МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное учреждение
высшего профессионального образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт физики

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Таюрский Д.А.

_____ "___" _____20___ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

# Программа дисциплины

Основы магнитного резонанса Б1.В.ДВ.6

Направление подготовки: 03.03.02 - Физика
Профиль подготовки: не предусмотрено
Квалификация выпускника: бакалавр
Форма обучения: очное
Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Скирда В.Д.

**Рецензент(ы):**

Клочков В.В.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Скирда В. Д.
Протокол заседания кафедры No ___ от "____" _____ 201__г
Учебно-методическая комиссия Института физики:
Протокол заседания УМК No ____ от "____" _____ 201__г

Регистрационный No 671718

Казань
2018

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) заведующий кафедрой, д.н. (профессор) Скирда В.Д.
Кафедра физики молекулярных систем Отделение физики , Vladimir.Skirda@kpfu.ru

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины являются:

- ознакомление с устройством спектрометра ЯМР, с работой основных его блоков,
- получение навыков работы на спектрометре ЯМР в ходе выполнения лабораторных экспериментов,
- применение метода импульсного ЯМР в исследованиях структуры и динамики молекулярных систем

## 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ДВ.6 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.03.02 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 3 курсе, 5, 6 семестры.

"Магнитно-резонансные методы: физические принципы и приложения" представляет собой дисциплину профессионального цикла (подраздел ДВ.7). Студентам, обучающимся по данной дисциплине, достаточно знаний, полученных в процессе обучения по дисциплинам "Радиофизика и электроника", "Физические основы и техника магнитного резонанса".

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

| Шифр компетенции | Расшифровка приобретаемой компетенции |
|---|---|
| ОК-1 (общекультурные компетенции) | способностью использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук |
| ОК-3 (общекультурные компетенции) | способностью приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии |
| ПК-1 (профессиональные компетенции) | способностью использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач |
| ПК-10 (профессиональные компетенции) | способностью понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований |
| ПК-2 (профессиональные компетенции) | способностью применять на практике базовые профессиональные навыки |
| ПК-4 (профессиональные компетенции) | способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (в соответствии с профилем подготовки) |
| ПК-5 (профессиональные компетенции) | способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов физических исследований (в соответствии с профилем подготовки) |
| ПК-6 (профессиональные компетенции) | способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки) |

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

устройство спектрометра ЯМР и работу его отдельных блоков

2. должен уметь:

в соответствие с профессиональной компетенцией ПК-1 применять полученные знания для выполнения физического эксперимента по исследованию структуры и динамики молекулярных систем при помощи метода импульсного ЯМР

3. должен владеть:

в соответствие с профессиональной компетенцией ПК-3 навыками работы на спектрометре ЯМР и постановки физического эксперимента при помощи спектрометра ЯМР

4. должен демонстрировать способность и готовность:

Применять полученные знания на практике.

## 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных(ые) единиц(ы) 216 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины отсутствует в 5 семестре; экзамен в 6 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

**Тематический план дисциплины/модуля**

| N | Раздел Дисциплины/ Модуля | Семестр | Неделя семестра | Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах) | | | Текущие формы контроля |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | |
| 1. | Тема 1. Введение в принципы магнитного резонанса. Классическое представление. | 5 | 1-4 | 4 | 0 | 0 | Устный опрос |
| 2. | Тема 2. Релаксация: виды, механизмы и методы измерений. | 5 | 5-10 | 8 | 0 | 0 | Устный опрос<br>Презентация |
| 3. | Тема 3. ЯМР и самодиффузия. | 5 | 11-18 | 6 | 0 | 0 | Контрольная работа<br>Устный опрос |
| 4. | Тема 4. Аппаратура магнитного резонанса. | 6 | 1-3 | 6 | 8 | 0 | Устный опрос<br>Презентация |

| N | Раздел Дисциплины/ Модуля | Семестр | Неделя семестра | Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах) | | | Текущие формы контроля |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | |
| 5. | Тема 5. Ядерная релаксация в сложных системах. | 6 | 4-5 | 4 | 8 | 0 | Презентация Устный опрос |
| 7. | Тема 7. Ядерная релаксация в системах с широким распределением времен корреляции | 6 | 6-8 | 4 | 8 | 0 | Устный опрос Контрольная работа |
| 8. | Тема 8. Ядерная релаксация на поверхности | 6 | 9-10 | 4 | 8 | 0 | Презентация Устный опрос |
| 9. | Тема 9. Градиентные методы в исследованиях самодиффузии в сложных молекулярных системах | 6 | 11-14 | 8 | 10 | 0 | Устный опрос Творческое задание |
| 10. | Тема 10. Градиент магнитного поля, как основа ЯМР томографии. | 6 | 15-17 | 8 | 8 | 0 | Устный опрос Контрольная работа |
| 11. | Тема 11. ЯМР в поле земли. ЯМР-каротаж. | 6 | 18 | 2 | 4 | 0 | Устный опрос |
| . | Тема . Итоговая форма контроля | 6 | | 0 | 0 | 0 | Экзамен |
| | Итого | | | 54 | 54 | 0 | |

**4.2 Содержание дисциплины**

**Тема 1. Введение в принципы магнитного резонанса. Классическое представление.**

***лекционное занятие (4 часа(ов)):***

Магнитный момент. Гиромагнитное отношение и g-фактор. Ядерный магнитный резонанс и электронный парамагнитный резонанс. История открытий. Расщепление уровней энергии в результате взаимодействия в магнитном поле. Равновесное распределение по уровням энергии. Скорость установления равновесия. Стационарный магнитный резонанс. Ширина линии поглощения. Классическое представление. Частота Лармора. Лабораторная и вращающаяся системы координат. Взаимодействие с переменным магнитным полем. Импульсное возбуждение спиновой системы. Понятие радиочастотных импульсов и их свойства: резонансная частота, угол поворота, фаза. Спад свободной индукции. Сигналы после импульсного возбуждения спиновой системы. Связь формы линии с откликом на импульсное возбуждение. Фурье преобразование. Метод моментов.

**Тема 2. Релаксация: виды, механизмы и методы измерений.**

***лекционное занятие (8 часа(ов)):***

Понятия спин-спиновой и спин-решеточной релаксации. Основные механизмы релаксации. Продольная и поперечная релаксация ? принципиальное различие. Диполь-дипольный механизм релаксации. Взаимодействие с флуктуирующим магнитным полем. Гамильтониан дипольного взаимодействия. Время корреляции. Межмолекулярные и внутримолекулярные взаимодействия. Вращательные и трансляционные времена корреляции. Спектральная плотность. Уравнения Бломбергена-Парселла-Паунда (БПП). Скорость релаксации: зависимость от температуры и частоты резонанса. Высокотемпературное и низкотемпературное приближения. Время релаксации и форма сигнала для твердого тела (время корреляции бесконечно). Второй момент. Зависимость второго момента от параметров пространственного распределения спинов. Однородное и неоднородное уширение. Форма линии в высокотемпературном приближении. Химический сдвиг. ЯМР высокого разрешения. Основные методики измерения времен спин-решеточной релаксации. Основные методики измерения времен спин-спиновой релаксации. Многоимпульсные методики. Последовательность стимулированного эхо. Влияние настройки радиочастотных импульсов. Влияние неоднородности радиочастотного магнитного поля H1. Понятие формы релаксационных затуханий. Методики вычисления времен релаксации.

**Тема 3. ЯМР и самодиффузия.**

***лекционное занятие (6 часа(ов)):***

Самодиффузия: понятие и методы измерения. Постоянный линейный градиент магнитного поля. Возбуждение и формирование сигнала в неоднородном магнитном поле. Ограничения на величину градиента магнитного поля. Форма сигнала спада свободной индукции (ССИ) и сигнала эхо в неоднородном магнитном поле и ее зависимость от формы образца. Форма сигналов от двух точечных или цилиндрических образцов. Способы измерения амплитуды постоянного градиента магнитного поля. Градиент магнитного поля в краевом поле магнита. Требования к приемной и передающей частям установки. Достоинства и недостатки методик с постоянным градиентом магнитного поля. Импульсный градиент магнитного поля, достоинства и недостатки. Основное требование к параметрам импульсов градиента. Основные импульсные последовательности (эхо Хана, стимулированное эхо). Понятие времени диффузии. Сравнительный анализ методик постоянного и импульсного градиента магнитного поля. Аппаратурные ограничения. Измеряемые характеристики и методики измерения. Диффузионные затухания от амплитуды, длительности импульсов градиента и от времени диффузии. Форма импульсов градиента. Спектр коэффициентов самодиффузии.

**Тема 4. Аппаратура магнитного резонанса.**

***лекционное занятие (6 часа(ов)):***

Типы магнитных систем: достоинства и недостатки. Современные магнитные системы на основе сверхпроводящих соленоидов: устройство, обслуживание, перспективы (магнитные системы с замкнутым циклом). Основные блоки, необходимые для возбуждения и регистрации сигнала ЯМР. Приемно-передающие устройства. Требования к ним. Передатчик, приемник. Системы детектирования сигнала ЯМР. Основные типы детекторов. Преимущества и недостатки. Амплитудный детектор и детектор средних значений. Пиковый детектор. Идеальный амплитудный детектор. Влияние и учет шумового сигнала на детектирование. Синхронный детектор. Преимущества и требования. Квадратурный детектор. Аналоговое и цифровое квадратурное детектирование. Назначение и требования к системам формирования импульсных последовательностей, формирователь радиочастотных импульсов, формирование фазы. Системы обработки экспериментальных данных в магнитном резонансе. Настройка резонансных условий. Системы стабилизации резонансных условий. Аппаратура градиентного ЯМР.Назначение и требования к блокам импульсного градиента магнитного поля. Варианты исполнения. Необходимость и проблемы создания мощных импульсов градиента магнитного поля. Стабилизирующее влияние постоянного градиента. Способы измерения параметров (амплитудное и действующие значения) импульсного градиента. Требования к линейности градиента по объему образца. Типы градиентных катушек. Основные идеи, используемые в аппаратуре мощных градиентов магнитного поля. Системы термостатирования образца. Требования и типичные подходы к реализации. Характеристики и области применения.

***практическое занятие (8 часа(ов)):***


ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

Работа на ЯМР спектрометре. Обсуждение блок -схем типичных приборов ЯМР. Анализ влияния настройки радиочастотных импульсов на сигналы ЯМР. Анализ способов настройки резонансных условий.

**Тема 5. Ядерная релаксация в сложных системах.**

***лекционное занятие (4 часа(ов)):***

Спектры времен релаксации и форма релаксационных затуханий. Особенности измерения времен релаксации в многофазных системах. Двумерные методики измерения. Ядерная релаксация в системах с фазовыми превращениям. Измерение степени кристалличности. Простейшие двумерные эксперименты на основе последовательности Гольдмана-Шена. Релаксация в композитных системах и полимерах. Особенности измерения обмена в системах с микрофазовым расслоением. Скорости обмена. Распределение времен жизни. Релаксация в многофазных системах с обменом.

***практическое занятие (8 часа(ов)):***

Работа на ЯМР спектрометре. Подготовка образцов исследования, моделирующих двухфазную систему. Проведение релаксационных измерений. Анализ полученных результатов. Оформление отчета.

**Тема 7. Ядерная релаксация в системах с широким распределением времен корреляции**

***лекционное занятие (4 часа(ов)):***

Однородное и неоднородное распределение времен корреляции. Особенности формы релаксационных затуханий. Методики идентификации типа распределения времен корреляции. Анизотропное вращательное движение. Запись гамильтониана диполь-дипольного взаимодействия для анизотропных типов движения.Определение характеристик движения на основе температурных зависимостей времен релаксации. Использования усредняющих многоимпульсных последовательностей. Релаксация в нематических системах. Особенности релаксации в жидких кристаллах. Релаксация в полимерных высокомолекулярных системах и трехмерных полимерных сетках. Возможности двумерных экспериментов. Представление данных в виде двумерных карт T2 -T1.

***практическое занятие (8 часа(ов)):***

Работа на ЯМР релаксометре. Измерение времен релаксации модельных объектов с широким распределением времен корреляции на примере многофазных систем. Подготвка образцов исследования. Анализ полученных результатов.

**Тема 8. Ядерная релаксация на поверхности**

***лекционное занятие (4 часа(ов)):***

Особенности взаимодействия молекул с поверхностью. Механизмы поверхностной релаксации. Релаксация в пористых системах. Скачки Леви. Граничные условия. Релаксация в нанопористых системах. Релаксация в системах с частичным заполнением пористого пространства. Связь релаксационных характеристик с параметрами пористого пространства. Методика криопрометрии.

***практическое занятие (8 часа(ов)):***

Приготовление образцов исследования. Изучение характеристик времен поперечной и продольной релаксации флюида в модельных и природных пористых средах. Оформление отчета.

**Тема 9. Градиентные методы в исследованиях самодиффузии в сложных молекулярных системах**

***лекционное занятие (8 часа(ов)):***

Форма диффузионного затухания и ее зависимость от временных интервалов последовательности в случаях, осложненных неэкспоненциальной ядерной магнитной релаксацией; молекулярным, протонным или спиновым обменами. Способы идентификации причин зависимости формы диффузионного затухания от временных интервалов последовательности. Модифицированная последовательности стимулированного эхо. Многомерные эксперименты и представление данных. Особенности трансляционной подвижности молекул в системах с ограничениями. Основная информация, получаемая с помощью градиентных методов в исследованиях неоднородных, пористых систем и мембранных материалов. Форма диффузионного затухания и ее зависимость от времени диффузии в упорядоченных системах. Диффузионная и потоковая дифракция. Зависимость среднего коэффициента самодиффузии от времени диффузии. Методические подходы, применяемые для получения структурных характеристик пористой среды. Самодиффузия во внутренних градиентах магнитного поля.

***практическое занятие (10 часа(ов)):***

Практическое занятие на учебном ЯМР-диффузометре. Освоение работы и требований к параметрам импульсных последовательностей. Проведение измерений коэффициентов самодиффузии в простых жидкостях и двухфазных (например, раствор полимера) в зависимости от времени диффузии. Анализ полученных результатов. Учет влияния неэкспоненциальной релаксации. Освоение методики идентификации причин зависимости формы диффузионного затухания от времени диффузии. Оформление результатов исследования.

**Тема 10. Градиент магнитного поля, как основа ЯМР томографии.**

***лекционное занятие (8 часа(ов)):***

Основные способы пространственной визуализации. Локальный ЯМР, методы чувствительной точки, линии, плоскости. Методы восстановления по проекциям. Понятие селективного радиочастотного импульса. Выделение плоскости, фазо-частотное кодирование. Эхо-планарный метод. Сравнение различных методик ЯМР томографии по чувствительности. Методики контрастирования изображений по временам спин-решеточной и спин-спиновой релаксации, коэффициентам самодиффузии. Визуализация потоков. Методы измерения скорости потока, основанные на явлении ЯМР. Возможности и перспективы применения. ЯМР в сверх сильных градиентах магнитного поля. Методы пространственной визуализации во внешнем поле магнита.

***практическое занятие (8 часа(ов)):***

Занятие на специализированном мини ЯМР томографе. Освоение интерфейса команд. Освоение методик получения изображения в плоскости на примере фантома. Получение ЯМР томограммы модельного образца. Оформление результатов.

**Тема 11. ЯМР в поле земли. ЯМР-каротаж.**

***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Особенности ЯМР в поле земли. Практические реализации аппаратуры ЯМР в поле земли. Особенности конструкций приборов для ЯМР каротажа. Основные измеряемые параметры и характеристики специализированных приборов ЯМР каротажа производства различных фирм. Особенности обработки и трактовки экспериментальных данных. Спектры времен релаксации.

***практическое занятие (4 часа(ов)):***

Выполнение задания на обработку данных ЯМР каротажа. Получение и анализ спектров времен релаксации. Оформление результатов.

### 4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

| N | Раздел Дисциплины | Семестр | Неделя семестра | Виды самостоятельной работы студентов | Трудоемкость (в часах) | Формы контроля самостоятельной работы |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Тема 1. Введение в принципы магнитного | | | | | |

резонанса. Классическое представление.

| | | |
|---|---|---|
| 5 | 1-4 | подготовка к |

устному опросу

| | | |
|---|---|---|
| | 4 | устный опрос |

| N | Раздел Дисциплины | Семестр | Неделя семестра | Виды самостоятельной работы студентов | Трудоемкость (в часах) | Формы контроля самостоятельной работы |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2. | Тема 2. Релаксация: виды, механизмы и методы измерений. | 5 | 5-10 | подготовка к презентации | 2 | презентация |
| | | | | подготовка к устному опросу | 4 | устный опрос |
| 3. | Тема 3. ЯМР и самодиффузия. | 5 | 11-18 | подготовка к контрольной работе | 6 | контрольная работа |
| | | | | подготовка к устному опросу | 2 | устный опрос |
| 4. | Тема 4. Аппаратура магнитного резонанса. | 6 | 1-3 | подготовка к презентации | 4 | презентация |
| | | | | подготовка к устному опросу | 2 | устный опрос |
| 5. | Тема 5. Ядерная релаксация в сложных системах. | 6 | 4-5 | подготовка к презентации | 4 | презентация |
| | | | | подготовка к устному опросу | 4 | устный опрос |
| 7. | Тема 7. Ядерная релаксация в системах с широким распределением времен корреляции | 6 | 6-8 | подготовка к контрольной работе | 4 | контрольная работа |
| | | | | подготовка к устному опросу | 4 | устный опрос |
| 8. | Тема 8. Ядерная релаксация на поверхности | 6 | 9-10 | подготовка к презентации | 4 | презентация |
| | | | | подготовка к устному опросу | 4 | устный опрос |
| 9. | Тема 9. Градиентные методы в исследованиях самодиффузии в сложных молекулярных системах | 6 | 11-14 | подготовка к творческому заданию | 6 | творческое задание |
| | | | | подготовка к устному опросу | 4 | устный опрос |
| 10. | Тема 10. Градиент магнитного поля, как основа ЯМР томографии. | 6 | 15-17 | подготовка к контрольной работе | 6 | контрольная работа |
| | | | | подготовка к устному опросу | 4 | устный опрос |
| 11. | Тема 11. ЯМР в поле земли. ЯМР-каротаж. | 6 | 18 | подготовка к устному опросу | 4 | устный опрос |
| | Итого | | | | 72 | |

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Основными формами обучения являются лекции, практические занятия и самостоятельная работа студентов (индивидуальная работа студентов в условиях доступности консультаций с преподавателем).

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

**Тема 1. Введение в принципы магнитного резонанса. Классическое представление.**

устный опрос , примерные вопросы:

1. Явление ядерного магнитного резонанса. 2. Классическое описание ЯМР. 3. Импульсное возбуждение спиновой системы. Лабораторная и вращающаяся системы координат. 4. Понятия времен спин-спиновой и спин-решеточной релаксации 5. Сигналы после импульсного возбуждения спиновой системы. 6. Основные блоки, необходимые для возбуждения и регистрации сигнала ЯМР. 7. Требования к блокам ЯМР спектрометра. Передатчик, приемник, формирователь радиочастотных сигналов. 8. Типичный вид спектра ЯМР.

**Тема 2. Релаксация: виды, механизмы и методы измерений.**

презентация , примерные вопросы:

1. Спен-решеточная релаксация. Механизмы. Методы измерения. 2. Спин-спиновая релаксация. Механизмы. Методы измерения. 3. Методика стимулированного эхо.

устный опрос , примерные вопросы:

Сигналы после импульсного возбуждения спиновой системы. Введение в теорию отклика.Основные блоки, необходимые для возбуждения и регистрации сигнала ЯМР. Требования к ним. Пе-редатчик, приемник, формирователь радиочастотных сигналов.

**Тема 3. ЯМР и самодиффузия.**

контрольная работа , примерные вопросы:

1. Импульсное возбуждение спиновой системы. Лабораторная и вращающаяся системы координат. Понятия времен спин-спиновой и спин-решеточной релаксации. 2. Импульсные последовательности используемые для времен спин-спиновой релаксации. 3. Преимущества и недостатки импульсных последовательностей насыщения - восстановления, 0-метод. 4. Понятие времени корреляции. Гамильтониан диполь-дипольного взаимодействия. 5. Принципы использования метода ядерного магнитного резонанса с импульсным градиентом магнитного поля для регистрации трансляционной подвижности молекул. 6. Представление сложных релаксационных и диффузионных спадов. Влияние обмена на вид релаксационных и диффузионных спадов.

устный опрос , примерные вопросы:

1. Самодиффузия и диффузия. 2. Понятие пропагатора. 3. Принципы использования метода ядерного магнитного резонанса с импульсным градиентом магнитного поля для регистрации трансляционной подвижности молекул. 4. Сравнительный анализ методик постоянного и импульсного градиента магнитного поля. 5. Условия наблюдения спектра коэффициентов самодиффузии. 6. Блок-схема импульсного градиента. 7. Конструкция датчика для измерения самодиффузии. 8. Требования предъявляемые к градиентным и радиочастотным импульсам. 9. Преимущества изменения амплитуды градиента при измерении коэффициента самодиффузии. 10. Роль времен релаксации и ее уменьшение.

**Тема 4. Аппаратура магнитного резонанса.**

презентация , примерные вопросы:

1. Типовая блок-схема ЯМР установки. 2. Виды и характеристики магнитных систем, применяемых в магнитном резонансе. 3. Особенности блоков импульсного градиента магнитного поля для измерений коэффициентов самодиффузии.

устный опрос , примерные вопросы:

1. Назначение и характеристики приемо-передающих устройств. 2. Формирование радиочастотных импульсов, длительность, амплитуда, фаза. 3. Системы стабилизации резонансных условий в магнитном резонансе. 4. Системы регистрации сигнала. Амплитудно-цифровые преобразователи.

**Тема 5. Ядерная релаксация в сложных системах.**

презентация , примерные вопросы:

1. Релаксация в многофазных системах, распределение времен релаксации. 2. Решение задачи определения структурно-динамических характеристик вещества по анализу формы релаксационного затухания. 3. Однородное и неоднородное распределение времен корреляции. Влияние на форму релаксационных затуханий.

устный опрос , примерные вопросы:

1. Основные методики измерения времен релаксации в сложных системах. 2. Определение характеристик вещества по временам релаксации и населенностям. 3. Смысл и цели проведения двумерных экспериментов. 4. Представление данных в форме двумерных карт. 5. Особенности температурных зависимостей времен релаксации в сложных системах

**Тема 7. Ядерная релаксация в системах с широким распределением времен корреляции**

контрольная работа , примерные вопросы:

1. Понятие широкого распределения времен кореляции. 2. Распределение времен корреляции для анизотропных типов движения. 3. Вид выражений БПП для скоростей релаксаци в условиях анизотропного типа движения. 4. Методики идентификации типа распределения времен релаксации по форме релаксационных затуханий и по температурным зависимостям.

устный опрос , примерные вопросы:

1. Влияние типа распрееления времен корреляции на форму релаксационных затуханий. 2. Особенности температурных и частотных зависимостей скоростей релаксации в условиях широкого распределения времен корреляции. 3. Влияние обменных процессов на измеряемые релаксационные характеристики.

**Тема 8. Ядерная релаксация на поверхности**

презентация , примерные вопросы:

1. Механизмы поверхностной релаксации. Примеры. 2. Особенности релаксационных процессов в пористых средах. Связь релаксационных характеристик с параметрами пористой среды. 3. Методики криопорометрии.

устный опрос , примерные вопросы:

1. Релаксация на поверхности. 2. Характеристики поверхности. Влияние на подвижность адсорбированных молекул. 3. Понятие сязанных молекул. 4. Обмен поверхностных молекул с объемной жидкостью. Механизм.

**Тема 9. Градиентные методы в исследованиях самодиффузии в сложных молекулярных системах**

творческое задание , примерные вопросы:

1. Предложить и обосновать методику исследования и импульсную последовательность для измерений характеристик трансляционной подвижности в многофазной системе собменом. 2. Проанализировать поведение формы диффузионного затухания в зависимости от времени диффузии в средах с ограниченной геометрией.

устный опрос , примерные вопросы:

1. Форма диффузионного затухания и ее зависимость от временных интервалов последовательности. 2. Модифицированная импульсная последовательность стимулированного эхо. Применение. 3. Влияние внутренних градиентов магнитного поля. Тринандцати интервальная импулсная последовательность стимулированного эхо.

**Тема 10. Градиент магнитного поля, как основа ЯМР томографии.**

контрольная работа , примерные вопросы:

1. Принцип получения томографических изображений на основе локального ЯМР. 2. Понятие селективных радиочастотных импульсов. Выделение слоя. 3. Частотное и фазовое кодирование сигнала в ЯМР томографии. 4. Методики контрастирования изображений по временам релаксации и коэффициентам самодиффузии.

устный опрос , примерные вопросы:

1. Методики чувствительной плоскости, линии, точки. 2. Условия локального ЯМР. достоинства и недостатки. 3. Фурье преобразование в ЯМР томографии. Восстановление по проекциям. 4. Плоскостные методики получения изображений на основе фазочастотного кодирования сигнала. Импульсные последовательности. 5. Понятие угла Эрнста и его использование в ЯМР томографии. 6. Факторы, определяющие чувствительность в ЯМР томографии. 7. Факторы, определяющие пространственное разрешение в ЯМР томографии.

**Тема 11. ЯМР в поле земли. ЯМР-каротаж.**

устный опрос , примерные вопросы:

1. Особенности наблюдения сигнала ЯМР в магнитном поле земли. Поляриующее магнитное поле. 2. Принципы ЯМР каротажа. Понятие ЯМР каротажа в сильном магнитном поле. 3. Виды и характеристики существующих приборов ЯМР каротажа.

**Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

1. Явление ядерного магнитного резонанса.
2. Классическое описание ЯМР. Импульсное возбуждение спиновой системы. Лабораторная и вращающаяся системы координат.
3. Импульсные последовательности, используемые для измерения времен спин-спиновой релаксации.
4. Преимущества и недостатки различных импульсных последовательностей ССИ, эхо Хана, КПМГ.
5. Методики 180-тау-90, 90-тау-90, насыщения.
6. Методики измерения за одно прохождение.
7. Преимущества и недостатки импульсных последовательностей насыщения - восстановления, 0-метод.
8. Особенности применения последовательностей насыщения - восстановления, 0-метода.
9. Понятие времени корреляции. Функция спектральной плотности.
10. Гамильтониан диполь-дипольного взаимодействия.
11. Частотная и температурная зависимости времен релаксации.
12. Самодиффузия и диффузия. Понятие пропагатора.
13. Принципы использования метода ядерного магнитного резонанса с импульсным градиентом магнитного поля для регистрации трансляционной подвижности молекул.
14. Сравнительный анализ методик постоянного и импульсного градиента магнитного поля.
15. Измерение коэффициентов самодиффузии в сложных многокомпонентных системах.
16. Ограниченная самодиффузия.
17. Самодиффузия в системах с обменом.
18. Требования к блокам ЯМР спектрометра. Передатчик, приемник, формирователь радиочастотных сигналов.
19. Блок-схема импульсного градиента. Конструкция датчика для измерения самодиффузии.
20. Требования, предъявляемые к градиентным и радиочастотным импульсам.
21. Принципы ЯМР томографии. Локальный ЯМР.
22. Селективный радиочастотный импульс. Виды. Достаточные и необходимые условия.
23. Частотное и фазовое кодирование сигнала. Фурье преобразование.
24. Трехмерные и плоскостные методики формирования ЯМР-томограмм.
25. ЯМР в поле земли. Особенности формирования сигнала.
26. Приборы ЯМР каротажа. Принципы ицели.

Вопросы 1, 2, 18, 19 и 20 ориентированы на проверку компетенций ПК-6 (способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки)).


ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

Вопросы 3-8 ориентированы на проверку компетенций ПК-10 (способностью понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований), ПК-2 (способностью применять на практике базовые профессиональные навыки) и ПК-4 (способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (в соответствии с профилем подготовки)).

Вопросы 9-17 ориентированы на проверку компетенций ОК-1 (способностью использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук), ОК-3 (способностью приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии) и ПК-1 (способностью использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач).

Вопросы 21-26 ориентированы на тестирование компетенций ПК-1 (способностью использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач), ПК-2 (способностью применять на практике базовые профессиональные навыки) и ПК-4 (способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (в соответствии с профилем подготовки)).

### 7.1. Основная литература:

1. Медицинская и биологическая физика: учебник / Ремизов А.Н. - 4-е изд., испр. и перераб. 2013. - 648 с.

http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970424841.html

2. Сергеев, Н. А. Основы квантовой теории ядерного магнитного резонанса: монография / Н. А. Сергеев, Д. С. Рябушкин. - М. : Логос, 2013. - 272 с. - ISBN 978-5-98704-754-5 http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=469025

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Теоретическая физика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .? М. : ФИЗМАТЛИТ, Т. 3: Квантовая механика (нерелятивистская теория) .? 5-е изд., стер. ? 2004 .? 800 с.

2. Атомная физика. Теоретические основы и лабораторный практикум: Уч. пос. / В.Е.Граков, С.А.Маскевич и др.; Под общ. ред. А.П.Клищенко. - М.: ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2011. - 333с. http://znanium.com/bookread.php?book=218015#none

3. Химия нефти и газа: учебное пособие / В.Д. Рябов. - М.: ИД ФОРУМ, 2012. - 336 с. http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=328497

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Введение в курс спектроскопии ЯМР - http://files.rushim.ru/books/spectroscopia/Guenther.pdf

Википедия. ЯМР - http://ru.wikipedia.org

Википедия. ЯМР-спектроскопия. - http://ru.wikipedia.org

Элементы большой науки. Что такое ЯМР-томография ? - http://elementy.ru/lib/431024

Энциклопедии, словари, справочники: ЯМР - http://www.cnshb.ru/AKDiL/0048/base/RQ/010004.shtm

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Основы магнитного резонанса" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB,audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудованием имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань" , доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "Консультант студента" , доступ к которой предоставлен студентам. Электронная библиотечная система "Консультант студента" предоставляет полнотекстовый доступ к современной учебной литературе по основным дисциплинам, изучаемым в медицинских вузах (представлены издания как чисто медицинского профиля, так и по естественным, точным и общественным наукам). ЭБС предоставляет вузу наиболее полные комплекты необходимой литературы в соответствии с требованиями государственных образовательных стандартов с соблюдением авторских и смежных прав.

Лабораторные установки ЯМР (ЯМР-релаксометр и ЯМР - диффузометр).

Специализированный ЯМР томограф.

Персональные компьютеры.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.03.02 "Физика" и профилю подготовки не предусмотрено .

Автор(ы):
Скирда В.Д. _____
"__" _____ 201 __ г.

Рецензент(ы):
Клочков В.В. _____
"__" _____ 201 __ г.