



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

**ИНСТИТУТ НАУКОЁМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

(подпись)

Голик С.С.

(Ф.И.О.)

« 21 » 01 2022 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор департамента

(подпись)

Короченцев В.В.

(Ф.И.О.)

« 1 » 01 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Основы микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики

**Направление подготовки 03.03.02 Физика**

Фундаментальная и прикладная физика (совместно с НИУ ВШЭ, г. Москва)

**Форма подготовки очная**

курс 4 семестр 8

лекции 30 час.

практические занятия 30 час.

лабораторные работы не предусмотрено

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

всего часов аудиторной нагрузки 60 час.

в том числе с использованием МАО - час.

самостоятельная работа 12 час.

в том числе на подготовку к экзамену        час.

контрольные работы (количество) не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрен

зачет 8 семестр

экзамен не предусмотрен

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07 августа 2020 г. №891.

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики

\_\_\_\_\_ протокол № 1 от « 11 » 10 2021    г.

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

Составитель (ли): к.ф.-м.н. Давыденко А.В.

Владивосток

2022

**Оборотная сторона титульного листа РПД**

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

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

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

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**III. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## **Цели и задачи освоения дисциплины:**

Цель: изучение магнитных материалов, их поведения в составе макрообъектов и низкоразмерных систем при перемагничивании, механизмов перемагничивания, основных понятий и явлений спинтроники, спин-орбитроники и скирмионики.

Задачи:

- Изучение магнетизма тонких пленок;
- Установление взаимосвязи между структурой наноразмерных пленок и частиц и их магнитными свойствами;
- Ознакомление студентов с магнитными свойствами наноструктур, основами спинтроники, спин-орбитроники и скирмионики;
- Рассмотрение таких явлений спинтроники, как гигантское и туннельное магнитосопротивления, спин-зависимое туннелирование, перенос спинового момента от электронов проводимости локализованным электронам;
- Изучение экспериментальных методов измерения магнитных характеристик изучаемых объектов;

Для успешного изучения дисциплины «Основы микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- УК-1.3. Применяет методики поиска, сбора и обработки информации с помощью современных компьютерных технологий, системный подход при работе с информацией в глобальных компьютерных сетях и корпоративных информационных системах, основы технологии создания баз данных для решения поставленных задач;

- ОПК-1.1. Использует в профессиональной деятельности основы физико-математических и (или) естественных наук;

- ОПК-2.1. Применяет базовые методы научных исследований физических объектов, систем и процессов.

В результате изучения данной дисциплины у студентов формируются следующие профессиональные компетенции (элементы компетенций):

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Научно-исследовательский	ПК-2 Способен применять методы научных исследований в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	ПК-2.1 Применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии
	ПК-3 Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-исследовательские работы	ПК 3.2. Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в том числе, с использованием патентных баз данных)

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-2.1. Применяет методы научных экспериментальных и	Знает методики построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и наноэлектроники

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии	Умеет строить физические и математические модели узлов, блоков, устройств, установок электроники и наноэлектроники
	Владеет навыками построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и наноэлектроники
ПК 3.2. Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в том числе, с использованием патентных баз данных)	Знает методики проведения первичного поиска информации по тематике микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики (в том числе, с использованием патентных баз данных)
	Умеет проводить первичный поиск информации по тематике микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики.
	Владеет навыками анализа полученной информации первичного поиска по тематике микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики

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

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы 72 академических часа).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Пр	Практические занятия
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения
Контроль	Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации

Структура дисциплины:

Форма обучения – очная.

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	СР	Контроль	
1	Раздел I. Магнетизм тонких пленок	8	15	-	15-	12	0	ПР-15
2	Раздел II. Магнитные микроструктуры. Спинтроника, спин-орбитроника и скирмионика		15		15			ПР-15
Итого:			30	-	30	12	0	

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

### Лекционные занятия (30 час.)

#### Раздел 1. Магнетизм тонких пленок (15 час)

##### Тема 1. Диа-, пара- и ферромагнетики (5 час)

Диамагнетизм. Парамагнетизм. Классическая теория парамагнетизма. Квантовая теория парамагнетизма. Ферромагнетизм. Теория молекулярного поля. Обменное взаимодействие. Зонная теория ферромагнетизма.

##### Тема 2. Магнитные анизотропии (5 час)

Магнитокристаллическая анизотропия. Размагничивающее поле. Анизотропия формы. Магнитоупругая анизотропия. Поверхностная анизотропия. Наведенные анизотропии.

##### Тема 3. Доменные структуры в тонких пленках (5 час)

Природа образования доменов. Виды доменных границ. Ширина доменных стенок. Размер доменов. Замыкающие домены. Лабиринтные доменные структуры. Киральные доменные границы.

#### Раздел 2. Магнитные микроструктуры. Спинтроника (15 час)

##### Тема 4. Динамика намагниченности (5 час)

Движение доменных границ. Переключение магнитных наночастиц. Прецессия намагниченности. Модель Стонера-Вольфарта. Температурные флуктуации. Магнитное затухание.

##### Тема 5. Свойства магнитных наноструктур (5 час)

Наноточки. Нанопроволоки. Наностолбики. Антиточки. Массивы из магнитных наноструктур. Процессы перемагничивания наноструктур. Доменные структуры и доменные границы. Перспективы применения в магнитной памяти.

#### **Тема 6. Введение в спинтронику, спин-орбитронику и скирмионику (5 час)**

Гигантское магнитосопротивление. Спиновые вентили. Туннельное магнитосопротивление. Перенос спинового момента от тока.

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

### **Практические занятия ( 30 час.)**

#### **Практическое занятие 1. Измерение магнитной анизотропии тонких пленок на вибромагнитометре (6 час.)**

В данной работе студенты осваивают работу на вибромагнитометре, учатся наклеивать образцы на держатель, снимать петли магнитного гистерезиса под разными азимутальными углами к направлению магнитного поля, рассчитывать магнитную анизотропию по петлям магнитного гистерезиса.

#### **Практическое занятие 2. Измерение магнитных свойств массивов нанообъектов на вибромагнитометре (4 час.)**

В данной работе студенты измеряют полярные диаграммы массивов наночастиц, чтобы по ним определить механизм их перемагничивания.

#### **Практическое занятие 3. Исследование однородности магнитных свойств тонких пленок (4 час.)**

В данной работе студенты измеряют карту распределения коэрцитивной силы по поверхности тонкой магнитной пленки с помощью Керр-магнитометра и делают выводы об однородности магнитных свойств образца.

#### **Практическое занятие 4. Исследование магнитных свойств массивов нанообъектов на магнитометре Керра (4 час.)**

В данной работе студенты исследуют локальные магнитные свойства массивов нанообъектов. Особенность данной работы заключается в том, что студенты в ней могут понять разницу интегральных методов измерения (таких как вибромагнитометр) и локальных методов (таких как Керр-магнитометр).

### **Практическое занятие 5. Измерение энергии взаимодействия Дзялошинского-Мория с помощью Керр-микроскопа (6 час.)**

В данной работе студенты осваивают работу на Керр-микроскопе. Студенты учатся регистрировать магнитную структуру образцов при различных магнитных полях, измеряют петли магнитного гистерезиса, анализируют скорость смещения доменных границ в различных внешних магнитных полях.

### **Практическое занятие 6. Измерение периодичности лабиринтной доменной структуры с помощью Керр-микроскопа (6 час.)**

В данной работе студенты измеряют магнитную структуру образцов в размагниченном состоянии. Периодичность лабиринтной доменной структуры определяется с помощью статистического анализа профилей намагниченности и с помощью графического анализа Фурье.

### **Задания для самостоятельной работы (12 час.)**

*Требования:* После каждого практического занятия обучающемуся необходимо обработать полученные результаты, построить графики зависимостей измеряемых величин, рассчитать требуемые величины и построить рассчитанные графики, объяснить их поведение и сделать правильные выводы.

### **Домашние задания к практическим работам**

#### **Занятие №1. Измерение магнитной анизотропии тонких пленок на вибромагнитометре (2 час.)**

Постройте петли магнитного гистерезиса для серии образцов при ориентации магнитного поля в плоскости и перпендикулярно плоскости образцов. Произведите вычитание фонового сигнала от подложки и держателя образца. Выровняйте петли магнитного гистерезиса по уровню насыщения магнитного сигнала. Постройте кривые намагничивания из петель магнитного гистерезиса, соответствующих намагничиванию вдоль трудной оси. Аппроксимируйте экспериментальные кривые намагничивания аналитическими функциями и найдите площадь между экспериментальной кривой намагничивания и осью магнитного момента. Рассчитайте поле и энергию, необходимую для намагничивания образца в данном направлении при известной намагниченности насыщения. Рассчитайте энергию магнитной анизотропии.

## **Занятие №2. Измерение магнитных свойств массивов нанообъектов на вибромагнитометре (2 час.)**

Постройте петли магнитного гистерезиса для образца, вращая его по азимутальному направлению от 0 до 180° с шагом в 10 градусов. Постройте зависимости коэрцитивной силы и нормированной остаточной намагниченности от направления приложения магнитного поля. Сравните полученные зависимости с теоретическими и сделайте соответствующие выводы о механизме перемагничивания в исследуемой системе.

## **Занятие №3. Исследование однородности магнитных свойств тонких пленок (2 час.)**

Обработайте измеренные петли магнитного гистерезиса с помощью специальной программы. Постройте карту распределения коэрцитивной силы по площади образца. Проанализируйте равномерность распределения коэрцитивной силы, какие участки наиболее дефектные и почему? Сделайте выводы.

## **Занятие №4. Исследование магнитных свойств массивов нанообъектов на магнитометре Керра (2 час.)**

Постройте петли магнитного гистерезиса для образца, вращая его по азимутальному направлению от 0 до 180° с шагом в 10 градусов. Постройте зависимости коэрцитивной силы и нормированной остаточной намагниченности от направления приложения магнитного поля. Сравните полученные зависимости с теоретическими и сделайте соответствующие выводы о механизме перемагничивания в исследуемой системе. Сравните полученные данные с результатами лабораторной работы №2. Объясните отличие результатов. Сделайте соответствующие выводы

## **Занятие №5. Измерение энергии взаимодействия Дзялошинского-Мория с помощью Керр-микроскопа (2 час.)**

Постройте кривые зависимости скорости движения левой и правой доменных границ от величины продольного магнитного поля. Произведите фитинг полученных зависимостей с помощью специальной программы. Определите минимальную дисперсию после расчета как минимум 20 итераций. Определите поле взаимодействия Дзялошинского-Мория и сравните его с полем, при котором наблюдается минимальное значение скорости на кривых. Объясните, почему они совпадают или отличаются. Рассчитайте асимметричность кривых, используя определенное поле взаимодействия Дзялошинского-Мория. Проанализируйте результат.

## **Занятие №6. Измерение периодичности лабиринтной доменной структуры с помощью Керр-микроскопа (2 час.)**

Измерьте 20-30 профилей изменения намагниченности,

ориентированных перпендикулярно линии доменных границ. Измерьте размер доменов и периодичность с помощью усреднения полученных данных. Оцените ошибку. Проведите Фурье преобразование магнитной структуры и определите ее периодичность по изображению Фурье-образа магнитной структуры. Сравните данные, полученные двумя разными способами. Рассчитайте энергию взаимодействия Дзялошинского-Мория, используя специальную программу и зная магнитные параметры образца. Повторите все пункты для двух других образцов. Проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы.

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

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

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

<b>№ п/п</b>	<b>Дата/сроки выполнения</b>	<b>Вид самостоятельной работы</b>	<b>Примерные нормы времени на выполнение</b>	<b>Форма контроля</b>
1	1-4 недели семестра	Домашняя работа 1	2 час.	ПР-15 (рабочая тетрадь)
2	5-6 недели семестра	Домашняя работа 2	2 час	ПР-15 (рабочая тетрадь)
3	7-8 недели семестра	Домашняя работа 3	2 час.	ПР-15 (рабочая тетрадь)
4	9-10 недели семестра	Домашняя работа 4	2 час.	ПР-15 (рабочая тетрадь)
5	11-12 недели семестра	Домашняя работа 5	2 час.	ПР-15 (рабочая тетрадь)
6	13-18 недели семестра	Домашняя работа 6	2 час.	ПР-15 (рабочая тетрадь)
<b>Итого:</b>			<b>12 час.</b>	

#### **Рекомендации по самостоятельной работе студентов**

*Планирование и организация времени, отведенного на выполнение*

*заданий самостоятельной работы.*

Изучив график выполнения самостоятельных работ, следует правильно её организовать. Рекомендуется изучить структуру каждого задания, обратить внимание на график выполнения работ, отчетность по каждому заданию предоставляется в последнюю неделю согласно графику. Обратить внимание, что итоги самостоятельной работы влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины.

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

*Работа с литературой.*

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

*Работа с конспектом лекций*

В конспекте лекций необходимо кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Нужно проверять термины, понятия с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации или практических работах.

**Методические рекомендации по выполнению заданий для самостоятельной работы и критерии оценки.**

## Работа перед практическими занятиями

Перед практическим занятием студент должен самостоятельно изучить методические указания по его выполнению, ознакомиться с содержанием работы, прочитать необходимую учебную литературу для понимания физических процессов, изучаемых в лабораторной работе. После успешного выполнения лабораторной работы студент самостоятельно пишет обрабатывает полученные данные и пишет отчет по практическому занятию. В методических указаниях по выполнению лабораторных работ после каждой лабораторной работы следуют контрольные вопросы. На них необходимо подготовить ответы. Кроме того, необходимо иметь базовые знания по изучаемой теме. Только после теоретической подготовки и написания отчета можно пробовать сдать отчет. Сдача отчета проводится во время практических занятий, когда студенты не работают за лабораторными установками.

### *Структура отчета по практическому занятию*

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

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

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

- ✓ *Титульный лист*– обязательная компонента отчета, первая страница отчета, по принятой для лабораторных работ форме (титульный лист отчета должен размещаться в общем файле, где представлен текст отчета);
- ✓ *Исходные данные к выполнению заданий*– обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержат указание варианта, темы и т.д.);
- ✓ *Основная часть*– материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: разделы – подразделы – пункты – подпункты и т. д.

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

- ✓ *Выводы*– обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по работе (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы);
- ✓ *Список литературы*– обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии);
- ✓ *Приложения*– необязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит дополнительные материалы к основной части отчета.

#### *Оформление отчета по лабораторной работе*

Лабораторная работа относится к категории «*письменная работа*», оформляется *по правилам оформления письменных работ студентами ДВФУ*.

Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов работ:

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

#### *Набор текста*

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

- ✓ печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);
- ✓ интервал межстрочный – полуторный;
- ✓ шрифт – TimesNewRoman;
- ✓ размер шрифта - 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);
- ✓ выравнивание текста – «по ширине»;

✓ поля страницы -левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;

✓ нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.).

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

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

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

*Рекомендации по оформлению графического материала,  
полученного с экранов в виде «скриншотов»*

Графические копии экрана («скриншоты»), отражающие графики, диаграммы моделей, схемы, экранные формы и т. п. должны отвечать требованиям визуальной наглядности представления иллюстративного материала, как по размерам графических объектов, так и разрешающей способности отображения текстов, цветовому оформлению и другим важным пользовательским параметрам.

Рекомендуется в среде программного приложения настроить «экран» на параметры масштабирования и размещения снимаемых для иллюстрации объектов. При этом необходимо убрать «лишние» окна, команды, выделения объектов и т. п.

В перенесенных в отчет «скриншотах» рекомендуется «срезать» ненужные области, путем редактирования «изображений», а при необходимости отмасштабировать их для заполнения страницы отчета «по ширине».

«Скриншоты» в отчете оформляются как рисунки, с заголовками, помещаемыми ниже области рисунков, а в тексте должны быть ссылки на указанные рисунки.

## **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

Выполнение самостоятельных работ оценивается при сдаче и защите отчетов по лабораторным работам. Критерии оценки индикаторов выполнения самостоятельной работы по курсу приведены в разделе VIII.

#### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства – наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел I. Магнетизм тонких пленок	ПК-2.1 Применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии	Знает методики построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и нанoeлектроники	ПР-15 (рабочая тетрадь)	зачет (вопросы 1-15)
			Умеет строить физические и математические модели узлов, блоков, устройств, установок электроники и нанoeлектроники		
			Владеет навыками построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и нанoeлектроники		
2	Раздел II. Магнитные микроструктуры. Спинтроника, спин-орбитроника и скирмионика	ПК 3.2. Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в том числе, с использованием патентных баз данных)	Знает методики проведения первичного поиска информации по тематике микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики (в том числе, с использованием патентных баз данных)	ПР-15 (рабочая тетрадь)	зачет (вопросы 16-28)
			Умеет проводить первичный поиск информации по тематике микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики.		
			Владеет навыками анализа полученной информации первичного поиска по тематике микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики		

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

#### V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-

## МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

*(электронные и печатные издания)*

1. Драгунов В.П., Остертак Д.И. Микро- и наноэлектроника: Учебное пособие для ВУЗов — Новосибирск, НГТУ, 2012. — 38 с.  
<http://www.iprbookshop.ru/45107.html>
2. Берлин Б.В. Получение тонких пленок реактивным магнетронным распылением [Электронный ресурс]/ Берлин Б.В., Сейдман Л.А. — Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2014.— 256 с.  
<http://www.iprbookshop.ru/31877.html>
3. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологии : учебное пособие / под общ. ред. Л.Н. Патрикеева. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 431 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:265078&theme=FEFU>
4. Волков Н.В. Физика магнитных явлений. Ферромагнетизм: Учебное пособие / Н.В. Волков. — Красноярск: изд-во СФУ, 2015. — 125 с.  
<https://search.rsl.ru/ru/record/01008028682>
5. Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение — М.: Юрайт, 2012. — 360 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:670440&theme=FEFU>
6. Борисенко В.Е. Спинтроника : учебное пособие / Борисенко В.Е., Данилюк А.Л., Мигас Д.Б.. — Москва : Лаборатория знаний, 2017. — 230 с. — ISBN 978-5-00101-538-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/88493.html>

### Дополнительная литература

1. Ремпель А.А. Материалы и методы нанотехнологий [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Ремпель А.А., Валеева А.А.— Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург: Уральский федеральный

университет, ЭБС АСВ, 2015. — 136 с.

<http://www.iprbookshop.ru/68346.html>

2. Воротынцев В.М. Скупов В.Д. Базовые технологии микро- и наноэлектроники: учебное пособие / М.: Проспект, 2018. — 520 с.  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469679>
3. 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.  
<https://e.lanbook.com/book/705>

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

1. Нанотехнологии в России <http://www.nanonewsnet.ru>
2. Российский электронный наножурнал <http://www.nanorf.ru>
3. Проект о современной фундаментальной науке «ПостНаука»  
<http://postnauka.ru>
4. Нанотехнологическое общество «Нанометр»  
<http://www.nanometer.ru>

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

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются программы, позволяющие строить графики по массивам данных и выполнять простейший математический анализ данных (первые производные, сглаживание, линейный фитинг).

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

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
2. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>
3. Научная электронная библиотека <http://www.elibrary.ru>

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

**Планирование и организация времени, отведенного на изучение дисциплины.** Приступить к освоению дисциплины следует незамедлительно в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы дисциплины. Обратить внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, лабораторные занятия) планируется самостоятельная работа, итоги которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все задания (аудиторные и самостоятельные) необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с графиком.

В процессе изучения материалов учебного курса предлагаются следующие формы работ: чтение лекций, лабораторные занятия, задания для самостоятельной работы.

*Лекционные занятия* ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов. Успешное освоение дисциплины предполагает активное участие студентов на всех этапах ее освоения. Изучение дисциплины следует начинать с проработки содержания рабочей программы и методических указаний. При изучении и проработке теоретического материала студентам необходимо:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- перед очередной лекцией просмотреть конспект предыдущего занятия;
- при самостоятельном изучении темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПУД литературные источники.

В случае, если возникли затруднения, обратиться к преподавателю в часы консультаций или на практическом занятии.

*Практические занятия* акцентированы на наиболее принципиальных и проблемных вопросах курса и призваны стимулировать выработку практических умений. Основной целью проведения практических занятий является систематизация и закрепление знаний по изучаемой теме, формирование умений самостоятельно работать с дополнительными источниками информации, аргументировано высказывать и отстаивать свою точку зрения.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо:

- повторить теоретический материал по заданной теме;
- продумать формулировки вопросов, выносимых на обсуждение;
- использовать не только конспект лекций, но и дополнительные источники литературы, рекомендованные преподавателем.

Особо значимой для профессиональной подготовки студентов является *самостоятельная работа* по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его. Студентам необходимо ознакомиться с основными источниками, без которых невозможно полноценное понимание проблематики курса.

Освоение курса способствует развитию навыков обоснованных и самостоятельных оценок фактов и концепций. Поэтому во всех формах контроля знаний, особенно при сдаче экзамена, внимание обращается на понимание проблематики курса, на умение практически применять знания и делать выводы.

**Работа с литературой.** Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ и электронные библиотеки (<http://www.dvfu.ru/library/>), а также доступные для использования другие научно-библиотечные системы.

**Подготовка к экзамену.** К сдаче экзамена допускаются обучающиеся, выполнившие все домашние задания, предусмотренные учебной программой дисциплины, посетившие не менее 85% аудиторных занятий.

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

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. L 441. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего	Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 15) Оборудование: ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 CCBA – 1 шт. Доска аудиторная.	Специализированное ПО не требуется

контроля и промежуточной аттестации		
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 320. Лаборатория пленочных технологий ДВФУ	Вибрационный магнитометр Lakeshore 7400, оптический магнитометр Nanomoke2, Керр-микроскоп Evico Magnetics	ПО, позволяющее выполнять лабораторные работы на лабораторных установках, Origin – программное обеспечение для построения графиков, Gwyddion – свободно распространяемое программное обеспечение для обработки графических изображений
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корп. А (Лит. П), Этаж 10, каб. А1017. Аудитория для самостоятельной работы	Оборудование: Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт. Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.)	Специализированное ПО не требуется

Для проведения учебных занятий по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы студентам доступны лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

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

## **VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«Дальневосточный федеральный университет»**

**(ДВФУ)**

---

**ИНСТИТУТ НАУКОЁМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**по дисциплине «Основы микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики»**

**Направление подготовки 03.03.02 Физика**

**Фундаментальная и прикладная физика (совместно с НИУ ВШЭ, г. Москва)**

**Форма подготовки очная**

**Владивосток**

**2022**

Для дисциплины «Основы микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики» используются следующие оценочные средства:

Устный опрос:

1. Домашняя работа (ПР-15) защита отчета

Письменные работы

2. Домашняя работа (ПР-15) написание отчета

**Устный опрос**

Устный опрос позволяет оценить знания и кругозор студента, понимание материала, самостоятельность выполнения домашних задач, умение логически построить ответ, владение монологической речью и иные коммуникативные навыки.

Обучающая функция состоит в выявлении деталей, которые по каким-то причинам оказались недостаточно осмысленными в ходе учебных занятий и при подготовке к экзамену.

**Письменные работы**

Письменный ответ приучает к точности, лаконичности, связности изложения мысли. Письменная проверка используется во всех видах контроля и осуществляется как в аудиторной, так и во внеаудиторной работе.

Лабораторные работы позволяют студентам непосредственно ознакомиться с научным экспериментальным оборудованием, научиться получать экспериментальные результаты, обрабатывать их, анализировать результаты и делать выводы.

**Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Основы микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Форма отчётности по дисциплине – зачет (8-й, весенний семестр). Форма зачета – два письменных вопроса, на которые студенту дается 40 мин, затем 2 произвольных устных вопроса. Допуск к зачету возможен только после сдачи всех отчетов по домашним работам.

**Методические указания по сдаче зачета**

Зачет принимается ведущим преподавателем. При большом количестве групп у одного преподавателя или при большой численности потока по распоряжению заведующего кафедрой (заместителя директора по учебной и воспитательной работе) допускается привлечение в помощь ведущему преподавателю других преподавателей. В первую очередь привлекаются преподаватели, которые проводили практические занятия по дисциплине в группах.

В исключительных случаях, по согласованию с заместителем директора Школы по учебной и воспитательной работе, заведующий кафедрой имеет право принять зачет в отсутствие ведущего преподавателя.

Форма проведения зачета (устная, письменная и др.) утверждается на заседании кафедры по согласованию с руководителем в соответствии с рабочей программой дисциплины.

Во время проведения зачета студенты могут пользоваться рабочей программой дисциплины, а также с разрешения преподавателя, проводящего зачет, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

Время, предоставляемое студенту на подготовку к ответу на зачете, должно составлять не более 20 минут. По истечении данного времени студент должен быть готов к ответу.

Присутствие на зачете посторонних лиц (кроме лиц, осуществляющих проверку) без разрешения соответствующих лиц (ректора либо проректора по учебной и воспитательной работе, директора Школы, руководителя ОПОП или заведующего кафедрой), не допускается. Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, не имеющие возможности самостоятельного передвижения, допускаются зачет с сопровождающими.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливается оценка «зачтено», «не зачтено». При неявке студента на зачет в ведомости делается запись «не явился».

### **Вопросы к зачету**

1. Намагниченность, магнитный момент кругового витка с током, магнитная индукция, магнитный поток, магнитная восприимчивость, виды магнетиков
2. Потенциальная энергия магнитного момента в магнитном поле, момент вращения, поле рамки с током, петля магнитного гистерезиса, коэрцитивная сила, намагниченность насыщения  
Магнитомеханические явления, орбитальные и спиновые механические

- и магнитные моменты электрона, гироманнитное отношение, магнетон Бора, опыты Эйнштейна де Гааз
3. Поле размагничивания, коэффициенты размагничивания, частный случай вытянутого эллипсоида (нанопроволока), сплюснутого эллипсоида (тонкая пленка), магнитные измерения в открытых магнитных цепях
  4. Диамагнетизм, орбитальный магнитный момент, спиновый магнитный момент, магнетон Бора, Ларморова частота, диамагнитный момент
  5. Классическая теория парамагнетизма. Магнитный момент атома. Намагничивание парамагнетика. Закон Кюри-Вейсса.
  6. Квантовая теория парамагнетизма. Полный магнитный момент. G-фактор, эффективный магнитный момент, проекция эффективного магнитного момента на ось поля. Намагничивание парамагнетика. Закон Кюри-Вейсса Ферромагнетизм. Теория молекулярного поля. Закон Кюри-Вейсса
  7. Намагничивание ферромагнетиков. Обменное взаимодействие. Кривая Слэтера. Зонная теория ферромагнетизма
  8. Магнитная анизотропия. Магнитокристаллическая анизотропия в кубических кристаллах. Формула Акулова. Ферромагнетик с кубической симметрией во внешнем магнитном поле
  9. Магнитная анизотропия в гексагональных кристаллах. Ферромагнетик с одноосной анизотропией во внешнем магнитном поле
  10. Измерение магнитной анизотропии из кривых намагничивания, с помощью расчета и с помощью метода площадей
  11. Анизотропия формы. Случаи нанопроволоки и тонкой пленки. Сложение двух одноосных анизотропий.
  12. Перпендикулярная магнитная анизотропия. Поверхностная анизотропия. Эффективная анизотропия в тонких пленках с перпендикулярной магнитной анизотропией
  13. Доменная структура ферромагнетиков. Разбиение на домены. Типы доменных границ
  14. Полосовые домены с замкнутым и незамкнутым потоком
  15. Цилиндрические магнитные домены. Пузырьковые домены.
  16. Однодоменная частица. Модель Стонера-Вольфарта. Механизмы перемагничивания.
  17. Наноточки. Массивы наноточек. Магнитные свойства. Механизмы перемагничивания.
  18. Нанопроволоки и нанополоски. Магнитные свойства. Механизмы перемагничивания.

- 19.Массивы наноточек и нанопроволок.
- 20.Перспективы применения магнитных наночастиц в устройствах записи информации
- 21.Эффект гигантского магнитосопротивления.
- 22.Спиновые вентили. Устройство. Различные системы материалов.
- 23.Эффект туннельного магнитосопротивления.
- 24.Передача спинового момента от тока.
25. Вибрационный магнитометр. Устройство, принципы работы.
26. Магнитометр на основе эффекта Керра. Устройство, принципы работы.
27. Микроскоп на основе эффекта Керра. Устройство, принципы работы.
- 28.Магнитно-силовой микроскоп. Устройство, принципы работы.

### **Критерии выставления оценки студенту на зачете**

К зачету допускаются обучающиеся, выполнившие программу обучения по дисциплине, прошедшие все этапы текущей аттестации.

<b>Оценка</b>	<b>Требования к сформированным компетенциям</b>
<b>«зачтено»</b>	Студент показал развернутый ответ, представляющий собой связное, логическое, последовательное раскрытие поставленного вопроса, широкое знание литературы. Студент обнаружил понимание материала, обоснованность суждений, способность применить полученные знания на практике. Допускаются некоторые неточности в ответе, которые студент исправляет самостоятельно.
<b>«не зачтено»</b>	Студент обнаруживает незнание большей части проблем, связанных с изучением вопроса, допускает ошибки в ответе, искажает смысл текста, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Данная оценка характеризует недостатки в подготовке студента, которые являются серьезным препятствием к успешной профессиональной и научной деятельности.

### **Оценочные средства для текущей аттестации**

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

Текущая аттестация проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (своевременность выполнения различных видов

заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);

- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- посещение занятий
- результаты самостоятельной работы.

Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине. Оценка посещаемости, своевременность выполнения различных видов заданий ведётся на основе журнала, который ведёт преподаватель в течение учебного семестра.

### **Устный опрос в сочетании с проверкой отчета по работе**

Оценивание защиты домашней работы проводится при представлении отчета в электронном или печатном виде, по двухбалльной шкале: «зачтено», «не зачтено».

*Пример контрольных вопросов к домашней работе «Измерение магнитной анизотропии тонких пленок на вибромагнитометре»:*

1. По какому физическому принципу вибрационный магнитометр измеряет магнитный момент образца в поле?
2. Что такое магнитная анизотропия, оси легкого и трудного намагничивания?
3. Нарисуйте петли магнитного гистерезиса, измеренные в легком и трудном направлениях намагничивания, если в образце присутствует сильная одноосная анизотропия.
4. Как рассчитать поле и энергию магнитной анизотропии по методу площадей?
5. Что такое магнитомертвый слой в тонких магнитных пленках и какой эксперимент нужно провести, чтобы определить его толщину?

## **Аннотация дисциплины**

### **«Основы микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики»**

Рабочая программа учебной дисциплины «Основы микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики» разработана для студентов 4 курса очной формы обучения направления подготовки для студентов направления подготовки 03.03.02 «Физика», профиль «Фундаментальная и прикладная физика (совместно с НИУ ВШЭ, г. Москва)» в соответствии с требованиями федерального государственного стандарта высшего образования.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 2 з.е. (72 час.). Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (30 час.), практические занятия (30 час.), самостоятельная работа студента (12 час.). Дисциплина «Основы микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики» входит в вариативную часть образовательной программы, дисциплины по выбору, реализуется на 4 курсе в 8 семестре.

**Цель** курса: изучение магнитных материалов, их поведения в составе макрообъектов и низкоразмерных систем при перемагничивании, механизмов перемагничивания, основных понятий и явлений спинтроники, спин-орбитроники и скирмионики.

#### **Задачи:-**

1. - Изучение магнетизма тонких пленок;
2. - Установление взаимосвязи между структурой наноразмерных пленок и частиц и их магнитными свойствами;
3. - Ознакомление студентов с магнитными свойствами наноструктур, основами спинтроники, спин-орбитроники и скирмионики;
4. - Рассмотрение таких явлений спинтроники, как гигантское и туннельное магнитосопротивления, спин-зависимое туннелирование, перенос спинового момента от электронов проводимости локализованным электронам;
5. - Изучение экспериментальных методов измерения магнитных характеристик изучаемых объектов.

Для успешного изучения дисциплины «Основы микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- УК-1.3. Применяет методики поиска, сбора и обработки информации с помощью современных компьютерных технологий, системный подход при работе с информацией в глобальных компьютерных сетях и корпоративных информационных системах, основы технологии создания баз данных для решения поставленных задач;

- ОПК-1.1. Использует в профессиональной деятельности основы физико-математических и (или) естественных наук;

- ОПК-2.1. Применяет базовые методы научных исследований физических объектов, систем и процессов.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции (элементы компетенций):

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Научно-исследовательский	ПК-2 Способен применять методы научных исследований в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	ПК-2.1 Применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии
	ПК-3 Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-исследовательские работы	ПК 3.2. Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в том числе, с использованием патентных баз данных)

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-2.1. Применяет методы научных экспериментальных и	Знает методики построения физических и математических моделей устройств и установок

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии	электроники и нанoeлектроники
	Умеет строить физические и математические модели узлов, блоков, устройств, установок электроники и нанoeлектроники
	Владеет навыками построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и нанoeлектроники
ПК 3.2. Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в том числе, с использованием патентных баз данных)	Знает методики проведения первичного поиска информации по тематике микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики (в том числе, с использованием патентных баз данных)
	Умеет проводить первичный поиск информации по тематике микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики.
	Владеет навыками анализа полученной информации первичного поиска по тематике микромагнетизма, спин-орбитроники и скирмионики