

Приложение \_\_  
**УТВЕРЖДЕНО**  
**приказом по ФИЦ КазНЦ РАН**  
**\_\_ . \_\_ . 2018 № \_\_ -А**

Разработано и рекомендовано к утверждению  
Ученым советом КФТИ – обособленного  
структурного подразделения  
ФИЦ КазНЦ РАН  
«28» ноября 20 18 г., протокол № 33

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Физика магнитных явлений»**

Уровень высшего образования  
Подготовка кадров высшей квалификации  
Направление подготовки

**03.06.01 «ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ»**

Направленность подготовки:

01.04.11 «Физика магнитных явлений»

Квалификация выпускника:

Исследователь. Преподаватель-исследователь

## **Содержание:**

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения.
2. Перечень планируемых результатов обучения.
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
4. Трудоемкость дисциплины.
5. Содержание дисциплины.
6. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации, фонд оценочных средств.
7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины.
8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины.

### **1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения.**

- виды учебной деятельности: аудиторные занятия 1 зачетная единица труда (36 часов), самостоятельная работа 6 зачетных единиц труда (216 часов), всего 7 зачетных единиц труда (252 часа);
- форма проведения аудиторных занятий – лекции и семинары;
- в рамках часов самостоятельной работы по указанию преподавателя аспиранты прорабатывают темы и осваивают теоретические вопросы, излагаемые в лекционном курсе, а также самостоятельно изучают другие вопросы программы.

### **2. Перечень планируемых результатов обучения.**

*Целью* дисциплины «Физика магнитных явлений» является углубленное изучение фундаментальных основ магнетизма, природы происхождения магнетизма в различных материалах, характеристик, описывающих магнитные состояния и свойства магнитных материалов.

*Задачи* дисциплины заключаются в изучении:

- физики магнитных явлений в сильномагнитных веществах (ферромагнетиках, ферритах);
- квантовой природы магнетизма, энергетических соотношений в ферромагнетиках, обменного взаимодействия, магнитной анизотропии, доменной структуры ферромагнетиков в переменных магнитных полях;
- динамических явлений в ферромагнетиках;
- основных методов изучения характеристик магнитного поля и методики проведения эксперимента.

### **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.**

Дисциплина относится к *обязательным* дисциплинам, входит в состав Блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к вариативной части ОПОП

аспирантуры по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия», направленность (профиль) 01.04.11 «Физика магнитных явлений». Индекс (по учебному плану) – **Б1.В.ОД1**. Дисциплина изучается в 3 и 4 семестрах.

Материал, изучаемый в ходе освоения дисциплины, является обязательной составляющей экзамена кандидатского минимума по специальности 01.04.11 «Физика магнитных явлений». Освоение данной дисциплины дает возможность свободно ориентироваться в научной литературе по современным проблемам физики магнитных явлений, использовать ее методы и достижения в научных исследованиях и в преподавательской деятельности по основным программам высшего образования. Дополнением к данной дисциплине являются дисциплины по выбору: «Магнитный резонанс», дисциплина направленная на расширенное изучение теории магнитного резонанса, включая электронный парамагнитный резонанс, ферромагнитный резонанс, антиферромагнитный резонанс и ядерный магнитный резонанс; «Взаимовлияние магнетизма и сверхпроводимости» / «Магнетизм низкоразмерных систем», в которых учитывается специфика темы научно-квалификационной работы аспиранта. Изучение данной дисциплины базируется на вузовской подготовке студентов по высшей математике, общей и теоретической физике (разделы «Квантовая механика» и «Физика твердого тела»).

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

*универсальных*

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);

*общепрофессиональных*

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

- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2);

*профессиональных*

- способность проводить самостоятельные исследования в области физики магнитных явлений, владеть современными методами физического эксперимента, а также способность анализировать экспериментальные данные с целью исследования природы взаимовлияния сверхпроводимости и магнетизма, физических явлений в парамагнетиках, ферромагнетиках, в соединениях с магнитными фазовыми переходами, особенностей магнетизма в сильнокоррелированных электронных системах и нанообъектах (ПК-1);
- способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научных исследованиях в области физики магнитных явлений (ПК-3).

В результате освоения дисциплины аспирант должен

*Знать:*

- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области физики магнитных явлений (*шифр формируемого результата обучения З(УК-1)-1*);
- роль и место физики магнитных явлений в формировании современной физической картины мира, стадии ее эволюции и взаимосвязь с другими разделами физики (*шифр формируемого результата обучения З(УК-2)-2*);
- особенности научной терминологии, понятийный аппарат физики магнитных явлений, используемые при представлении результатов научной деятельности в устной и письменной форме (*шифр формируемого результата обучения З(УК-3)-1*);
- фундаментальные законы электрических и магнитных явлений (*шифр формируемого результата обучения З(ПК-1)-1*);
- электрические и магнитные свойства различных классов веществ (*шифр формируемого результата обучения З(ПК-1)-1*);
- существующие методы и методические подходы в научных исследованиях в области электричества и магнетизма и возможные способы их развития (*шифр формируемого результата обучения З(ПК-3)-1*);

*Уметь:*

- анализировать альтернативные варианты решения практических задач физики магнитных явлений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (*шифр формируемого результата обучения У(УК-1)-1*);
- выбирать и применять при решении задач электричества и магнетизма адекватные расчетно-теоретические методы, представлять математическое описание явлений (*шифр формируемого результата обучения У(ОПК-1)-1*);

*Владеть:*

- навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации в области физики магнитных явлений (*шифр формируемого результата обучения В(ОПК-1)-1*);
- навыками структурирования научного знания в области физики магнитных явлений (*шифр формируемого результата обучения В(ОПК-2)-1*);
- навыками проведения экспериментальных исследований магнитных веществ с использованием современной аппаратуры и методов интерпретации экспериментальных результатов (*шифр формируемого результата обучения В(ПК-1)-1*);

#### 4. Трудоемкость дисциплины.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, в том числе 1 ЗЕ аудиторных занятий и 6 ЗЕ самостоятельной работы.

№	Дисциплина	Курс	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)			
			Лекции	Практические занятия	Лаб. занятия	СР
1	Физика магнитных явлений	2	18	14	4	216

Форма итогового контроля – зачет; составляющая кандидатского экзамена по специальности 01.04.11 «Физика магнитных явлений».

#### 5. Содержание дисциплины.

5.1 Лекционные занятия 0,5 з.е. (18 часов)

№ п/п	Содержание
1	Спин электрона. Орбитальный магнитный момент оболочки многоэлектронного атома. Намагниченность. Магнитная

	восприимчивость и магнитная проницаемость. Теоремы о циркуляции векторов намагничивания, магнитной индукции и напряженности магнитного поля. Граничные условия. Классификация магнетиков. Основные типы магнитных состояний вещества.
2	Обобщенная восприимчивость. Соотношения Крамерса–Кронига. Флуктуационно-диссипационная теорема. Соотношение Онсагера. Вторичное квантование.
2	Магнитные свойства металлов и сверхпроводников. Поверхность Ферми. Магнетизм электронного газа. Паулиевский парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости. РККИ взаимодействие.
3	Слабые магнитные поля. Эффект де Гааза–Ван Альфена. Сильные магнитные поля. Эффект Шубникова де Гааза. Эффект Мейснера. Эффект Джозефсона.
4	Магнитные фазовые переходы и теория эффективного молекулярного поля Кюри–Вейса. Молекулярное поле и теория Гейзенберга магнетизма. Обменные интегралы. Формула Ланжевена и закон Кюри.
5	Магнитные ионы в кристалле, влияние поля лигандов. Замораживание орбитальных моментов. Метод спин-гамильтониана. Магнитные свойства переходных металлов.
6	Магнитные свойства полупроводников. Феноменологическая теория термомагнитных эффектов. Магнетосопротивление и эффект Холла. Термомагнитные явления в квантующемся магнитном поле.
7	Магнитооптические явления. Эффект Фарадея, эффект Коттона–Мутона (Фохта).
8	Магнитное охлаждение. Адиабатическое размагничивание. Схема для получения сверхнизких температур.
9	Ферромагнетизм в модели коллективизированных электронов. Критерий ферромагнетизма свободного ферми-газа. Спиновые волны. Квантование спиновых волн. Тепловое возбуждение магнонов. Упругое и неупругое рассеяние нейтронов.
10	Ферромагнетизм. Энергия анизотропии. Доменные границы. Происхождение доменов. Коэрцитивная сила и гистерезис.
12	Магнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс. Ширина резонансной линии. Сверхтонкое расщепление. Сдвиг Найта. Ядерный квадрупольный резонанс.
13	Электронный парамагнитный резонанс. Обменное сужение. Расщепление в нулевом поле.
14	Однодоменные ферромагнитные частицы. Температура блокировки. Суперпарамагнетизм. Насыщение.

15	Эффект Мессбауера и его применение в исследованиях магнетизма.
16	Влияние магнитного порядка на немагнитные свойства вещества. Вклад в теплоемкость. Эффект Кондо.

Самостоятельная работа 3 з.е. (108 часов)

5.2. Лабораторные занятия 0,4 з.е. (объём – 14 часов)

№ п/п	Примеры выполняемых экспериментальных работ
1	Измерение спектров ЭПР, работа в научно-технической лаборатории
2	Измерение спектров ЯМР, работа в научно-технической лаборатории

Самостоятельная работа 2,3 з.е. (84 часа)

5.3. Практические занятия – семинары 0,1 з.е. (4 часа).

№ п/п	Тематика семинаров
1	Изучение температурных зависимостей магнитной восприимчивости парамагнетика, ферромагнетика, антиферромагнетика.
2	Проникновение магнитного поля в сверхпроводник. Вихри.
3	Зависимость периода осцилляций от внешнего магнитного поля.
4	Обменное взаимодействие и его энергия. Косвенное обменное взаимодействие. Спин-орбитальное взаимодействие. Магнитное дипольное взаимодействие. Сверхтонкое взаимодействие. Взаимодействие Дзялошинского-Мория.
5	Расчет уровней энергии ионов группы железа в кристаллическом поле лигандов. Расчет эффективного g-фактора.
6	Теория фазовых переходов Ландау.
7	Ферромагнитный резонанс (без учета затухания и с учетом затухания). Влияние размеров образца, анизотропии, доменной структуры на резонансную частоту.
8	Магнитные вещества в переменных магнитных полях. Уравнение Ландау–Лифшица–Гильберта. Тензор магнитной восприимчивости и магнитной проницаемости.
9	Резонанс и релаксация доменных границ. Релаксационные процессы в ферромагнетиках. Магнитная вязкость. Предельная скорость движения границ.
10	Продольная и поперечная восприимчивость, их температурная зависимость. Спин-флоп и спин-флип переходы. Антиферромагнитные вещества.
11	Ферриты со структурой граната, шпинели, гексагональные ферриты. Геликоидальные магнетики. Применение ферритов в технике.

12	Слабый ферромагнетизм. Точка Морица. Взаимодействие Дзялошинского–Морица. Поведение слабых ферромагнетиков во внешнем магнитном поле.
13	Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.
14	Сверхпроводимость. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства.

Самостоятельная работа 0,7 з.е. (24 часа)

## **6. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации, фонд оценочных средств.**

Текущий контроль освоения дисциплины проводится регулярно, начиная со второй недели обучения, в форме контроля посещаемости, устного опроса по теме, анализа результатов решения практических задач и выполненных лабораторных работ.

Промежуточный контроль подразумевает проведение коллоквиума по учебному материалу нескольких тем.

Формой итогового контроля по дисциплине является зачет. Материал, освоенный при изучении дисциплины, является составляющей кандидатского экзамена по специальности 01.04.11 «Физика магнитных явлений».

### **6.1. Текущий контроль: Контрольные темы и вопросы для проведения текущего и итогового контроля по дисциплине «Физика магнитных явлений»:**

#### **Тема 1 Общие понятия:**

Магнетизм. Магнитное поле. Магнитный момент. Векторы магнитной индукции, намагниченности, напряженности магнитного поля. Магнитный поток. Магнитный заряд. Магнитный диполь. Теоремы о циркуляции. Граничные условия.

#### **Тема 2 Магнитные структуры и типы магнетиков:**

Упорядоченные магнитные структуры. Магнитная структура. Магнитная подрешетка. Ферромагнитная структура. Антиферромагнитная структура. Слабый ферромагнетизм. Ферримагнитная структура. Спиральная магнитная структура. Магнитная ячейка. Магнитная нейтронография. Неупорядоченные магнитные структуры. Спиновое стекло.



### **Тема 3 Магнитные взаимодействия:**

Обменное взаимодействие и его энергия. Косвенное обменное взаимодействие. Спин-орбитальное взаимодействие. Магнитное дипольное взаимодействие. Сверхтонкое взаимодействие.

### **Тема 4 Магнитная анизотропия**

Энергия магнитной анизотропии. Константы магнитной анизотропии. Эффективное магнитное поле анизотропии. Оси магнитной анизотропии. Плоскости легкого и трудного намагничивания. Магнитная анизотропии типа «легкая ось», «легкая плоскость». Наведенная магнитная анизотропия.

### **Тема 5 Магнитоупругие явления**

Магнитострикция. Магнитоупругая энергия. Магнитоупругие постоянные. Константы магнитострикции. Магнитоупругие волны. Магнитоупругое затухание.

### **Тема 6 Кинетические явления:**

Гальваномагнитные эффекты. Эффекты Холла. Магниторезистивные эффекты. Гальванотермомагнитные эффекты. Термомагнитные эффекты.

### **Тема 7 Домены и доменные границы:**

Магнитный домен. Доменная граница (Блоха, Нееля). Доменная структура. Полосовая и лабиринтная доменные структуры. Цилиндрический магнитный домен. Решетка ЦМД.

### **Тема 8 Процессы намагничивания, перемангничивания и размагничивания:**

Внешнее магнитное поле. Намагничивание. Гистерезис намагничивания. Эффект Баркгаузена. Магнитное насыщение. Подвижность и эффективная масса доменной границы. Перемангничивание. Коэрцитивная сила. Петля магнитного гистерезиса. Магнитные восприимчивость и проницаемость. Размагничивание переменным полем, нагревом. Размагничивающее и внутреннее магнитное поле.

### **Тема 9 Магнитные фазовые переходы и критические явления:**

Фазовый переход. Переходы первого и второго рода. Диаграмма состояний. Критическая температура. Температура Кюри. Температура Нееля.

### **Тема 10 Спиновые волны:**

Ферромагнитный резонанс. Магнитоэлектронные моды. Спиновые волны. Спин-волновой резонанс.

### **Тема 11 Магнитооптика:**

Магнитооптические эффекты: эффект Фарадея, эффект Коттона-Мутона, Эффект Керра. Фотомагнитные эффекты. Гиромагнитная среда.

### **Тема 12 Характеристики магнитных материалов:**

Магнито-мягкий материал. Магнито-твердый материал. Магнитный материал с прямоугольной петлей гистерезиса. Сверхвысокочастотный магнитный материал. Магнитный материал для постоянных магнитов. Магнитный материал для носителей записи. Материал с цилиндрическими магнитными доменами. Магнитоотрицательный материал. Материал для термомагнитной записи информации. Текстурированный магнитный материал.

### **Тема 13 Магнитные материалы:**

Феррит-гранат. Феррит-шпинель. Ортоферрит. Гексаферрит. Пермаллой.

### **Тема 14 Параметры магнитных материалов:**

Магнитные потери. Магнитные потери на гистерезис. Магнитные потери на вихревые токи. Магнитное сопротивление. Время и скорость перемагничивания. Коэффициент прямоугольности петли магнитного гистерезиса.

### **Тема 15 Магнитные свойства твердых тел:**

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля). Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферромагнетики. Магнитная структура ферромагнетиков. Спиновые волны, магноны. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

## Тема 16 Оптические и магнитооптические свойства твердых тел:

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса–Кронига. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра). Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

## Тема 17 Сверхпроводимость:

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

### 6.2. Критерии оценки и шкала оценивания результатов освоения дисциплины «Физика магнитных явлений»:

№ п/п	Результат освоения дисциплины	Балл	Показатели оценивания
<b>Знание</b>			
1.	методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области физики магнитных явлений	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
2.	роли и места физики магнитных явлений в формировании современной физической картины мира, стадии ее эволюции и взаимосвязи с другими разделами физики	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
3.	особенностей научной терминологии, понятийного аппарата физики магнитных явлений, используемых при представлении результатов научной деятельности в устной и письменной форме	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
4.	фундаментальных законов электрических и магнитных явлений	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
5.	электрических и магнитных свойств различных классов веществ	1	недостаточный уровень знания

		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
6.	Существующих методов и методических подходов в научных исследованиях в области электричества и магнетизма, и возможных способов их развития	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
<b>Умение</b>			
1.	анализировать альтернативные варианты решения практических задач физики магнитных явлений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	1	не умеет
		2	частично освоенное умение
		3	сформированное умение
2.	выбирать и применять при решении задач электричества и магнетизма адекватные расчетно-теоретические методы, представлять математическое описание явлений	1	не умеет
		2	частично освоенное умение
		3	сформированное умение
<b>Владение</b>			
1.	навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации в области физики магнитных явлений	1	не владеет
		2	частично освоенные навыки
		3	сформированные навыки
2.	навыками структурирования научного знания в области физики магнитных явлений	1	не владеет
		2	частично освоенные навыки
		3	сформированные навыки
3.	навыками проведения экспериментальных исследований магнитных веществ с использованием современной аппаратуры и методов интерпретации экспериментальных результатов	1	не владеет
		2	частично освоенные навыки
		3	сформированные навыки
<b>Итого баллов</b>		22–33	<b>«зачтено»</b>
		менее 22	<b>«не зачтено»</b>

**При отсутствии зачета обучающийся не допускается к промежуточной аттестации**

### **6.3. Промежуточная аттестация: кандидатский экзамен по утвержденной программе**

Кандидатский экзамен по дисциплине «Физика магнитных явлений» (01.04.11) проводится в устной форме по вопросам программы, на

экзамене предлагается три вопроса (без билетов). После устного ответа могут заданы дополнительные и уточняющие вопросы, не выходящие за пределы программы кандидатского экзамена.

#### 6.4. Критерии оценки промежуточной аттестации

<b>Отлично</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Все вопросы раскрыты полностью;</li> <li>– Обучающийся владеет основными теориями и глубоко понимает их содержание;</li> <li>– Имеет ясное представление связи теории и практики в рамках излагаемого материала;</li> <li>– Уверенно владеет необходимыми методами решения конкретных задач, может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами;</li> <li>– Ясно и четко дает основные определения. Владеет терминологическим и понятийным аппаратом;</li> <li>– Развернуто отвечает на дополнительные вопросы.</li> </ul>
<b>Хорошо</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Вопросы раскрыты по существу;</li> <li>– Обучающийся в целом владеет основными теориями и понимает их содержание;</li> <li>– Имеет общее представление о связи теории и практики в рамках излагаемого материала;</li> <li>– Владеет в целом необходимыми методами решения конкретных задач, может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами;</li> <li>– В достаточной мере владеет понятийным и терминологическим аппаратом;</li> <li>– Имеет затруднения при ответе на дополнительные вопросы.</li> </ul>
<b>Удовлетворительно</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Вопросы раскрыты, но не полностью;</li> <li>– Слабое понимание связи теории и практики;</li> <li>– Обучающийся может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами, но имеет затруднения при решении некоторых задач;</li> <li>– Обучающийся не демонстрирует уверенного владения понятийным и терминологическим аппаратом;</li> <li>– Дополнительные вопросы вызывают затруднение.</li> </ul>

<b>Неудовлетворительно</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Большая часть вопросов не раскрыта;</li> <li>- Обучающийся не может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами, не может применить теорию при решении конкретных задач;</li> <li>- Нет ответов на дополнительные вопросы.</li> </ul>
----------------------------	--

## **7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины.**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. С.В. Вонсовский. Магнетизм. – М.: Наука, 1984.
2. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978.
3. Ю. А. Изюмов, М. И. Кацнельсон, Ю. Н. Скрябин. Магнетизм коллективизированных электронов. – М.: Наука, 1994
4. В.Ф. Гантмахер, И.Б. Левинсон. Рассеяние носителей тока в металлах и полупроводниках. – М.: Наука, 1984.

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. И. Е. Иродов. Электромагнетизм. Основные законы. – М.: Физматлит, 2000.
2. С. Тикадзуми. Физика ферромагнетизма. Магнитные характеристики и практические применения. – М.: Мир, 1987.
3. Т. Мория. Спиновые флуктуации в магнетиках с коллективизированными электронами. – М.: Мир, 1988.
4. А. Абрагам., М. Гольдман. Ядерный магнетизм: порядок и беспорядок. Том 1-2. – М.: Мир, 1984.
5. М. М. Червинский, С. Ф. Глаголев, И. П. Горбунов. Магнитооптические методы и средства определения магнитных характеристик материалов. – Л.: Энергия Ленингр. отд-ние, 1980.
6. А.И. Ахиезер, И.А. Ахиезер. Электромагнетизм и электромагнитные волны. – М.: Высшая школа, 1985.
7. Р. Уайт. Квантовая теория магнетизма. – М.: Мир, 1985.
8. А. Абрагам, Б. Блини. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. Т.2. – М.: Мир, 1973
9. Ж. Винтер. Магнитный резонанс в металлах.– М.: Мир, 1976.

## **ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»**

### **I. НЕКОММЕРЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ БИБЛИОТЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ (ЭБС) СВОБОДНОГО ДОСТУПА**

- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)
- Электронная библиотека «Научное наследие России» <http://www.e-heritage.ru/index.html>
- Научная электронная библиотека КиберЛенинка <http://www.cyberleninka.ru/>
- Полнотекстовая электронная библиотека РФФИ <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library>
- Электронная библиотека ИФТТ РАН <http://www.issp.ac.ru/libcatm/elib.html>
- Электронная библиотека международного научно-образовательного сайта EqWorld – <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>
- Библиотека международного издательства INTECHOPEN – <http://www.intechopen.com/>

### **II. РЕФЕРАТИВНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ И НАУЧНЫЕ ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ**

- Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) [http://elibrary.ru/project\\_risc.asp](http://elibrary.ru/project_risc.asp)
- Международная реферативная база по физике, астрономии, теории частиц ADS(NASA) <http://adsabs.harvard.edu/>
- Directory of Open Access Journals (DOAJ) <http://www.doaj.org>
- Directory of Open Access Books (DOAB) <http://doabooks.org/>
- ArXiv: Open access to 1,146,534 e-prints in Physics, Mathematics, Computer Science, Quantitative Biology, Quantitative Finance and Statistics (Электронный архив публикаций библиотеки Корнелльского университета) <http://xxx.lanl.gov/archive>
- Science Research Portal – научно-поисковая система, осуществляющая полнотекстовый поиск в журналах многих крупных научных издательств, таких как Elsevier, Highwire, IEEE, Nature, Taylor & Francis и др., в открытых научных базах данных: Directory of Open Access Journals, Library of Congress Online Catalog, Science.gov и Scientific News <http://www.scienceresearch.com>

### **III. ЖУРНАЛЫ И КНИГИ**

- Nature Communications <http://www.nature.com/ncomms/index.html>

- Physical Review X <http://journals.aps.org/prx/>
- Scientific Reports <http://www.nature.com/srep/>
- New Journal of Physics <http://iopscience.iop.org/journal/1367-2630>
- Журналы физико-технического института им А.Ф. Иоффе РАН: «Журнал технической физики», «Письма в журнал технической физики», «Физика твердого тела», «Физика и техника полупроводников» <http://journals.ioffe.ru/>
- Труды института общей физики им. А.М. Прохорова РАН <http://www.gpi.ru/trudgpi.php>
- Physics Books – Free Computer Books <http://www.freebookcentre.net/Physics/Physics-Books-Online.html>
- List of Free Physics Books | Physics Database <http://physicsdatabase.com/free-physics-book>

#### IV. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И СПРАВОЧНЫЕ РЕСУРСЫ «ИНТЕРНЕТ»

- Российское магнитное общество <http://www.amtc.ru/mago/>
- European community of Magnetism <http://magnetism.eu>
- International Society of Magnetic Resonance <https://www.weizmann.ac.il/ISMAR/education>
- ETH Zurich group about EPR <http://www.epr.ethz.ch>
- Molecular magnetism <http://www.molmag.de>
- Magnetic Resonance Imaging <http://www.magnetic-resonance.org>
- Техническая библиотека <http://techlibrary.ru/>
- Библиотека Гумер. Гуманитарные науки. [http://www.gumer.info/bibliotek\\_Buks/Pedagog/](http://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Pedagog/)
- Федеральный портал «Российское образование» [www.edu.ru](http://www.edu.ru)
- Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» <http://window.edu.ru/>
- Специализированный портал по информационно-коммуникационным технологиям в образовании <http://www.ict.edu.ru/>
- Информационная справочно-правовая система «Консультант плюс» <http://www.consultant.ru/> (некоммерческая версия)
- Справочно-информационный портал ГРАМОТА.РУ <http://www.gramota.ru/>

#### **8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины.**

Обучение по дисциплине ведётся с применением как традиционных методов (лекции, практические занятия, лабораторные работы), так и с



использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах подразделений КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН по профилю подготовки, представление докладов на научной конференции молодых ученых КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН 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.

В ходе лабораторных занятий аспирантам предоставляется возможность на практике освоить технику проведения базовых экспериментов, изучить специфику экспериментальных исследований, познакомиться с принципами работы и возможностями экспериментальной аппаратуры и оборудования, используемого при проведении научных исследований в области физики магнитных явлений, а также методами интерпретации экспериментальных результатов.

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

КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

#### **Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

- библиотека с читальным залом, книжный фонд которой составляет специализированная методическая и учебная литература, научная периодика;
- зал, оснащённый стационарным проектором, экраном и обычной доской – для проведения лекционных занятий;
- учебная аудитория, оснащенная переносными проектором и экраном для проведения практических занятий;
- индивидуальные рабочие места аспирантов, оснащенные персональным компьютерами с доступом к сети «Интернет», локальной сети и электронной информационно-образовательной среде ФИЦ КазНЦ РАН.

В учебном процессе аспиранты используют современное научное оборудование профильных подразделений КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН:

- Импульсный спектрометр ЯМР Avance 400;
- Импульсные спектрометры ЭПР Elexsys E-580 и Elexsys E680, работающие в X-, Q- и W-диапазонах. Спектрометры позволяют записывать спектры ЭПР как в стандартном режиме с модуляцией внешнего магнитного поля, так и в виде зависимости амплитуды электронного спинового эха от величины магнитного поля, измерять времена спин-решеточной и спин-спиновой релаксаций, проводить эксперименты в режимах импульсных двойных электронно-ядерного и электрон-электронного резонансов, проводить одномерные и двумерные измерения модуляции огибающей амплитуды электронного эха.
- Спектрометр EMXplus 2007 г. вып, для исследования в стационарном режиме стабильных парамагнитных центров в X-диапазоне.
- Спектрометр ELESXYS E540 2007 г. вып., работающий в L-диапазоне на частоте 1 ГГц, снабженный устройством для ЭПР-томографии и оптимизированный для исследования биологических объектов.
- Спектрометр ЭПР, работающий в диапазоне частот 65–535 ГГц. Оснащен лазерным источником излучения, интерферометром, дифракционной решёткой, фотоумножителем и многоэлементными приёмниками излучения.
- Спектрометр оптико-магнитного резонанса с возможностью оптического детектирования ЭПР. Спектрометр позволяет в температурном диапазоне 2–300 К измерять оптические спектры поглощения, люминесценции, возбуждения люминесценции, исследовать ап-конверсионные процессы, осуществлять оптическое детектирование ЭПР (ОДЭПР) и двойного

электронно-ядерного резонанса (ОДДЭЯР). Диапазон длин волн оптического излучения: 200–2000 нм, частота микроволнового излучения 9.0–37.0 ГГц, частота накачки ядерных спинов 1–1000 МГц.

- Время-разрешенный ЭПР-спектрометр X-диапазона, созданный на основе спектрометра ЭПР ER 200E производства фирмы «Bruker», Германия, в 2006 г. Спектрометр снабжен импульсным наносекундным лазером и модернизирован для изучения временной эволюции сигналов короткоживущих состояний с временным разрешением  $\sim 80$  нс.
- Спектрометр ЭПР BER 418 S производства фирмы «Bruker», Германия, в 2008 г. оснащен специализированным криостатом производства РИЦ "Курчатовский институт", позволяющим проводить измерения при сверхнизких температурах до 0,4 К.

## **9. Язык преподавания: русский**