

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

УТВЕРЖДЕНО

приказом ФИЦ КазНЦ РАН

от 01.03.2019 № 9-А

Разработано и рекомендовано к утверждению
Ученым советом

КФТИ - обособленного структурного
подразделения ФИЦ КазНЦ РАН

28 ноября 2018 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: аудиторские занятия 1 зачетная единица труда (36 часов), самостоятельная работа 7 зачетных единиц труда (252 часа), всего 8 зачетных единиц труда (288 часов).

Форма проведения аудиторских 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.

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 нанобъектах (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*);

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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.

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»).

4. Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, в том числе 1 **ЗЕ** аудиторных занятий и 7 **ЗЕ** самостоятельной работы.

№	Дисциплина	Курс	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)			
			Лекции	Практические занятия	Лаб. занятия	Самостоятельная работа
1	Физика магнитных явлений	2	18	14	4	252

5. Содержание дисциплины

5.1. Лекционные занятия

(аудиторная нагрузка 18 часов, самостоятельная работа 126 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 квантуемом 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.

5.2. Лабораторные занятия

(аудиторная нагрузка 14 часов, самостоятельная работа 93 часа)

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

5.3. Практические занятия

(аудиторная нагрузка 4 часа, самостоятельная работа 33 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 Морина. Взаимодействие Дзялошинского–Мория. 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.

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.

Формой промежуточной аттестации является кандидатской экзамена по специальности 01.04.011 - 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, перемагничивания и размагничивания:

Внешнее магнитное поле. Намагничивание. Гистерезис намагничивания. Эффект Баркгаузена. Магнитное насыщение. Подвижность и эффективная масса доменной границы. Перемагничивание. 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. Магнитостатические моды. Спиновые волны. Спин-волновой резонанс.

Тема 11 Магнитооптика:

Магнитооптические эффекты: эффект Фарадея, эффект Коттона-Мутона, Эффект Керра. Фотомагнитные эффекты. Гирромагнитная 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. Магнитострикционный 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. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков. 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
Знание			
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
Умение			
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
Владение			
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
Итого баллов		22–33	«зачтено»
		менее 22	«не зачтено»

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

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

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

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

7.1. ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

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

7.2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

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

7.3. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»

7.3.1. НЕКОММЕРЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ БИБЛИОТЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ (ЭБС) СВОБОДНОГО ДОСТУПА

- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU 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/>

7.3.2. РЕФЕРАТИВНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ И НАУЧНЫЕ ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 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>
- Directory of Open Access Books (DOAB) <http://doabooks.org/>
- Directory of Open Access Journals (DOAJ) <http://www.doaj.org>
- 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>
- Международная реферативная база по физике, астрономии, теории частиц ADS(NASA) <http://adsabs.harvard.edu/>
- Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) http://elibrary.ru/project_risc.asp

7.3.3. ЖУРНАЛЫ И КНИГИ

- List of Free Physics Books | Physics Database <http://physicsdatabase.com/free-physics-book>
- Nature Communications <http://www.nature.com/ncomms/index.html>
- New Journal of Physics <http://iopscience.iop.org/journal/1367-2630>
- Physical Review X <http://journals.aps.org/prx/>

- Physics Books – Free Computer Books
<http://www.freebookcentre.net/Physics/Physics-Books-Online.html>
- Scientific Reports <http://www.nature.com/srep/>
- 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>

7.3.4. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И СПРАВОЧНЫЕ РЕСУРСЫ «ИНТЕРНЕТ»

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