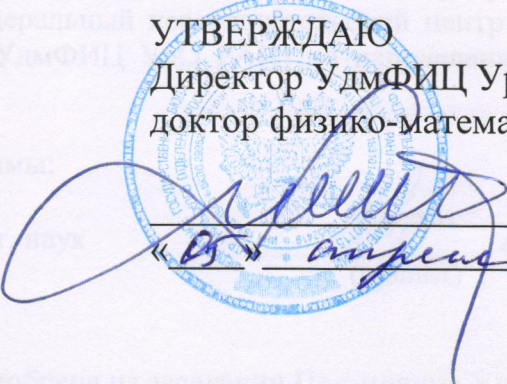


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
«УДМУРТСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР»  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(УдмФИЦ УрО РАН)

УТВЕРЖДАЮ

Директор УдмФИЦ УрО РАН,  
доктор физико-математических наук

  
М.Ю. Альес

«05» апреля 2018 г.

**Рабочая программа дисциплины  
«Физика магнитных явлений»**

Направление подготовки  
*03.06.01 Физика и астрономия*

Направленность (профиль) подготовки  
*01.04.11. «Физика магнитных явлений»*

Квалификация (степень) выпускника  
*Исследователь. Преподаватель-исследователь*

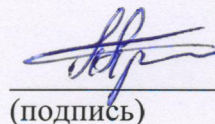
Форма обучения  
*очная*

**Ижевск**

Рабочая программа сформирована в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (Приказ Минобрнауки России от 30.07.2014 № 867), Положением о научно-исследовательской практике обучающихся в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (далее УдмФИЦ УрО РАН), учебным планом подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре УдмФИЦ УрО РАН по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, направленность (профиль) подготовки 01.04.11 «Физика магнитных явлений».

Составители рабочей программы:

Гл. научный сотрудник, док. физ-мат. наук



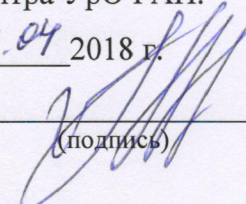
А.К. Аржников

(подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании Президиума Удмуртского федерального исследовательского центра УрО РАН.

Протокол № 7 от 03.04 2018 г.

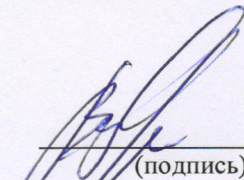
Главный ученый секретарь \_\_\_\_\_ Поздеев И.Л.



(подпись)

Согласовано:

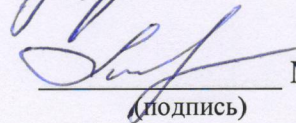
Первый заместитель директора  
по естественно - научному направлению, д.ф.-м.н.



В.Ю. Трубицын

(подпись)

Зав. аспирантурой, к.ф.-м.н.



М.Ю. Лебедева

(подпись)

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью** освоения дисциплины аспирантами является изучение современных теоретических представлений и экспериментальных методов исследований природы магнетизма кристаллических, аморфных, неорганических и органических веществ в твердом и жидком состояниях и изменения их физических свойств при различных внешних воздействиях.

### **Задачи изучения дисциплины:**

1. Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы магнитных свойств металлов, диэлектриков, неорганических и органических соединений.
2. Теоретическое и экспериментальное изучение магнитных свойств неупорядоченных неорганических и органических систем, включая стекла различной природы и дисперсные системы.
3. Теоретическое и экспериментальное изучение магнитных свойств низкоразмерных, слоистых и гетерогенных систем.
4. Теоретическое и экспериментальное изучение магнитных свойств материалов при изменении внешних условий - температуры, давления, магнитных и электрических полей, в том числе ударных и сверхсильных.
5. Теоретическое и экспериментальное изучение взаимодействия магнитной системы и различных видов излучений – оптического, рентгеновского, ядерного.
6. Изучение технических и технологических приложений физики магнитных явлений.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП АСПИРАНТУРЫ

Учебная дисциплина «Физика магнитных явлений» является основной дисциплиной вариативной части Блока 1 направления подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, направленность 01.04.11 «Физика магнитных явлений». Дисциплина необходима при подготовке выпускной квалификационной работы аспиранта и подготовке к сдаче кандидатского экзамена.

Для усвоения дисциплины обучаемый должен обладать базовой естественнонаучной подготовкой (общая физика, основные понятия квантовой физики, статистическая физика, высшая математика, информационные технологии и вычислительная математика). Дисциплина изучается на 1 и 2 курсах.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Физика магнитных явлений» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ООП по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия:

### **Общепрофессиональные компетенции**

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

### **Профессиональные компетенции:**

- способность проводить самостоятельные исследования в области физики магнитных явлений, владеть современными методами физического эксперимента, а также способность анализировать экспериментальные данные (ПК-1);
- способность принимать участие в развитии методов и методических подходов в научных исследованиях в области физики магнитных явлений (ПК-3).

В результате освоения дисциплины аспирант должен

**Знать:**

- современные достижения, проблемы и методологию теоретических и экспериментальных работ в области научных интересов, З1(ОПК-1);
- современные представления о природе магнитных явлений и их связи с другими физическими явлениями, фундаментальные законы электрических и магнитных явлений, магнитные свойства различных классов веществ и фазовые переходы, методы их теоретического описания, З1(ПК-1);
- современные расчетно-теоретические и экспериментальные методы в области физики магнитных явлений, З3(ПК-1);
- возможности и ограничения расчетно-теоретических и экспериментальных методов, З1(ПК-3).

**Уметь:**

- оценивать современное состояние исследований, анализировать известные результаты в области научных интересов, У1(ОПК-1);
- критически анализировать современные экспериментальные/ теоретические методы и методические подходы в научных исследованиях в области физики магнитных явлений, У1(ПК-3);
- применять базовые теоретические знания и методы физики магнитных явлений и физики конденсированного состояния в научных исследованиях, У2(ПК-1);
- выбирать и применять адекватные расчетно-теоретические методы, представлять математическое описание явлений, У3(ПК-1).

**Владеть:**

- современным состоянием исследований, методами и подходами решения научных задач в области научных интересов, В1(ОПК-1);
- научной терминологией, понятийным аппаратом, основами математического описания магнитных явлений, В1(ПК-1);
- теоретическими основами расчетных и экспериментальных методов и подходов физики магнитных явлений, В1(ПК-3).

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 8 зачетных единиц (ЗЕ), 288 академических часов.

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость дисциплины	288
Аудиторные занятия:	90
в т. числе:	
лекции	78
практические занятия (ПЗ)	12
семинарские занятия (СЗ)	
Самостоятельная работа и (или) другие виды самостоятельной работы (СР):	126
реферат	36
Вид промежуточного контроля (экзамен)	36

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№	Наименование раздела дисциплины	Общая трудоемкость в часах	Лекции	ПР	СР
1	Исторические этапы развития науки о магнетизме	4	2	0	2
2	Электрические поля, токи, магнитные поля	18	6	2	10
3	Магнитный момент и его взаимодействие с магнитными полями	18	6	2	10
4	Зависящие от времени поля и поляризованные электромагнитные волны	20	8	0	12
5	Обменное, спин-орбитальное и зеемановское взаимодействия	22	8	2	12
6	Электронные и магнитные взаимодействия в твердых телах	20	8	2	10
7	Спонтанная намагниченность, анизотропия, домены	22	8	0	14
8	Магнетизм металлов	22	8	2	12
9	Поляризованные электроны и магнетизм	22	8	2	12
10	Взаимодействие поляризованных фотонов с веществом	22	8	0	14
11	Актуальные вопросы магнетизма	26	8	0	18
	Реферат	36			
	Экзамен	36			
	<b>ИТОГО</b>	<b>288</b>	<b>78</b>	<b>12</b>	<b>126</b>

### 5.2 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1	Исторические этапы развития науки о магнетизме	Возникновение терминов. Магнетизм в эпоху древнего мира. Средневековая наука о магнетизме. Становление методов изучения физики магнитных явлений. Основные этапы открытий закономерностей общей физики магнетизма. Открытие уравнений Максвелла, как основополагающий этап развития физики магнитных явлений. Квантовая механика и магнетизм. Классификация веществ по магнитным характеристикам.
2	Электрические поля, токи, магнитные поля	Обозначения и единицы в магнетизме. Электрический ток и его магнитное поле. Магнитные и электрические поля внутри материалов. Связь трех векторов магнетизма в магнитных материалах. Свойства симметрии электрических и магнитных полей. (четность, обращение времени).
3	Магнитный момент и его взаимодействие с	Классическое определение магнитного момента. От классического квантово-механическому магнитному моменту. Магнетон Бора. Спиновый и орбитальный магнитный момент. Дипольный магнитный момент во внешних магнитных полях. Энергия магнитного диполя в магнитном поле.

	магнитными полями	Сила, действующая на магнитный диполь в неоднородном поле. Эксперимент Штерна-Герлаха. Момент вращения, действующий на магнитный момент в магнитном поле. Прецессия моментов. Затухание прецессии. Магнитный резонанс. Корреляция энергия-время. Принцип неопределенности Гайзенберга. Классическая спиновая прецессия. Квантово-механическая спиновая прецессия.
4	Зависящие от времени поля и поляризованные электромагнитные волны	Основные понятия релятивистского движения. Преобразования длины и времени между инерциальными системами. Преобразования электрических и магнитных полей между инерциальными системами. Поля равномерно движущихся зарядов. (характеристики полей, создание больших токов и магнитных полей, создание ультракоротких электронных импульсов и полей, временной характер полей). Поля неравномерно движущихся зарядов (создание ЭМ излучения, поляризованное рентгеновское излучение, синхротронное излучение, самые интенсивные и короткие импульсы излучения). Уравнения Максвелла и их симметрия. Уравнение электромагнитной волны. Напряженность, поток, энергия и момент ЭМ волн. Основные состояния поляризованных ЭМ волн. Угловой момент фотона. Основные состояния линейной поляризации. Основные состояния циркулярной поляризации. Хиральность и угловой момент в циркулярных ЭМ волнах. Естественная и эллиптическая поляризация. Степень поляризации фотонов. Прохождение электромагнитных волн через хиральные и магнитные среды.
5	Обменное, спин-орбитальное и зеемановское взаимодействия	Спин зависящий атомный гамильтониан (уравнение Паули). Взаимодействия между двумя частицами - аксиома симметрии и принцип запрета. Обменное взаимодействие. Электронный обмен в атомах. Электронный обмен в молекулах. Магнетизм и химическая связь. Гамильтонианы Гайзенберга и Хаббарда. Общие правила для электронного обмена. Тонкая структура в атомном спектре. Полуклассическая модель для спин-орбитального взаимодействия. Правило Хунда. Взаимодействие Зеемана. Отличия зеемановского и обменного расщеплений электронных состояний.
6	Электронные и магнитные взаимодействия в твердых телах	Отличия магнетизма локализованных и коллективизированных электронов. Соотношение величин взаимодействий в твердых телах. Зонная модель ферромагнетика. Нарушение кратности намагниченности число магнетонов Бора. Модель Стонера. Происхождение зонной структуры. Теория функционала плотности. Теория поля лиганда независимых электронов. Теория мультиплетного поля лиганда. Значимость электронных корреляций и возбужденных состояний. Корреляционные эффекты в редких землях и в оксидах переходных металлов. От коллективизированного к локализованному поведению: Хаббард, LDA+U модель, приближение динамического среднего поля. Магнетизм в оксидах переходных металлов. Суперобмен. Двойной обмен. Магнетизм магнетита. РККИ обмен. Локализованные спины в море электронов проводимости. Эффект Конда. Металлические многослойные системы. Спин-орбитальное взаимодействие: Природа магнитокристаллической анизотропии. Описание анизотропной связи. Связь, орбитальный момент и магнитокристаллическая анизотропия.
7	Спонтанная намагниченность, анизотропия, домены	Спонтанная намагниченность. Температурная зависимость намагниченности в приближении молекулярного поля. Температура Кюри в модели Вейса-Гайзенберга. Температура Кюри в модели Стонера. Тепловые возбуждения: спиновые волны. Критические флуктуации. Магнитная анизотропия. Анизотропия формы. Магнитокристаллическая

		анизотропия. Проявление поверхностной магнитной анизотропии. Магнитная микроструктура: магнитные домены и доменные стенки. Ферромагнитные домены. Антиферромагнитные домены. Кривые намагниченности и петли гистерезиса. Магнетизм малых частиц. Модели Нееля и Стонера-Вольфарта.
8	Магнетизм металлов	Результаты зонной теории для переходных металлов. Прогнозирование магнитных свойств. Редкоземельные металлы: отличия зонной теории от атомного поведения. Проверка зонной модели ферромагнетизма спектроскопическими исследованиями. Спин-разрешающая обратная фотоэмиссия. Сопротивление переходных металлов. Электропроводность немагнитных металлов. Двухтоковая модель. Анизотропное магнетосопротивление металлов. Электронные переходы с сохранением спина в металлах. Переходы с сохранением спина и фотоэмиссионная длина свободного пробега. Определение спин-зависящей длины свободного пробега с помощью магнитного туннельного транзистора. Полный эксперимент по спин-поляризованному переносу. Классификация переходов между состояниями с противоположными спинами.
9	Поляризованные электроны и магнетизм	Создание спин-поляризованных электронных пучков. Разделение двух спиновых состояний. GaAs спин-поляризованный электронный источник. Спин-поляризованные электроны и магнитные материалы. Формальное описание спин-поляризованных электронов (квантовое поведение спина, поляризация одиночного электрона в формализме спинора Паули, описание спин-поляризованного электронного пучка). Описание спиновых анализаторов и фильтров. Взаимодействие поляризованных электронов с материалами (прохождение пучка через спиновый фильтр, фундаментальные взаимодействия спин-поляризованного пучка с веществом, взаимодействие поляризованных электронов с магнитными материалами). Связь между поляризованными электронами и поляризованными фотонами. Рентгеновский эффект Фарадея и формализм Пуанкаре.
10	Взаимодействие поляризованных фотонов с веществом	Терминология эффектов, зависящих от поляризации. Полуклассическое рассмотрение рассеяния лучей зарядами и спинами. Рассеяние одиночным электроном. Рассеяние атомом. Полуклассическое рассмотрение резонансных взаимодействий. Рентгеновское поглощение. Резонансное рассеяние. Соотношение между резонансным рассеянием и поглощением. Квантово-теоретические принципы (одно электронная и конфигурационная картины рентгеновского поглощения, золотое правило Ферми и отношения Крамерса-Гайзенберга, резонансные процессы в аппроксимации электрического диполя, поляризационно-зависимый дипольный оператор, матричный элемент атомного перехода, матричный элемент перехода для атомов в твердом теле, ориентационно-усредненная интенсивность). Ориентационно-зависимая интенсивность: Анизотропии заряда и магнитного момента. Рентгеновское излучение и магнетизм: Спектроскопия и микроскопия.
11	Актуальные вопросы магнетизма	Поверхности и границы раздела ферромагнитных металлов: Эмиссия спин-поляризованных электронов из ферромагнитных металлов. Эмиссия электронов в вакуум. Туннелирование спин-поляризованных электронов между телами. Спин-поляризованная туннельная микроскопия. Отражение электронов от ферромагнитной поверхности. Статическое магнитное спаривание на границах раздела. Магнитостатическое спаривание. Прямое спаривание между магнитными слоями.

		<p>Индукционный магнетизм в парамагнетиках и диамагнетиках. Спаривание двух ферромагнетиков через немагнитную прослойку</p> <p>Электронный и спиновый транспорт: Токи через границы раздела ферромагнитных и немагнитных материалов. Напряжение спиновой аккумуляции в проводящих металлических контактах. Уравнение диффузии для спинов. Процессы спиновой релаксации, расстояния и времена. Гигантское магнетосопротивление (ГМС). Измерение диффузионной длины спина в немагнитных материалах. Типичные величины напряжения спиновой аккумуляции, сопротивление границы и ГМС эффект. Важная роль границ раздела в ГМС. Инжекция спинов в ферромагнетике. Происхождение и свойства моментов вращения инжектированных спинов. Перемагничивание спиновыми токами: общее представление. Намагничивание и перемагничивание спиновыми токами: эксперименты. Спиновые токи в металлах и полупроводниках.</p> <p>Транзисторы и усилители на основе спинов</p> <p>Сверхбыстрая магнитная динамика: Обмен энергией и угловым моментом между физическими резервуарами. Термодинамическое рассмотрение. Квантовомеханическое рассмотрение: значение орбитального момента. Спиновая релаксация и восприимчивость Паули. Экспериментальное измерение намагниченности после лазерного возбуждения. Измерение с помощью выхода спин-поляризованных фотоэлектронов. Измерение фотоэлектронами с разрешением по энергии со спиновым анализом и без него. Измерение магнитооптическим эффектом Керра. Динамика, возникающая при возбуждении импульсами магнитного поля. Возбуждение импульсами слабого магнитного поля. Возбуждение магнитным вихрем. Перемагничивание. Прецессионное перемагничивание в плоскости. Прецессионное перемагничивание в средах для перпендикулярной записи. Перемагничивание спиновой инжекцией и его динамика. О возможности чисто оптического перемагничивания. Оптическое управление намагниченностью. Динамика антиферромагнитных спинов.</p>
--	--	---

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Образовательные технологии

Обучение по дисциплине ведётся с применением как традиционных методов (лекции, практические занятия), так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах подразделений УдмФИЦ УрО РАН по профилю подготовки, представление докладов на научной конференции молодых ученых и молодежных научных школах, подготовка научных статей, подготовка презентаций по литературе для дополнительного изучения.

Аудиторные занятия, целью которых является освоение теоретических основ дисциплины, проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного оборудования. Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

Практические занятия (семинары) имеют своей целью освоение расчетно-теоретических методов, используемых при решении задач, развития навыков рационального выбора методов решения, подробное обсуждение отдельных тем дисциплины.

Самостоятельная работа аспирантов подразумевает углубленное освоение теоретического материала, выполнение индивидуальных заданий, подготовку к текущему,



промежуточному и итоговому контролю успеваемости. В целях формирования способности к критическому анализу информации и поиску путей решения поставленных задач в дальнейшей профессиональной деятельности используется технология проблемного обучения, требующая значительных временных ресурсов, что предусмотрено структурой дисциплины, и предполагает самостоятельную проработку учебно-проблемных задач аспирантами, выполняемую с привлечением основной и дополнительной литературы; поиск необходимой научно-технической информации в открытых источниках, консультации с преподавателем.

Самостоятельная работа аспирантов осуществляется: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на персональных рабочих местах аспирантов с доступом к ресурсам «Интернет», в научных подразделениях УдмФИЦ УрО РАН с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

## **6.2. Основные сведения об электронно-библиотечной системе**

Учебная, учебно-методическая и иные библиотечно-информационные ресурсы обеспечивают учебный процесс и гарантирует возможность качественного освоения аспирантом образовательной программы.

УдмФИЦ УрО РАН обеспечивает каждого аспиранта основной учебной и учебно-методической литературой, методическими пособиями, необходимыми для организации образовательного процесса по всем дисциплинам лицензируемых образовательных программ, в соответствии с требованиями к основной образовательной программе послевузовского профессионального образования и паспортом специальностей ВАК. Научно-техническая библиотека Центра удовлетворяет требованиям Примерного положения о формировании фондов библиотеки высшего учебного заведения, утвержденного приказом Минобрнауки России от 27.04.2000 № 1246.

Фонд научно-технической библиотеки насчитывает 56242 (11103) экземпляра книг и журналов. Ежегодно библиотека получает научные, научно-популярных и общественно-политические периодические издания. Формирование фонда библиотеки осуществляется в соответствии с профилем института, образовательными программами аспирантуры, тематикой научных исследований РАН.

## **6.3. Рекомендуемая основная литература:**

1. Петров, Ю.В. Основы физики конденсированного состояния. Учебное пособие/ Ю. В. Петров – Долгопрудный: ИД Интеллект, 2013.-216 с.
2. Мазалова, В.Л. Нанокластеры: рентгеноспектральные исследования и компьютерное моделирование/ В.Л. Мазалова, А.Н. Кравцова, А.В. Солдатов -М.: Физматлит, 2013.-184 с.
3. Vladimir, A. Electronic Structure of Strongly Correlated Materials/ V. Anisimov, Y. Izyumov- Springer Series in Solid-State Sciences, 2010. – 398 p.
4. Zhukov, A. Magnetic properties and applications of ferromagnetic microwires with amorphous and nanocrystalline structure/ A. Zhukov and V. Zhukova- New York: Nova Science Publishers, Inc., 2009.- 162 p.
5. Булавин, Л. А. Компьютерное моделирование физических систем / Л. А. Булавин, Н. В. Выгорницкий, Н. И. Лебовка - Долгопрудный: ИД Интеллект, 2011.- 349 с.
6. Астапенко, В.А. Взаимодействие излучения с атомами, молекулами и наночастицами/ В.А. Астапенко, – Долгопрудный: ИД Интеллект, 2010. -196 с.
7. Ирхин, В.Ю. Электронная структура, корреляционные эффекты и физические свойства d - и f-переходных металлов и их соединений/ В.Ю. Ирхин, Ю.П. Ирхин - М.: РХД, 2008. - 476 с.
8. Stohr, J. Magnetism From Fundamentals to Nanoscale Dynamics/ J. Stohr, H.C. Siegmann - Berlin Heidelberg New York: Springer, 2006.- 820 p

#### **6.4. Дополнительная литература:**

1. Вонсовский, С.В. Магнетизм/ С.В. Вонсовский - М.: Наука, 1971. -1032 с.
2. Вонсовский, С.В. Магнетизм микрочастиц / С.В. Вонсовский - М.: Наука, 1973. -283 с.
3. Кринчик Г.С. Физика магнитных явлений. М.: Изд-во Московского ун-та, 1985. -336 с.
4. Ландау, Л. Д. Теория поля/ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц–М.:Физматлит, 1988.- 536 с.
5. Ландау, Л. Д. Теория поля/ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц–М.:Физматлит, 2002.- 656 с.
6. Сликтер, Ч. Основы теории магнитного резонанса/ Ч. Сликтер –М.:Мир, 1981.-448 с.

#### **6.5. Программное обеспечение и интернет-ресурсы:**

##### **Специализированные пакеты программ:**

GNU Scientific Library ([www.gnu.org/software/gsl/](http://www.gnu.org/software/gsl/))  
GNU C++ ([gcc.gnu.org](http://gcc.gnu.org))

##### **Офисные программы:**

MS Office, ОС Linux и Windows:  
Ubuntu Linux ([www.ubuntu.com/](http://www.ubuntu.com/)),  
Gnuplot ([www.gnuplot.info](http://www.gnuplot.info)),  
OpenOffice ([www.openoffice.org](http://www.openoffice.org)),  
GIMP ([www.gimp.org](http://www.gimp.org)),  
LaTeX ([www.latex-project.org](http://www.latex-project.org))

##### **Основные Интернет-ресурсы:**

Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru/>  
Электронная библиотека диссертаций РГБ <http://www.diss.rsl.ru/>  
Web-кабинет ученого (ЦНБ УрО РАН) <http://i.uran.ru/webcab>  
Архив препринтов arXiv.org  
Журналы American Physical Society ([aps.org](http://aps.org))  
ж Физика металлов и металловедение <http://impo.imp.uran.ru/fmm>  
ж. Физика твердого тела <http://www.ioffe.ru/journals/ftt>  
ж. Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики <http://www.jetpletters.ac.ru>

## **7. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

### **7.1. Текущий контроль**

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, осуществляемая не реже 2-х раз в семестр. Текущий контроль знаний учащихся организован как устный опрос. Оценивание проводится преподавателем, ведущим дисциплину.

Текущая самостоятельная работа студента направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта.

### **7.2. Промежуточный контроль**

Промежуточный контроль осуществляется в соответствии с учебным планом. Оценка успеваемости аспиранта производится преподавателем, ведущим дисциплину на основе результатов текущего контроля.

По завершению первого года обучения аспирант на семинаре профильного подразделения УдмФИЦ УрО РАН представляет реферат по учебному материалу пройденных тем. Темы рефератов согласуются с ведущим преподавателем и руководителем аспиранта. Реферат сдается

преподавателю согласно графику учебного процесса. Реферат представляется на бумажном носителе. Защита реферата сопровождается компьютерной презентацией, отражающей его содержание.

### **7.3. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация завершает изучение дисциплины «Физика магнитных явлений». Форма аттестации – экзамен в письменной или устной форме. Экзаменационный билет состоит из двух вопросов из основной программы и одного специального вопроса по тематике диссертационной работы, из списка, утверждаемого на Ученом совете УдмФИЦ УрО РАН. На экзамене аспирант должен продемонстрировать высокий научный уровень и научные знания по дисциплине «Физика магнитных явлений».

#### **Примерные темы рефератов по дисциплине «Физика магнитных явлений»**

1. Исторические этапы развития науки о магнетизме.
2. Зависящие от времени поля и поляризованные электромагнитные волны.
3. Обменное, спин-орбитальное и зеемановское взаимодействия.
4. Соотношение величин взаимодействий в твердых телах.
5. От коллективизированного к локализованному поведению электронов в твердых телах.
6. Магнитная анизотропия.
7. Магнитная микроструктура: магнитные домены и доменные стенки, скирмионы.
8. Спин-поляризованная туннельная микроскопия.
9. Гигантское магнетосопротивление.
10. Сверхбыстрая магнитная динамика.

#### **Вопросы для экзамена (входят в программу кандидатского экзамена по специальности «Физика магнитных явлений»)**

1. Электрическое поле. Электрический ток и его магнитное поле.
2. Магнитные и электрические поля внутри материалов.
3. Классическое определение магнитного момента. Спиновый и орбитальный магнитный момент.
4. Дипольный магнитный момент во внешних магнитных полях.
5. Магнитно-силовой микроскоп.
6. Момент вращения, действующий на магнитный момент в магнитном поле.
7. Классическая спиновая прецессия. Квантово-механическая спиновая прецессия.
8. Основные понятия релятивистского движения.
9. Преобразования электрических и магнитных полей между инерциальными системами.
10. Поля равномерно движущихся зарядов.
11. Поля неравномерно движущихся зарядов.
12. Уравнения Максвелла и их симметрия.
13. Уравнение электромагнитной волны. Напряженность, поток, энергия и момент ЭМ волн. Основные состояния поляризованных ЭМ волн.
14. Угловой момент фотона. Основные состояния линейной поляризации. Основные состояния циркулярной поляризации. Хиральность и угловой момент в циркулярных ЭМ волнах.
15. Естественная и эллиптическая поляризация. Прохождение электромагнитных волн через хиральные и магнитные среды.
16. Эффекты Керра и Фарадея.
17. Спин зависящий атомный гамильтониан или уравнение Паули.
18. Магнитные взаимодействия.
19. Обменное взаимодействие.
20. Электронный обмен в атомах. Электронный обмен в молекулах.
21. Магнетизм и химическая связь.

22. Гамильтониан Гайзенберга. Гамильтониан Хаббарда.
23. Орбитальное взаимодействие. Тонкая структура в атомном спектре.
24. Полуклассическая модель для спин-орбитального взаимодействия. Спин-орбитальный гамильтониан.
25. Правило Хунда.
26. Взаимодействие Зеемана.
27. Магнетизма локализованных и коллективизированных электронов.
28. Соотношение величин взаимодействий в твердых телах. Зонная модель ферромагнетика. Нарушение кратности намагниченности числу магнетонов Бора. Модель Стонера.
29. Происхождение зонной структуры. Теория функционала плотности.
30. Теория поля лиганда независимых электронов. Теория мультиплетного поля лиганда.
31. Корреляционные эффекты в редких землях и в оксидах переходных металлов.
32. Модель Хаббарда и LDA+U, приближение динамического среднего поля.
33. Магнетизм в оксидах переходных металлов.
34. Суперобмен. Двойной обмен. РККИ обмен.
35. Спин-орбитальное взаимодействие. Природа магнитокристаллической анизотропии.
36. Описание анизотропной связи. Орбитальный момент и магнитокристаллическая анизотропия.
37. Спонтанная намагниченность. Температурная зависимость намагниченности в приближении молекулярного поля.
38. Температура Кюри в модели Вейса-Гайзенберга. Температура Кюри в модели Стонера.
39. Тепловые возбуждения. Критические флуктуации.
40. Магнитная анизотропия. Анизотропия формы. Магнитокристаллическая анизотропия. Проявление поверхностной магнитной анизотропии.
41. Магнитная микроструктура: магнитные домены и доменные стенки. Ферромагнитные домены. Антиферромагнитные домены.
42. Кривые намагниченности и петли гистерезиса. Магнетизм малых частиц. Модели Нееля и Стонера-Вольфарта.
43. Магнитные фазовые переходы.
44. Результаты зонной теории для переходных металлов. Основные результаты для плотности состояний.
45. Редкоземельные металлы: отличия зонной теории от атомного поведения.
46. Спин-разрешающая обратная фотоэмиссия.
47. Сопротивление переходных металлов. Электропроводность немагнитных металлов.
48. Анизотропное магнетосопротивление металлов. Электронные переходы с сохранением спина в металлах.
49. Переходы с сохранением спина и фотоэмиссионная длина свободного пробега.
50. Создание спин-поляризованных электронных пучков.
51. Спин-поляризованные электроны и магнитные материалы. GaAs спин-поляризованный электронный источник.
52. Формальное описание спин-поляризованных электронов .
53. Описание спиновых анализаторов и фильтров.
54. Взаимодействие поляризованных электронов с материалами.
55. Связь между поляризованными электронами и поляризованными фотонами. Рентгеновский эффект Фарадея и формализм Пуанкаре.

**7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций**

**Критерии оценки реферата**

Оценка «зачтено» ставится при:

- правильном, полном и логично построенном ответе;
- умении оперировать специальными терминами;
- использовании в ответе дополнительного материала;
- иллюстрировании теоретических положений практическим материалом.

Также оценка **«зачтено»** ставится при:

- в целом правильном и полном ответе с негрубыми ошибками или неточностями;
- умении оперировать специальными терминами;
- небольших затруднениях в использовании практического материала;
- не вполне законченных выводах или обобщениях, не носящих принципиального характера, когда установлено, что аспирант обладает необходимыми знаниями для последующего устранения указанных погрешностей под руководством преподавателя.

Оценка **«незачтено»** ставится при:

- схематичном неполном ответе;
- наличии одной грубой ошибки;
- неумении оперировать специальными терминами или их незнании;
- неумении приводить примеры практического использования научных знаний.

Оценка **«незачтено»** также ставится при:

- отсутствии текста реферата на бумажном носителе и компьютерной презентации, отражающей содержание реферата;
- ответе на вопросы с грубыми ошибками;
- неумении оперировать специальными терминами и их незнании;
- неумении приводить примеры практического использования научных знаний.

### **Критерии оценки знаний на экзамене**

Оценка **«отлично»** на экзамене ставится при:

- правильном, полном и логично построенном ответе;
- умении оперировать специальными терминами;
- использовании в ответе дополнительного материала;
- иллюстрировании теоретических положений практическим материалом.

Оценка **«хорошо»** на экзамене ставится при:

- в целом правильном и полном ответе с негрубыми ошибками или неточностями;
- умении оперировать специальными терминами;
- небольших затруднениях в использовании практического материала;
- не вполне законченных выводах или обобщениях.

Оценка **«удовлетворительно»** на экзамене ставится при:

- схематичном неполном ответе;
- наличии одной грубой ошибки;
- неумении оперировать специальными терминами или их незнании;
- неумении приводить примеры практического использования научных знаний.

Оценка **«неудовлетворительно»** на экзамене ставится при:

- ответе на все вопросы билета и наводящие вопросы с грубыми ошибками;
- неумении оперировать специальными терминами и их незнании;
- неумении приводить примеры практического использования научных знаний.

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

Научные подразделения УдмФИЦ УрО РАН располагают материально-технической базой, соответствующей действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебным планом аспиранта, а также эффективное выполнение диссертационной работы:

1. Компьютеры с пакетами прикладных программ;
2. Экспериментальное оборудование научных подразделений УдмФИЦ УрО РАН;
3. Доступ к библиотечному фонду УдмФИЦ УрО РАН, который укомплектован изданиями научной, учебной и иной литературы, включая периодические издания; к электронно-информационным ресурсам Центральной научной библиотеки УрО РАН и иным ресурсам научной литературы через Интернет.
4. Поддерживается официальный сайт Центра <http://udman.ru>, электронная почта.

Имеются учебные аудитории для проведения лекционных занятий, мультимедийное оборудование, программное обеспечение для компьютерных презентаций, обеспечен доступ аспирантов к компьютеру с выходом в Интернет.