

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 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:

- 01.04.11 «Физика магнитных явлений»
- 01.04.17 «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества»

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 «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.

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

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»,

направленности (профиль) 01.04.11 «Физика магнитных явлений» и 01.04.17 «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества». Индекс (по учебному плану) – **Б1.В.ОД2**. Дисциплина изучается в **3 и 4** семестрах.

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.

Материал, изучаемый в ходе освоения дисциплины, является обязательной составляющей экзамена кандидатского минимума по специальности 01.04.11 «Физика магнитных явлений».

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

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 научнообразовательных 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);

*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 магнитного резонанса (*шифр формируемого результата обучения З(УК-1)-1*);
- роль и место теории магнитного резонанса 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 теории магнитного резонанса, используемые при представлении результатов научной деятельности в устной и письменной форме (*шифр формируемого результата обучения З(УК-3)-1*);
- основы теории магнитного резонанса, включая электронный парамагнитный резонанс, ферромагнитный резонанс, антиферромагнитный резонанс и ядерный магнитный резонанс (*шифр формируемого результата обучения З(ПК-1)-1*);
- технику ЭПР и ЯМР спектроскопии, ЯМР томографии, криогенную технику (*шифр формируемого результата обучения З(ПК-1)-1*);
- существующие методы анализа и интерпретации спектров ЭПР и ЯМР и возможные способы их развития (*шифр формируемого результата обучения З(ПК-3)-1*);

*Уметь:*

- анализировать альтернативные варианты решения практических задач магнитного резонанса и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (*шифр формируемого результата обучения У(УК-1)-1*);
- выбирать и применять при решении задач магнитного резонанса адекватные экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования (*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 магнитного резонанса (*шифр формируемого результата обучения В(ОПК-1)-1*);
- 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 (*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	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1	Магнитный резонанс	2	16	10	10	216

Форма итогового контроля – зачет.

#### 5. Содержание дисциплины.

##### 5.1 Лекционные занятия 0,4 з.е. (16 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 ЭПР 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

Самостоятельная работа 2,7 з.е. (96 часов)

5.2. Лабораторные занятия 0,3 з.е. (10 часов).

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	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 (ОН) групп.

Самостоятельная работа 1,7 з.е. (60 часов)

### 5.3. Практические занятия – семинары 0,3 з.е. (10 часов)

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



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.

Самостоятельная работа 1,7 з.е. (60 часов)

## **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.

### **I. Контрольные темы и вопросы для проведения текущего и итогового контроля по дисциплине «Магнитный резонанс»:**

**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.

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

№ 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 магнитного резонанса	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
2.	роли и места теории магнитного резонанса в формировании современной физической картины мира, стадий 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 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
<b>Умение</b>			
1.	анализировать альтернативные варианты решения практических задач магнитного	1	не умеет
		2	частично освоенное

	резонанса и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов		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
<b>Владение</b>			
1.	навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации в области магнитного резонанса	1	не владеет
		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
<b>Итого баллов</b>		20–30	<b>«зачтено»</b>
		менее 20	<b>«не зачтено»</b>

## 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. С.А. Альтшулер, Б.М. Козырев. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. – М.: Наука, 1972.
4. Х. Гюнтер. Введение в курс спектроскопии ЯМР. – М.: Мир, 1984.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. А.И. Ахиезер, И.А. Ахиезер. Электромагнетизм и электромагнитные волны. – М.: Высшая школа, 1985.
2. Р. Уайт. Квантовая теория магнетизма. – М.: Мир, 1985.
3. А. Абрагам, Б. Блини. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. Т.2. – М.: Мир, 1973
4. Ч. Сликтер. Основы теории магнитного резонанса. – М.: Мир, 1981.
5. Ж. Винтер. Магнитный резонанс в металлах.– М.: Мир, 1976.

6. А.Г. Гуревич. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. – М.: Наука, 1973.
7. К.М. Салихов, А.Г. Семенов, Ю.Д. Цветков. Электронное спиновое эхо и его применение. – Новосибирск: Наука, 1976.
8. У. Хеберлен, М. Меринг. ЯМР высокого разрешения в твердых телах. – М.: Мир, 1980.

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

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

#### **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.