<p>Знает основные этапы экспериментальных исследований</p> <p>Умеет планировать этапы проведения эксперимента для исследовательских задач</p> <p>Владеет навыками организации и проведения экспериментальных исследований с применением современных средств и методов</p>
		ПК-4.2 самостоятельно проводит экспериментальные исследования, используя современные средства и	<p>Знает современные средства и методы, позволяющие самостоятельно проводить экспериментальные</p>

		методы	исследования Умеет определять подходящие методы для проведения экспериментальных исследований Владеет навыками настройки высокотехнологичного оборудования в соответствии современными методами проведения экспериментальных работ
		ПК-4.1 планирует основные этапы экспериментальных исследований	Знает методы исследования поверхности низкоразмерных структур Умеет оценивать и выбирать подходящие типы и параметры лабораторных установок для экспериментальных исследований Владеет методами исследования низкоразмерных структур, навыками оценки и определения подходящих параметров лабораторных установок для экспериментальных исследований
Научно-педагогический	ПК-6 Способен планировать и проводить эксперименты по моделированию и практическому определению структуры и свойств материалов, перспективных для	ПК-6.1 демонстрирует знание методов исследования поверхности низкоразмерных структур, основных типов и параметров лабораторных установок для экспериментальных исследований	Знает основы моделирования и расчётов атомной структуры и свойств материалов Умеет использовать необходимые алгоритмы и программные пакеты для осуществления моделирования структур и их свойств Владеет навыками моделирования структур и систем с разными параметрами
		ПК-6.2 осуществляет моделирование и практическое определение структуры и свойств материалов	Знает основы моделирования и расчётов атомной структуры и свойств материалов Умеет использовать

	электроники и наноэлектроники		необходимые алгоритмы и программные пакеты для осуществления моделирования структур и их свойств Владеет навыками моделирования структур и систем с разными параметрами
		ПК-6.3 применяет методы математического описания физических процессов, протекающих в низкоразмерных структурах	Знает методы математического описания физических процессов, протекающих в низкоразмерных структурах Умеет выбирать подходящий для конкретной задачи метод математического описания Владеет навыками настройки или модификации программных алгоритмов и кодов, используемых для описания физических процессов, протекающих в низкоразмерных структурах

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Основы микромагнитного моделирования» применяются следующие дистанционные образовательные технологии и методы / активного / интерактивного обучения: работа в малых группах.

I. Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель: Изучение физических и математических основ работы метода микромагнитного моделирования, а также 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).

Профессиональные компетенции студентов, индикаторы их достижения и результаты обучения по дисциплине

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
Научно-исследовательский	ПК-3 Способен осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его	ПК-3.1 разрабатывает требования к средствам проведения эксперимента, контроля и диагностики	Знает основные требования, предъявляемые к средствам проведения эксперимента, контроля и диагностики Умеет осуществлять разработку требований к средствам проведения эксперимента, контроля и диагностики в зависимости от исследовательской

	<p>проведение, овладеть навыками измерений в реальном времени</p>		<p>задачи</p> <p>Владеет навыками оценки соответствия средств проведения эксперимента, контроля и диагностики их нормативной документации</p>
		<p>ПК-3.2 разрабатывает проектные материалы при планировании и автоматизации эксперимента в избранной области электроники и нанoeлектроники</p>	<p>Знает принципы разработки проектных материалов при планировании и автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов</p> <p>Умеет осуществлять непосредственную разработку проектных материалов для экспериментальных задач в избранной области электроники и нанoeлектроники</p> <p>Владеет навыками эксплуатации высокотехнологичного оборудования в избранной области электроники и нанoeлектроники</p>
		<p>ПК-3.3 тестирует и проводит диагностику изделий нанoeлектроники</p>	<p>Знает основные принципы, предъявляемые к тестированию и диагностике изделий нанoeлектроники</p> <p>Умеет осуществлять подготовку к процессу тестирования и диагностики изделий нанoeлектроники</p> <p>Владеет навыками проведения диагностики и тестирования изделий нанoeлектроники в соответствии с технической и эксплуатационной</p>

			документацией
Научно-исследовательский	ПК-4 Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	ПК-4.1 планирует основные этапы экспериментальных исследований	Знает основные этапы экспериментальных исследований Умеет планировать этапы проведения эксперимента для исследовательских задач Владеет навыками организации и проведения экспериментальных исследований с применением современных средств и методов
		ПК-4.2 самостоятельно проводит экспериментальные исследования, используя современные средства и методы	Знает современные средства и методы, позволяющие самостоятельно проводить экспериментальные исследования Умеет определять подходящие методы для проведения экспериментальных исследований Владеет навыками настройки высокотехнологичного оборудования в соответствии современными методами проведения экспериментальных работ
		ПК-4.1 планирует основные этапы экспериментальных исследований	Знает методы исследования поверхности низкоразмерных структур Умеет оценивать и выбирать подходящие типы и параметры лабораторных установок для экспериментальных исследований Владеет методами исследования низкоразмерных структур, навыками оценки и определения подходящих параметров лабораторных установок для

			экспериментальных исследований
Научно-педагогический	ПК-6 Способен планировать и проводить эксперименты по моделированию и практическому определению структуры и свойств материалов, перспективных для электроники и нанoeлектроники	ПК-6.1 демонстрирует знание методов исследования поверхности низкоразмерных структур, основных типов и параметров лабораторных установок для экспериментальных исследований	Знает основы моделирования и расчётов атомной структуры и свойств материалов Умеет использовать необходимые алгоритмы и программные пакеты для осуществления моделирования структур и их свойств Владеет навыками моделирования структур и систем с разными параметрами
		ПК-6.2 осуществляет моделирование и практическое определение структуры и свойств материалов	Знает основы моделирования и расчётов атомной структуры и свойств материалов Умеет использовать необходимые алгоритмы и программные пакеты для осуществления моделирования структур и их свойств Владеет навыками моделирования структур и систем с разными параметрами
		ПК-6.3 применяет методы математического описания физических процессов, протекающих в низкоразмерных структурах	Знает методы математического описания физических процессов, протекающих в низкоразмерных структурах Умеет выбирать подходящий для конкретной задачи метод математического описания Владеет навыками настройки или

			модификации программных алгоритмов и кодов, используемых для описания физических процессов, протекающих в низкоразмерных структурах
--	--	--	---

II. Трудоемкость дисциплины и виды учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачётных единиц (180 академических часов)

Структура дисциплины:

Форма обучения – **очная**

№	Наименование раздела дисциплины	С е м е с т р	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Конт роль* *	Формы промежуточной аттестации***
			Лек	Лаб	Пр	ОК*	СР		
1	Тема 1 Описание геометрических параметров и расчет магнитных постоянных моделируемого объекта на основании экспериментальных данных	6	0	4	0			Экзамен	
2	Тема 2 Анализ экспериментальных результатов исследования магнитной структуры	6	0	4	0				
3	Тема 3. Установка, изучение интерфейса и работа в программном пакете OOMMF						90		
	Тема 4. Моделирование двумерных (2D) наноструктур в OOMMF	6	0	6	0				
	Тема 5. Моделирование трехмерных (3D) наноструктур различной геометрической формы в OOMMF	6	0	6	0				
	Тема 6. Особенности задания геометрии	6	0	6	0				

	моделируемого 3D объекта при использовании ScriptAtlas в OOMMF								
	Тема 7. . Формирование необходимой начальной конфигурации намагниченности 3D структур в OOMMF	6	0	6	0				
	Тема 8. Виды обменного взаимодействия при моделировании 3D объектов в OOMMF	6	0	4	0				
	Тема 9. Магнитная анизотропия при моделировании 3D объектов в OOMMF	6	0	4	0				
	Тема 10. Симуляция процессов перемагничивания под действием внешнего магнитного поля в OOMMF	6	0	6	0				
	Тема 11. Симуляция спиновой динамики 3D объекта под действием температуры в OOMMF	6	0	4	0				
	Тема 12. Моделирование топологических спиновых конфигураций в OOMMF	6	0	4	0				
	Тема 13. Моделирование магнитостатических полей создаваемых ферромагнитной наноструктурой в OOMMF	6	0	4	0				
	Тема 14. Моделирование пленок и многослойных структур в OOMMF	6	0	6	0				
	Итого:			68			90	36	***

*онлайн курс

** указать часы из УП

***зачет/экзамен

III. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Тема 1 Описание геометрических параметров и расчет магнитных постоянных моделируемого объекта на основании экспериментальных данных

Базовое описание подхода к микромагнитному моделированию. Теоретическое описание микромагнитного моделирования и концепций, на которых он построен.

Тема 2 Анализ экспериментальных результатов исследования магнитной структуры

Основы обработки полученных результатов моделирования.
Построение петель магнитного гистерезиса, визуализация полученной векторной модели в прикладных приложениях.

Тема 3. Установка, изучение интерфейса и работа в программном пакете OOMMF

Установка требуемых для моделирования программных пакетов, знакомство с интерфейсом и основами задания простейшей геометрии комбинацией операций простейшей логики и параметров материала в пакете микромагнитного моделирования OOMMF.

Тема 4. Моделирование двумерных (2D) наноструктур в OOMMF

Задание простейших магнитных плёнок (двухмерных наноструктур) с заданными параметрами материала и изначальной доменной конфигурацией. Расчёт полученной модели.

Тема 5. Моделирование трехмерных (3D) наноструктур различной геометрической формы в OOMMF

Задание и расчёт наноструктур со сложной геометрией с использованием примитивов и логических операций. Расчёт полученных структур и анализ их магнитного поведения и доменной структуры

Тема 6. Особенности задания геометрии моделируемого 3D объекта при использовании ScriptAtlas в OOMMF

Задание геометрии наноструктуры с использованием подпрограммы ScriptAtlas. Расчёт микромагнитной конфигурации полученной структуры, расчёт кривых намагничивания и построение полученных результатов.

Тема 7. . Формирование необходимой начальной конфигурации намагниченности 3D структур в OOMMF

Задание в наноструктурах микромагнитных конфигураций типа «вортекс», двухдоменное состояние, однодоменное состояние, вихревая доменная стенка и случайное направление намагниченности в образце. Расчёт остаточного состояния полученных структур и анализ их магнитного поведения.

Тема 8. Виды обменного взаимодействия при моделировании 3D объектов в OOMMF

Задача взаимодействия Дзялошинского-Мория в микромагнитной модели. Изучения влияния знака и величины константы взаимодействия Дзялошинского-Мория на магнитное поведение расчётного образца.

Тема 9. Магнитная анизотропия при моделировании 3D объектов в OOMMF

Задача магнитной анизотропии в приведённой микромагнитной модели. Исследование зависимости магнитного поведения наноструктур от типа анизотропии: магнитокристаллической (одноосной и кубической), наведённой и анизотропии формы.

Тема 10. Симуляция процессов перемагничивания под действием внешнего магнитного поля в ООММФ

Расчёт изменения микромагнитной конфигурации с заданными параметрами геометрии и материала по времени для получения информации о динамических процессах, происходящих при перемагничивании заданной структуры.

Тема 11. Симуляция спиновой динамики 3D объекта под действием температуры в ООММФ

Исследование влияния размера ячейки разбиения на динамику намагниченности под действием температуры.

Тема 12. Моделирование топологических спиновых конфигураций в ООММФ

Расчёт величины топологического заряда микромагнитной конфигурации полученной в результате моделирования. Расчёт величины топологического заряда скирмионов.

Тема 13. Моделирование магнитостатических полей создаваемых ферромагнитной наноструктурой в ООММФ

Моделирование и исследование полей рассеяния создаваемых наноструктурой и зависимости силовых линий от расстояния между соседними наноструктурами.

Тема 14. Моделирование пленок и многослойных структур в ООММФ

Создание негомогенных многослойных наноструктур с использованием подпрограммы разбиения наноструктуры на регионы с разными параметрами материала. Расчёт состояния с минимальной энергией таких структур.

IV. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа №1. Описание геометрических параметров и расчет магнитных постоянных моделируемого объекта на основании экспериментальных данных (4 / __ час.)

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 $l_{ex} = \sqrt{\frac{2A}{\mu_0 M_s^2}}$.

Лабораторная работа №2. Анализ экспериментальных результатов исследования магнитной структуры (4 / __ час.)

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 №4. Установка, изучение интерфейса и работа в программном пакете OOMMF (4 / __ час.)

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.

Лабораторная работа №4. Моделирование двумерных (2D) наноструктур в OOMMF (6 /__ час.)

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 Ox и Oy , сохранив в ODT файле данные.
6. Импортируйте данные ODT файла в OriginPro и постройте кривые намагничивания.
7. Смоделируйте процессы перемагничивания в полях ориентированных вдоль Ox и Oy , 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.

Лабораторная работа №5. Моделирование трехмерных (3D) наноструктур различной геометрической формы в OOMMF (6 /__ час.)

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.

Лабораторная работа №6. Особенности задания геометрии моделируемого 3D объекта при использовании ScriptAtlas в OOMMF (6 /__ час.)

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 №7. Формирование необходимой начальной конфигурации намагниченности 3D структур в OOMMF (6 / __ час.)

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 №8. Виды обменного взаимодействия при моделировании 3D объектов в OOMMF (4 / __ час.)

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 №9. Магнитная анизотропия при моделировании 3D объектов в OOMMF (4 /__ час.)

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 №10. Симуляция процессов перемагничивания под действием внешнего магнитного поля в OOMMF (6 /__ час.)

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 №11. Симуляция спиновой динамики 3D объекта под действием температуры в OOMMF (4 / __ час.)

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 №12. Моделирование топологических спиновых конфигураций в OOMMF (4 / __ час.)

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 №13. Моделирование магнитостатических полей создаваемых ферромагнитной наноструктурой в OOMMF (4 /__ час.)

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 №14. Моделирование пленок и многослойных структур в OOMMF (6 / __ час.)

1. Задайте 3D область ферромагнитной пленки размером 2×2 мкм² 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.
13. Сравните результаты, полученные при моделировании реальной многослойной структуры и эффективной модели.

V. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Описание геометрических параметров и расчет магнитных постоянных моделируемого объекта на основании экспериментальных данных	ПК-3 ПК-4 ПК-6	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 1-7 Собеседование (УО-1)
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 1 Собеседование (УО-1)
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 1 Собеседование (УО-1)
2	Анализ экспериментальных результатов исследования магнитной структуры	ПК-3	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 8-11 Собеседование (УО-1)
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 2 Собеседование (УО-1)
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 2 Собеседование (УО-1)
3	Установка, изучение интерфейса и работа в программном пакете ООММФ	ПК-4	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 12-13 Собеседование (УО-1)
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 3 Собеседование (УО-1)
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 3 Собеседование (УО-1)
4	Моделирование двумерных (2D) наноструктур в ООММФ	ПК-4	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 14-15 Собеседование (УО-1)
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 4 Собеседование (УО-1)
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 4 Собеседование (УО-1)

5	Моделирование трехмерных (3D) наноструктур различной геометрической формы в OOMMF	ПК-4 ПК-6	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 16-17 Собеседование (УО-1)
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 5 Собеседование (УО-1)
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 5 Собеседование (УО-1)
6	Особенности задания геометрии моделируемого 3D объекта при использовании ScriptAtlas в OOMMF	ПК-3, ПК-4 ПК-6	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 18-19 Собеседование (УО-1)
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 6 Собеседование (УО-1)
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 6 Собеседование (УО-1)
7	Формирование необходимой начальной конфигурации намагниченности 3D структур в OOMMF	ПК-4	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 20-21 Собеседование (УО-1)
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 7 Собеседование (УО-1)
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 7 Собеседование (УО-1)
8	Виды обменного взаимодействия при моделировании 3D объектов в OOMMF	ПК-4 ПК-6	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 22-23 Собеседование (УО-1)
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 8 Собеседование (УО-1)
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 8 Собеседование (УО-1)
9	Магнитная анизотропия при моделировании 3D объектов в OOMMF	ПК-4	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 24-25
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 9

					Собеседование (УО-1)
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 9 Собеседование (УО-1)
10	Симуляция процессов перемагничивания под действием внешнего магнитного поля в ООММФ	ПК-4 ПК-6	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 26-27 Собеседование (УО-1)
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 10 Собеседование (УО-1)
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 10 Собеседование (УО-1)
11	Симуляция спиновой динамики 3D объекта под действием температуры в ООММФ	ПК-3, ПК-4 ПК-6	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 28-29 Собеседование (УО-1)
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 11 Собеседование (УО-1)
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 11 Собеседование (УО-1)
12	Моделирование топологических спиновых конфигураций в ООММФ	ПК-3, ПК-4	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 30-31 Собеседование (УО-1)
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 12 Собеседование (УО-1)
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 12 Собеседование (УО-1)
13	Моделирование магнитоэлектрических полей создаваемых ферромагнитной наноструктурой в ООММФ	ПК-3, ПК-4	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 32-33 Собеседование (УО-1)
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 13 Собеседование (УО-1)
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 13

					Собеседование (УО-1)
14	Моделирование пленок и многослойных структур в ООММФ	ПК-3, ПК-4 ПК-6	знает	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, вопросы 34-35 Собеседование (УО-1)
			умеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 14 Собеседование (УО-1)
			владеет	Лабораторная работа (ПР-6)	экзамен, задание, тип 14 Собеседование (УО-1)

* Рекомендуемые формы оценочных средств:

1) собеседование (УО-1), коллоквиум (УО-2); доклад, сообщение (УО-3); круглый стол, дискуссия, полемика, диспут, дебаты (УО-4); и т.д.

2) тесты (ПР-1); контрольные работы (ПР-2), эссе (ПР-3), рефераты (ПР-4), курсовые работы (ПР-5), научно-учебные отчеты по практикам (ПР-6); лабораторная работа (ПР-7); портфолио (ПР-8); проект (ПР-9); деловая и/или ролевая игра (ПР-10); кейс-задача (ПР-11); рабочая тетрадь (ПР-12); и т.д.

3) тренажер (ТС-1); и т.д.

VI. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Основы микромагнитного моделирования» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

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

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

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

VII. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. 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».
2. 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».
3. 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».
4. 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».
5. 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>

Дополнительная литература

1. 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> .
2. 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> .
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>
4. 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».

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>

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://gmsk.info/>

Перечень информационных технологий и программного обеспечения

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

Также в работе используется программное обеспечение с открытым исходным кодом – программный пакет микромагнитного моделирования ООММФ.

VIII. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Успешное освоение дисциплины предполагает активную работу студентов на всех занятиях аудиторной формы: лекциях и практиках,

выполнение аттестационных мероприятий. В процессе изучения дисциплины студенту необходимо ориентироваться выполнение лабораторных работ.

Освоение дисциплины «Основы микромагнитного моделирования» предполагает рейтинговую систему оценки знаний студентов и предусматривает со стороны преподавателя текущий контроль за посещением студентами лекций, подготовкой и выполнением всех практических заданий, выполнением всех видов самостоятельной работы.

Промежуточной аттестацией по дисциплине «Основы микромагнитного моделирования» является экзамен.

Студент считается аттестованным по дисциплине при условии выполнения всех видов текущего контроля и самостоятельной работы, предусмотренных учебной программой.

Шкала оценивания сформированности образовательных результатов по дисциплине представлена в фонде оценочных средств (ФОС).

IX. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Лабораторные занятия проводятся в компьютерных классах лабораторного корпуса (корпус L). Для проведения исследований, связанных с выполнением задания по практике, а также для организации самостоятельной работы студентам доступно лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ..

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

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. L320	Специализированная лаборатория Департамента общей и экспериментальной физики: лаборатория пленочных	Microsoft Office365/Microosoft/США/Платное ПО Microsoft

	<p>технологий.</p> <ol style="list-style-type: none">1. Сверхвысоковакуумный комплекс Omicron2. ACM Integra Aura NT MDT3. Photolithography system Suss MicroTech MJB6 (Germany) <p>Количество посадочных рабочих мест для студентов – 8</p>	<p>Teams/Microosoft/США/Платное ПО Gwyddion – Free SPM (AFM, SNOM/NSOM, STM, MFM, ...) data analysis software / Department of Nanometrology/ Czech Metrology Institute/ Бесплатное ПО</p>
--	---	---