

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.

  
КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ДЕПАРТАМЕНТ  
ОБРАЗОВАНИЯ  
(ДО КФУ)

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

### Программа дисциплины

Техника ядерно-магнитного резонанса Б1.В.ДВ.6

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Физика магнитных явлений

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Егоров А.В.

**Рецензент(ы):**

Орлинский С.Б.

### **СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Тагиров М. С.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 6144717

Казань

2017

## 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) доцент, к.н. (доцент) Егоров А.В. Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии Отделение радиофизики и информационных систем, Alexander.Egorov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Техника ЯМР" является изучение технических аспектов спектроскопии ЯМР, в особенности аналоговой части спектрометров, получение навыков подготовки эксперимента, знакомство с методами обработки спектроскопических данных.

### 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 03.04.03 Радиофизика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 2 курсе, 3 семестр.

Дисциплина "Техника ЯМР" относится к профессиональному циклу (М1 ДВ1). Является частью дисциплин, посвященных технике физического эксперимента, логическим продолжением курса "Основы теории спектров ЯМР". От обучаемых требуются знания в области анализа линейных цепей, аналоговой и цифровой электроники, магнитной радиоспектроскопии. Освоение данной дисциплины может быть использовано при работе над магистерской диссертацией.

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-3 (профессиональные компетенции)	способностью к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способностью применять на практике навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей

В результате освоения дисциплины студент:

- должен знать:  
принципы работы спектрометров ЯМР.
- должен уметь:  
рассчитывать чувствительность спектрометров.
- должен владеть:  
практическими навыками обработки спектров.
- должен демонстрировать способность и готовность:  
к подготовке спектроскопического эксперимента

### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 3 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. Предмет курса. Понятие о магнитном резонансе. Классическое описание магнитного резонанса. Вращающаяся система координат (ВСК).	3	1,2	4	2	0	Устный опрос
2.	Тема 2. Датчики спектрометров ЯМР. Колебательный контур как трансформатор импеданса. Параметры реального контра.	3	3,4	4	2	0	Устный опрос
3.	Тема 3. Шумы. Спектральные характеристики шумов. Шум-фактор. Измерение шум-фактора.	3	5,6	4	2	0	Устный опрос
4.	Тема 4. Детектирование в радиоспектроскопии.	3	7,8	4	2	0	Устный опрос
5.	Тема 5. Аналого-цифровое преобразование.	3	9,10	4	2	0	Устный опрос
6.	Тема 6. Фурье-спектроскопия. Соотношение между импульсным и стационарным сигналами.	3	11,12	4	2	0	Устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
7.	Тема 7. Широкополосные устройства ВЧ-диапазона. 50-омная техника. Согласование передатчика, датчика и приемника. Измерение коэффициента отражения	3	13,14	4	2	0	Устный опрос
	Тема . Итоговая форма контроля	3		0	0	0	Зачет
	Итого			28	14	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

**Тема 1. Введение. Предмет курса. Понятие о магнитном резонансе. Классическое описание магнитного резонанса. Вращающаяся система координат (ВСК).**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Классическое описание магнитного резонанса. Вращающаяся система координат (ВСК). Сигнал спиновой индукции. Спиновое эхо.

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

Расчет величины сигнала ЯМР для реальных условий.

**Тема 2. Датчики спектрометров ЯМР. Колебательный контур как трансформатор импеданса. Параметры реального контура.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Телеграфные уравнения. Согласование по напряжению, току, мощности. Способы трансформации импеданса.

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

Вывод формулы для емкостной схемы трансформации сопротивления колебательного контура

**Тема 3. Шумы. Спектральные характеристики шумов. Шум-фактор. Измерение шум-фактора.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Тепловые (джонсоновские) шумы. Дробовой шум. Импульсный шум. Методы описания шумов устройств.

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

Вычисление коэффициента шума многокаскадного усилителя.

**Тема 4. Детектирование в радиоспектроскопии.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Амплитудный, пиковый, синхронно-фазовые детекторы. Квадратурное детектирование. Комбинационные частоты. Гетеродинирование.

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

Расчитать величину сигнала ССИ 19F в CaF<sub>2</sub>. Частота ? 10МГц, температура ? 300К, объем катушки и образца равен 1 см<sup>3</sup>, катушка содержит 10 витков диаметром 6мм, добротность контура ? 50. Оценить величину отношения сигнал/шум.

**Тема 5. Аналого-цифровое преобразование.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Методы аналого-цифрового преобразования. Шумы преобразования. Учет дискретизации времени и напряжения.

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

Моделирование свойств АЦ-преобразования.

**Тема 6. Фурье-спектроскопия. Соотношение между импульсным и стационарным сигналами.****лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Цифровое фурье-преобразование (ФП). Алгоритмы быстрого ФП. Влияние параметров аналоговых фильтров на качество полученных спектров. Практические аспекты свойств фурье-преобразования.

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

Реализация рекурсивного алгоритма БПФ.

**Тема 7. Широкополосные устройства ВЧ-диапазона. 50-омная техника. Согласование передатчика, датчика и приемника. Измерение коэффициента отражения****лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Широкополосные трансформаторы. Методы проектирования. Magic-T. Настройка датчика ЯМР. Трансформаторы сопротивлений на основе отрезков линий.

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

Расчет частотной зависимости отраженного сигнала гибридного моста от импеданса нагрузки.

**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. Предмет курса. Понятие о магнитном резонансе. Классическое описание магнитного резонанса. Вращающаяся система координат (ВСК).	3	1,2	подготовка к устному опросу	9	устный опрос
2.	Тема 2. Датчики спектрометров ЯМР. Колебательный контур как трансформатор импеданса. Параметры реального контура.	3	3,4	подготовка к устному опросу	9	устный опрос
3.	Тема 3. Шумы. Спектральные характеристики шумов. Шум-фактор. Измерение шум-фактора.	3	5,6	подготовка к устному опросу	9	устный опрос
4.	Тема 4. Детектирование в радиоспектроскопии.	3	7,8	подготовка к устному опросу	9	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
5.	Тема 5. Аналого-цифровое преобразование.	3	9,10	подготовка к устному опросу	10	устный опрос
6.	Тема 6. Фурье-спектроскопия. Соотношение между импульсным и стационарным сигналами.	3	11,12	подготовка к устному опросу	10	устный опрос
7.	Тема 7. Широкополосные устройства ВЧ-диапазона. 50-омная техника. Согласование передатчика, датчика и приемника. Измерение коэффициента отражения	3	13,14	подготовка к устному опросу	10	устный опрос
	Итого				66	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Лекции, практические занятия.

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

### Тема 1. Введение. Предмет курса. Понятие о магнитном резонансе. Классическое описание магнитного резонанса. Вращающаяся система координат (ВСК).

устный опрос , примерные вопросы:

Спад спиновой индукции, спиновое эхо, адиабатическая инверсия.

### Тема 2. Датчики спектрометров ЯМР. Колебательный контур как трансформатор импеданса. Параметры реального контура.

устный опрос , примерные вопросы:

Телеграфные уравнения. Способы трансформации импеданса.

### Тема 3. Шумы. Спектральные характеристики шумов. Шум-фактор. Измерение шум-фактора.

устный опрос , примерные вопросы:

Типы и характеристики шумов.

### Тема 4. Детектирование в радиоспектроскопии.

устный опрос , примерные вопросы:

Квадратурное и синхронное детектирование.

### Тема 5. Аналого-цифровое преобразование.

устный опрос , примерные вопросы:

Функция распределения шумов АЦП.

## **Тема 6. Фурье-спектроскопия. Соотношение между импульсным и стационарным сигналами.**

устный опрос , примерные вопросы:

Проблема вложения. Oversampling.

## **Тема 7. Широкополосные устройства ВЧ-диапазона. 50-омная техника. Согласование передатчика, датчика и приемника. Измерение коэффициента отражения**

устный опрос , примерные вопросы:

Настройка датчика ЯМР.

## **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:

Вопросы к зачету.

- 1.Емкостная схема согласования датчика ЯМР.
- 2.Автотрансформаторная схема согласования датчика ЯМР.
- 3.Расчет шум-фактора многокаскадного усилителя.
- 4.Шумы АЦП.
- 5.Коммутация датчика импульсного спектрометра с помощью импульсных диодов и четвертьволнового трансформатора.
- 6.Квадратурное детектирование.
- 7.Преобразование частот в спектрометре ЯМР.
- 8.Настройка датчика импульсного спектрометра.
- 9.Стационарные спектрометры - Q-метр и автодин.
10. Широкополосная трансформация. Magic-T.

### **7.1. Основная литература:**

1. Сергеев, Н. А. Основы квантовой теории ядерного магнитного резонанса : монография / Н. А. Сергеев, Д. С. Рябушкин. - М. : Логос, 2013. - 272 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=469025>
2. Основы теории цепей: Учебное пособие / Г.Н. Арсеньев, В.Н. Бондаренко, И.А. Чепурнов; Под ред. Г.Н. Арсеньева. - М.: ИД ФОРУМ: ИНФРА-М, 2011. - 448 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=224548>
3. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. ? 3-е изд. ? СПб.: БХВ-Петербург, 2011. ? 768 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=354905>

### **7.2. Дополнительная литература:**

1. Молчанов, А. П. Курс электротехники и радиотехники: учеб. пособие / А. П. Молчанов, П. Н. Занадворов. ?4-е изд., стереотипн. ? СПб.: БХВ-Петербург, 2011. ? 608 с.<http://znanium.com/bookread.php?book=350909>
2. Ядерный магнетизм / А. Абрагам; пер. с англ. под ред. Г. В. Скродского. ?Москва: Изд-во иностранной литературы, 1963. ?551 с
3. Электронная техника: Учебник / М.В. Гальперин. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 352с <http://znanium.com/bookread.php?book=420238>
4. Раннев Е.В. Цифровой квадратурный приемник ядерного магнитного резонанс - сигнала низкого разрешения / Интернет-журнал "Науковедение", Вып. 1, 2014 <http://znanium.com/bookread.php?book=477399>



5. Проектирование аналоговых и цифровых устройств: Учебное пособие / В.С. Титов, В.И. Иванов, М.В. Бобырь. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 143 с.

<http://znanium.com/bookread.php?book=422720>

### **7.3. Интернет-ресурсы:**

американское физическое общество - [www.aps.org](http://www.aps.org)

казанский университет - [www.kpfu.ru](http://www.kpfu.ru)

научная поисковая система - [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

свободная энциклопедия - [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org)

электронная библиотека - [www.ekniga.ru](http://www.ekniga.ru)

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

Освоение дисциплины "Техника ядерно-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 оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен студентам. В ЭБС "БиблиоРоссика" представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и 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 "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.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.04.03 "Радиофизика" и магистерской программе Физика магнитных явлений .

Автор(ы):

Егоров А.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Орлинский С.Б. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.