

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

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

«Магнитный резонанс»

Уровень высшего образования

Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки

03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Направленность подготовки:

Физика магнитных явлений (01.04.11)

Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества
(01.04.17)

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, лабораторные и практические занятия.

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);

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 (направленность Физика магнитных явлений)

- 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);

профессиональных (направленность Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества)

- способность проводить самостоятельные исследования в области химической физики, владеть современными методами физического эксперимента, а также способность анализировать экспериментальные данные с целью исследования термодинамики и кинетики химических реакций, фазовых равновесий в одно- и многокомпонентных системах, процессов адсорбции, гомогенного и гетерогенного катализа (ПК-1);
- способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научных исследованиях в области химической физики (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 магнитного резонанса;
- роль и место теории магнитного резонанса в формировании современной физической картины мира, стадии ее эволюции и взаимосвязь с другими разделами физики;
- особенности научной терминологии, понятийный аппарат теории магнитного резонанса, используемые при представлении результатов научной деятельности в устной и письменной форме;
- основы теории магнитного резонанса, включая электронный парамагнитный резонанс, ферромагнитный резонанс, антиферромагнитный резонанс и ядерный магнитный резонанс;
- технику ЭПР и ЯМР спектроскопии, ЯМР томографии, криогенную технику;
- существующие методы анализа и интерпретации спектров ЭПР и ЯМР и возможные способы их развития;

Уметь:

- анализировать альтернативные варианты решения практических задач магнитного резонанса и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов;
- выбирать и применять при решении задач магнитного резонанса адекватные экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования;

Владеть:

- навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации в области магнитного резонанса;
- навыками получения информации на основе анализа спектров ЭПР и ЯМР о фундаментальных физических взаимодействиях и процессах, таких как сверхтонкое электрон-ядерное, дипольное и обменное взаимодействия, влияние поля лигандов и движения спинов, фазовая и спин-решеточная релаксация магнитных моментов.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Целью дисциплины «Магнитный резонанс» является изучение основ теории магнитного резонанса, включая электронный парамагнитный резонанс, ферромагнитный резонанс, антиферромагнитный резонанс и ядерный магнитный резонанс. Предполагается освоение методов анализа и интерпретации спектров ЭПР и ЯМР, получения информации о фундаментальных физических взаимодействиях и процессах, таких как сверхтонкое электрон-ядерное, дипольное и обменное взаимодействия, влияние поля лигандов и движения спинов, фазовая и спин-решеточная релаксация магнитных моментов. Программой курса предусмотрен значительный объем практических работ, выполняемых на современном экспериментальном оборудовании.

Дисциплина относится к *дисциплинам по выбору*, входит в состав Блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к вариативной части ОПОП аспирантуры по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия», направленностей (профилей) Физика магнитных явлений (01.04.11) и Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества (01.04.17). Индекс (по учебному плану) – **Б1.В.ОД2**. Дисциплина изучается на втором курсе.

Актуальность курса обусловлена большой практической значимостью методов магнитного резонанса для исследования новых соединений, разработки материалов с заданными магнитными свойствами, для реализации квантовых вычислений на основе техники ядерного магнитного резонанса и электронного парамагнитного резонанса.

В курсе используются представления смежных областей физики: квантовой механики, квантовой электроники, электродинамики.

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 (в часах)			
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1	Магнитный резонанс	2	16	10	10	216

5. Содержание дисциплины

5.1 Лекционные занятия

(аудиторная нагрузка 16 часов, самостоятельная работа 96 часов)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
-------	---------------------------------	--------------------

1.	Электронные и ядерные магнитные моменты в магнитном поле	Магнитные моменты атомов и молекул. Магнетон Бора. Строение электронных оболочек переходных и редкоземельных атомов. Правила Хунда. Термы. Магнитные моменты ядер. Прецессия магнитного момента в магнитном поле. Эффект Зеемана. Резонансное поглощение квантов электромагнитного поля.
2.	Электронный парамагнитный резонанс	Суть явления ЭПР. Классическое рассмотрение магнитного резонанса. Уравнения Блоха. Квантово-механическое рассмотрение явления магнитного резонанса. Спиновый гамильтониан. g-фактор. Влияние кристаллических полей, тонкая и сверхтонкая структуры. Анизотропия спектров ЭПР парамагнитных центров. Диполь-дипольное взаимодействие. Уширение резонансной линии. Обменное взаимодействие. Сужение спектра ЭПР. Форма линий ЭПР. Лоренц. Гаусс. Дайсон. Ширина линии. Однородное и неоднородное уширение. Спин-спиновые взаимодействия. Механизмы и времена спиновой релаксации. Спин-фононные взаимодействия и спин-решеточная релаксация.
3.	Электронный парамагнитный резонанс в металлах и сверхпроводниках	Электроны проводимости и локализованные магнитные моменты. Парамагнетизм Паули, интенсивность сигнала ЭПР. Скин-эффект и форма линии ЭПР в металлах, теория Дайсона. Спин-орбитальное взаимодействие и сдвиг сигнала ПР электронов проводимости. Спиновая релаксация в чистых металлах. Релаксация на примесях. Магнитный резонанс в сверхпроводниках. Влияние вихревой решетки на форму сигнала.
4.	Ферромагнитный резонанс	Суть и особенности ферромагнитного резонанса. Эффекты, связанные с формой образца. Влияние кристаллической магнитной анизотропии на резонансную частоту. Спин-волновой резонанс. Суперпарамагнетизм и магнитный резонанс

5.	Антиферромагнитный резонанс	Энергетическая щель антиферромагнетика. Релятивистские и обменные моды. Две ветви АФМР. Поле Дзялошинского и поле анизотропии.
6.	Техника ЭПР-спектроскопии	Схема ЭПР спектрометра. Определение g-фактора. Определение концентрации парамагнитных центров. Релаксометр ЭПР. Методы измерения времен спиновой релаксации. Метод двойного электрон-ядерного резонанса.
7.	Криогенная техника	Криогенные жидкости, их свойства и методы получения. Азотный криостат. Гелиевый криостат. Проточный криостат. Термостатирование. Измерение низких температур. Виды термодатчиков.
8.	Ядерный магнитный резонанс	Явление ядерного магнитного резонанса. Протонный магнитный резонанс. Химический сдвиг. Спин-спиновое взаимодействие. Спектры ЯМР органических соединений. Сужение линий, обусловленное движением спинов и обменным взаимодействием. ЯМР в металлах. Сдвиг Найта. Корринговская релаксация. Времена ядерной релаксации. Импульсный ЯМР. Спад свободной индукции. Фурье-спектроскопия. Устройство ЯМР спектрометра.
9.	Магнитно-резонансная томография	Градиент магнитного поля. Частотное кодирование. Метод обратного проецирования. Преобразование Фурье в ЯМР томографии. Разрешение изображения. Основные методы томографии (Многослойная томография, Спин-эхо томография, Томография инверсия-восстановление, Томография градиентное эхо). Контраст изображения. Устройство ЯМР-томографа и аппаратура для томографии

5.2. Лабораторные занятия

(аудиторная нагрузка 10 часов, самостоятельная работа 60 часов)

№ п/п	Наименование дисциплины	раздела	Примеры выполняемых экспериментальных работ
-------	-------------------------	---------	---

1	Электронный парамагнитный резонанс. Спиновый гамильтониан. Тонкая структура и анизотропия спектров ЭПР парамагнитных центров.	Регистрация и анализ спектров ЭПР ионов хрома в кристаллах рубина
2	Электронный парамагнитный резонанс. Обменное взаимодействие. Сужение спектра ЭПР.	Регистрация спектров ЭПР дифенил-пикрилгидразила (ДФПГ). Порошок и раствор в бензоле разной концентрации. Определение константы сверхтонкого взаимодействия и оценка величины обменного интеграла.
3	Электронный парамагнитный резонанс в металлах	Спектры парамагнитного резонанса электронов проводимости частиц лития в матрице кристалла LiF. Анализ формы линии. Оценка соотношения размеров частиц и глубины скин-слоя, времени спиновой релаксации и времени диффузии.
4	Ферромагнитный резонанс. Эффекты, связанные с формой образца.	Получение и анализ угловой зависимости резонансного поля ФМР тонкой пленки манганита $La_{1-x}Ca_xMnO_3$ при температурах, выше и ниже точки Кюри.
5	Ядерный магнитный резонанс. Протонный магнитный резонанс. Химический сдвиг. Спин-спиновое взаимодействие. Спектры ЯМР органических соединений.	Анализ спектров ЯМР протонов в этиловом спирте (CH_3CH_2OH). Сигналы от протонов метильной (CH_3), метиленовой (CH_2) и гидроксильной (OH) групп.

5.3. Практические занятия

(аудиторная нагрузка 10 часов, самостоятельная работа 60 часов)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика семинаров
1	Электронный парамагнитный резонанс. Спиновый гамильтониан. g-фактор. Влияние кристаллических полей. Тонкая структура и	Интерпретация спектра ЭПР с помощью спинового гамильтониана. Пример: вид спинового гамильтониана в случае поля лигандов аксиальной симметрии.

	анизотропия спектров ЭПР парамагнитных центров.	
2	Электронный парамагнитный резонанс. Тонкая и сверхтонкая структура спектров ЭПР.	Расчет сверхтонкой структуры спектра ЭПР для случая сильного магнитного поля.
3	Электронный парамагнитный резонанс в металлах.	Форма линии ЭПР в металлах. Теория Дайсона. Влияние проводимости, глубины скин-слоя, подвижности электронов, спиновой релаксации и геометрических размеров образца.
4	Ферромагнитный резонанс. Эффекты, связанные с формой образца.	Поведение параметров резонансного сигнала (положение, ширина и форма линии, интегральная интенсивность) выше и ниже температуры упорядочения
5	Ядерный магнитный резонанс. Протонный магнитный резонанс. Химический сдвиг. Спин-спиновое взаимодействие. Спектры ЯМР органических соединений.	Связь химического сдвига и констант спин-спинового взаимодействия со строением молекул органических соединений.

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.

6.1. Контрольные темы и вопросы для проведения текущего и итогового контроля:

Тема 1. Электронные и ядерные магнитные моменты в магнитном поле

1. Магнитные моменты атомов и молекул. Магнетон Бора.
2. Строение электронных оболочек переходных и редкоземельных атомов. Правила Хунда. Термы.
3. Квантовомеханическая модель изолированного протона. Магнитные свойства ядер.

4. Прецессия магнитного момента в магнитном поле. Эффект Зеемана. Резонансное поглощение квантов электромагнитного поля.

Тема 2. Электронный парамагнитный резонанс

1. Суть явления ЭПР. Классическое рассмотрение магнитного резонанса. Уравнения Блоха. Квантово-механическое рассмотрение явления магнитного резонанса.

2. Спиновый гамильтониан. g -фактор. Влияние кристаллических полей, тонкая и сверхтонкая структуры. Анизотропия спектров ЭПР парамагнитных центров.

3. Диполь-дипольное взаимодействие. Уширение резонансной линии

4. Обменное взаимодействие. Сужение спектра ЭПР.

5. Форма линий ЭПР. Лоренц. Гаусс. Дайсон.

6. Ширина линии. Однородное и неоднородное уширение. Спин-спиновые взаимодействия.

7. Механизмы и времена спиновой релаксации. Спин-фононные взаимодействия и спин-решеточная релаксация.

Тема 3. Электронный парамагнитный резонанс в металлах и сверхпроводниках

1. Электроны проводимости и локализованные магнитные моменты.

2. Парамагнетизм Паули, интенсивность сигнала ЭПР.

3. Скин-эффект и форма линии ЭПР в металлах, теория Дайсона.

4. Спин-орбитальное взаимодействие и сдвиг сигнала ЭПР электронов проводимости. Спиновая релаксация в чистых металлах. Релаксация на примесях.

5. Магнитный резонанс в сверхпроводниках. Влияние вихревой решетки на форму сигнала.

Тема 4. Ферромагнитный резонанс

1. Суть и особенности ферромагнитного резонанса.

2. Размагничивающее поле образцов разной формы. Угловая зависимость, связанная с формой образца.

3. Влияние кристаллической магнитной анизотропии на резонансную частоту.

4. Спин-волновой резонанс.

5. Суперпарамагнетизм и магнитный резонанс

Тема 5. Антиферромагнитный резонанс

1. Энергетическая щель антиферромагнетика.

2. Релятивистские и обменные моды. Две ветви АФМР.

3. Поле Дзялошинского и поле анизотропии.

Тема 6. Техника ЭПР-спектроскопии

1. Схема ЭПР спектрометра.

2. Определение g -фактора.

3. Определение концентрации парамагнитных центров.

4. Релаксометр ЭПР. Методы измерения времен спиновой релаксации.

5. Метод двойного электрон-ядерного резонанса

Тема 7. Криогенная техника

1. Криогенные жидкости, их свойства и методы получения.
2. Азотный криостат.
3. Гелиевый криостат.
4. Проточный криостат.
5. Термостатирование.
6. Измерение низких температур. Виды термодатчиков.

Тема 8. Ядерный магнитный резонанс

1. Явление ядерного магнитного резонанса.
2. Протонный магнитный резонанс.
3. Химический сдвиг. Спин-спиновое взаимодействие. Спектры ЯМР органических соединений.
4. Сужение линий, обусловленное движением спинов и обменным взаимодействием.
5. ЯМР в металлах. Сдвиг Найта. Корринговская релаксация
6. Времена ядерной релаксации.
7. Импульсный ЯМР. Спад свободной индукции. Фурье-спектроскопия.
8. Устройство ЯМР спектрометра.

Тема 9. Магнитно-резонансная томография

1. Градиент магнитного поля. Частотное кодирование. Метод обратного проецирования.
2. Преобразование Фурье в ЯМР томографии.
3. Разрешение изображения.
4. Основные методы томографии: многослойная томография, спин-эхо томография, томография инверсия-восстановление, томография - градиентное эхо.
5. Контраст изображения.
6. Устройство ЯМР-томографа и аппаратура для томографии.

6.2. Критерии оценки и шкала оценивания результатов освоения дисциплины «Магнитный резонанс»:

№ 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 магнитного резонанса	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
2.	роли и места теории магнитного резонанса в формировании современной	1	недостаточный уровень знания

	физической картины мира, стадий ее эволюции и взаимосвязи с другими разделами физики;	2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
3.	особенностей научной терминологии, понятийного аппарата теории магнитного резонанса, используемых при представлении результатов научной деятельности в устной и письменной форме	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
4.	основ теории магнитного резонанса, включая электронный парамагнитный резонанс, ферромагнитный резонанс, антиферромагнитный резонанс и ядерный магнитный резонанс	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
5.	техники ЭПР и ЯМР спектроскопии, ЯМР томографии, криогенной техники	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
6.	существующих методов анализа и интерпретации спектров ЭПР и ЯМР 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 магнитного резонанса 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 магнитного резонанса адекватные экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования	1	не умеет
		2	частично освоенное умение
		3	сформированное умение
Владение			
1.		1	не владеет

	навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации в области магнитного резонанса	2	частично освоенные навыки
		3	сформированные навыки
2.	навыками получения информации на основе анализа спектров ЭПР и ЯМР о фундаментальных физических взаимодействиях и процессах, таких как сверхтонкое электрон-ядерное, дипольное и обменное взаимодействия, влияние поля лигандов и движения спинов, фазовая и спин-решеточная релаксация магнитных моментов.	1	не владеет
		2	частично освоенные навыки
		3	сформированные навыки
Итого баллов		20–30	«зачтено»
		менее 20	«не зачтено»

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

7.1. ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшулер С.А., Козырев Б.М. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. – М.: Наука, 1972.
2. Вонсовский С.В. Магнетизм. – М.: Наука, 1984.
3. Гюнтер Х. Введение в курс спектроскопии ЯМР. – М.: Мир, 1984.
4. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978.

7.2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Абрагам А., Блيني Б. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. Т.2. – М.: Мир, 1973
2. Ахиезер А.И., Ахиезер И.А. Электромагнетизм и электромагнитные волны. – М.: Высшая школа, 1985.
3. Винтер Ж. Магнитный резонанс в металлах.– М.: Мир, 1976.
4. Гуревич А.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках.– М.: Наука, 1973.
5. Салихов К.М., Семенов А.Г., Цветков Ю.Д. Электронное спиновое эхо и его применение. – Новосибирск: Наука, 1976.
6. Сликтер Ч. Основы теории магнитного резонанса. – М.: Мир, 1981.
7. Уайт Р. Квантовая теория магнетизма. – М.: Мир, 1985.

8. Хеберлен У., Меринг М. ЯМР высокого разрешения в твердых телах. – М.: Мир, 1980.

7.3. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»

- http://chemwiki.ucdavis.edu/Physical_Chemistry/Spectroscopy/Magnetic_Resonance_Spectroscopies/EPR – «Electron Paramagnetic Resonance»
- http://joule.qfa.uam.es/epr/tutorial_uk/index.html – «Analysis of electron paramagnetic resonance spectra»
- <http://kfti.knc.ru/educational-activities/esr-electronic-lesson/> – «ЭПР – электронный урок»
- <http://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/molspec/nmr1.htm> – «Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy»
- <http://www.magnetic-resonance.org> – «Magnetic Resonance Imaging»
- <https://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/> – «The Basics of MRI»
- <https://www.cis.rit.edu/htbooks/nmr/inside.htm> – «The Basics of NMR»
- <https://www.imaio.com/en/e-Courses/e-MRI> – «MRI step-by-step»
- <https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/VirtTxtJml/Spectrpy/nmr/nmr1.htm> – «NMR Spectroscopy»

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 – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН по профилю подготовки, представление докладов на научной конференции молодых ученых КФТИ – обособленное структурное подразделение 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 в области магнитного резонанса, а также развития навыков рационального выбора методов решения.

В ходе лабораторных занятий аспирантам предоставляется возможность на практике освоить технику проведения базовых спектроскопических экспериментов, изучить специфику экспериментальных исследований в области магнитного резонанса, познакомиться с принципами работы и возможностями современной экспериментальной аппаратуры и оборудования, включая криогенную технику, используемых при проведении научных исследований в области магнитного резонанса, а также с 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 – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, ресурсы «Интернет».

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 – обособленное структурное подразделение 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 РНЦ "Курчатовский институт", позволяющим проводить измерения при сверхнизких температурах до 0,4 К.