

Учреждение образования
«Международный государственный экологический институт
имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по учебной и
воспитательной работе

МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ

И.Э. Бученков

Регистрационный № УД-556-18 /уч.

МАГНИТОРЕЗОНАНСНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной
дисциплине для специальности:

1-31 81-13 Медицинская физика

Минск 2017

*Григорьев
Александр
МНО*

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31 81 13-2017 и учебного плана № 71-17/уч.м.з. от 06.02.17 г. специальности 1-31 0405 Медицинская физика

СОСТАВИТЕЛЬ:

О.М.Бояркин - профессор кафедры общей и медицинской физики учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой общей и медицинской физики учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол № 4 от 15.11.2017 г.);

Советом факультета мониторинга окружающей среды учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова БГУ» (протокол № 3 от 20.11.2017 г.)

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

При изучении дисциплины «Магнитно-резонансные методы исследования» предусматривается углубление и развитие знаний, умений и навыков, приобретенных при изучении дисциплин «Высшая математика», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Ядерная физика», «Квантовая механика» и «Статистическая физика и термодинамика». Эта дисциплина играет исключительно важную роль в формировании знаний у обучающихся по специальности 1-31 81 13 Медицинская физика, формируя основу для математического моделирования физических процессов, происходящих в организме человека, в методах диагностики и лечения различных заболеваний. Усвоение этой дисциплины также позволит самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий при использовании новейшего отечественного и зарубежного опыта.

Предлагаемый для изучения материал можно условно разбить на три основных раздела, первый из которых посвящен основам ядерно-магнитного резонанса, второй – спин-решеточной и спин-спиновой релаксации, третий – самодиффузии и ее измерениям методом градиентного ядерно-магнитного резонанса.

Целью данной дисциплины является освоение ключевых понятий и общих принципов ядерно-магнитного резонанса (ЯМР), ознакомление с устройством приборов ЯМР, изучение различных методов/методик ЯМР и типичными областями их применения, получение навыков работы на спектрометре ЯМР в ходе выполнения лабораторных экспериментов, а также применение метода импульсного ЯМР в исследованиях структуры и динамики молекулярных систем.

Перед преподающими дисциплину ставятся следующие задачи:

- систематически изложить учебный материал;
- проиллюстрировать использование изучаемых физических закономерностей в естественных науках;
- подготовить студентов к изучению специальных дисциплин.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- устройство спектрометра ЯМР и работу его отдельных блоков
- особенности динамики нелинейных систем;
- основные стохастические модели;

уметь:

- применять полученные знания для выполнения физического эксперимента по исследованию структуры и динамики молекулярных систем при помощи метода импульсного ЯМР;
- находить приближенные аналитические и численные решения уравнений описывающих модели человеческих органов.

применять полученные знания на практике.

Программа разработана в соответствии с образовательным стандартом и учебным планом специальности 1-31 81 13 Медицинская физика.

В соответствии с учебным планом общий объем часов по дисциплине «Магниторезонансные методы исследования» составляет 314 часов. Объем аудиторных часов - 46 часа, в том числе на лекции отводится 38 часов, практические занятия – 8 часов.

Форма получения высшего образования – заочная.

Форма контроля знаний экзамен.

2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Основные принципы магнитного резонанса.

Основы явления магнитного резонанса. Спин. Свойства ядерных и электронных спинов. Гиромагнитное отношение и g -фактор. Поведение спинов в магнитном поле. Лабораторная и вращающаяся системы координат. Условия взаимодействия спинов с переменным магнитным полем. Стационарный магнитный резонанс. Импульсное возбуждение. Понятие радиочастотных импульсов и их свойства: резонансная частота, угол поворота, фаза. Спад свободной индукции. Фурье-преобразование. Однородное и неоднородное уширение линии. Основы экспериментального ЯМР. Основные элементы и блоки аппаратуры магнитного резонанса.

Обсуждение конструкции ЯМР спектрометра и работа его основных блоков. Основные требования к передающей системе. Основные требования к предусилителю и приемнику. Типы приемных систем. Типы детекторов. Квадратурное детектирование (аналоговый вариант исполнения и цифровой).

Тема 2. Спин-решеточная и спин-спиновая релаксация.

Понятие релаксации. Механизмы релаксации. Уравнения Блоха. Связь времен релаксации с характеристиками спиновой системы. Связь измеряемых параметров ЯМР с характеристиками молекулярного движения. Связь измеряемых параметров ЯМР с характеристиками молекулярного движения. Понятие времени корреляции. Типичные зависимости времен релаксации от времени корреляции и от температуры. Виды распределения времен корреляции (однородное и неоднородное). Связь вида распределения времен корреляции с типами молекулярного движения. Влияние неоднородности магнитного поля на измеряемые характеристики времен релаксации. Влияние самодиффузии в последовательности Хана и КМПГ. Измерения времен спин-решеточной релаксации: Методики 180-тау-90, 90-тау-90, насыщения. Методики измерения за одно прохождение. Влияние настройки радиочастотных импульсов. Причины неидеальности настройки 180-го импульса в реальной аппаратуре.

Измерение времен релаксации в простых жидкостях и их смесях. Настройка аппаратуры и параметров радиочастотных импульсов. Критерии выбора последовательности для измерения. Определение времен релаксации для двухкомпонентной смеси. Применение методик 180-тау-90, 90-тау-90, насыщения. Проверка влияния настройки 180-го и 90-го радиочастотных импульсов на измеряемые параметры. Методики определения нескольких экспоненциальных компонент в кривой восстановления продольной намагниченности.

Тема 3. Самодиффузия и ее измерение методом градиентного ЯМР.

Самодиффузия (D_s) и ее измерение методом ЯМР. Ядерный магнитный резонанс с импульсным градиентом магнитного поля как метод регистрации трансляционной подвижности молекул. Сравнительный анализ методик постоянного и импульсного градиента магнитного поля. Аппаратурные ограничения. Спектр коэффициентов самодиффузии. Измеряемые

характеристики. Конструкция блока импульсного градиента магнитного поля. Особенности измерения самодиффузии и времен релаксации в сложных системах. Особенности измерения коэффициентов самодиффузии в системах с ограничениями. Особенности измерения коэффициентов самодиффузии в системах с обменом. Влияние ядерной релаксации на форму диффузионного затухания в многокомпонентных системах. Двумерный ЯМР. Представление данных в виде двумерных карт $T_2 - T_1$, $D_s - T_2$, $D_s - T_1$. Формы градиентных катушек. Проблемы термостабилизации датчика. Проблемы механических колебаний. Требования к форме и амплитуде импульсов градиента.

Демонстрация метода ЯМР ИГМП как метода регистрации трансляционной подвижности молекул. Измерение коэффициентов самодиффузии методами постоянного и импульсного градиентов магнитного поля. Построение формы диффузионного затухания. Наблюдение спектра коэффициентов самодиффузии в растворе полимера. Получение практических навыков по исследованию процессов самодиффузии в образцах с признаками обмена и/или ограниченной самодиффузии. Идентификация причин зависимости формы диффузионных затуханий от времени диффузии. Получение двумерных карт $D_s - T_2$ или $D_s - T_1$. Наблюдение спектра коэффициентов самодиффузии в растворе полимера.

3.УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Количество часов VCP	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное (аудиторный контроль VCP)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	Магнитно резонансные методы исследования	38	8						
1	Основные принципы магнитного резонанса	10	2					письменная контрольная работа	
2	Спин решеточная и спин-спиновая релаксация	12	4						
3	Самодиффузия и ее измерение методом градиентного ядерно-магнитного резонанса	16	2					письменная контрольная работа	

4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основные учебно-методические материалы:

1. Медицинская и биологическая физика: учебник / Ремизов А.Н. - 4-е изд., испр. и перераб. 2013. - 648 с.
1. <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
2. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=469025>
3. Антонов В.Ф., Козлова Е.К., Черныш А.М. Физика и биофизика. - Москва: Издательская группа "Гэотар-Медиа", 2014. - 480 с.
3. <http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970416440.html>

Дополнительные учебно-методические материалы:

1. Лучевая диагностика: учебник / Под ред. Г.Е. Труфанова. 2013. - 496 с.
<http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425152.html>
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, 2013. - 333с.
<http://znanium.com/bookread.php?book=218015#none>

Интернет-ресурсы:

1. Введение в курс спектроскопии ЯМР -
<http://files.rushim.ru/books/spectroscopia/Guenther.pdf>
2. Википедия. ЯМР -
http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BC%Википедия.ЯМР-спектроскопия. -
3. [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%9C%D0%A0-%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%Элементы большой науки. Что такое ЯМР-томография ?](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%9C%D0%A0-%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%Элементы_большой_науки._Что_такое_ЯМР-томография_?) - <http://elementy.ru/lib/431024>
4. Энциклопедии, словари, справочники: ЯМР -
5. <http://www.cnshb.ru/AKDiL/0048/base/RQ/010004.shtm>

Для организации самостоятельной работы студентов по курсу необходимо использовать современные технологии: разместить в сетевом доступе комплекс учебных и учебно-методических материалов (программа, методические указания к практическим занятиям, список рекомендуемой литературы и информационных ресурсов, задания в тестовой форме для самоконтроля и др.). При этом не ставится цель охватить все стороны предмета или заменить другие формы ра-

боты. Подбор заданий для самостоятельной работы направлен на формирование базовых предметных компетенций путем применения теоретических знаний в конкретных ситуациях, а также на развитие активности и самостоятельности студентов.

Качество самостоятельной работы студентов целесообразно проверять в ходе текущего промежуточного и итогового контроля в форме устного опроса, коллоквиумов, контрольных работ по темам и разделам дисциплины (модулям).

5. ТЕМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ:

1. Преимущества и недостатки импульсных последовательностей насыщения - восстановления, 0-метод
2. Особенности применения последовательностей ССИ, эхо Хана, КПМГ.
3. Гамильтониан диполь-дипольного взаимодействия.
4. Представление сложных релаксационных и диффузионных
5. Понятие пропагатора
6. Блок-схема импульсного градиента
7. Роль времен релаксации и их уменьшение

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- τ -90, 90- τ -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.

С целью диагностики знаний, умений и навыков студентов по данной дисциплине рекомендуется использовать:

1. контрольные работы;
2. самостоятельные работы;
3. тесты;
4. коллоквиумы по пройденному теоретическому материалу;
5. устный опрос в ходе практических занятий;
6. проверку конспектов лекций студентов.