

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



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Д.А. Таюрский

\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

## **Программа дисциплины**

Техника ядерно-магнитного резонанса

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Физика магнитных явлений

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2017

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и) Егоров А.В.

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-3	Способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач
ПК-2	Способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики (в соответствии с профилем подготовки) и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

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

**2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.6 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.04.03 "Радиофизика (Физика магнитных явлений)" и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 2 курсе в 3 семестре.

**3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

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

Контактная работа - 42 часа(ов), в том числе лекции - 28 часа(ов), практические занятия - 14 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 66 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 3 семестре.

**4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)**

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение. Предмет курса. Понятие о магнитном резонансе. Классическое описание магнитного резонанса. Вращающаяся система координат (ВСК).	3	4	2	0	9

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Датчики спектрометров ЯМР. Колебательный контур как трансформатор импеданса. Параметры реального контура.	3	4	2	0	9
3.	Тема 3. Шумы. Спектральные характеристики шумов. Шум-фактор. Измерение шум-фактора.	3	4	2	0	9
4.	Тема 4. Детектирование в радиоспектроскопии.	3	4	2	0	9
5.	Тема 5. Аналого-цифровое преобразование.	3	4	2	0	10
6.	Тема 6. Фурье-спектроскопия. Соотношение между импульсным и стационарным сигналами.	3	4	2	0	10
7.	Тема 7. Широкополосные устройства ВЧ-диапазона. 50-омная техника. Согласование передатчика, датчика и приемника. Измерение коэффициента отражения	3	4	2	0	10
	Итого		28	14	0	66

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

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

История открытия магнитного резонанса. Предпосылки к открытию ЯМР. Квантовомеханическая теория возмущений, зависящих от времени. Классическое описание магнитного резонанса. Сигнал спада спиновой индукции. Феноменологические уравнения Блоха. Методы медленного прохождения. Вращающаяся система координат (ВСК). Спиновое эхо.

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

Параллельный и последовательный колебательный контур. Эквивалентная схема колебательного контура. Теоремы Тевенина об эквивалентных генераторах тока и напряжениях. Согласование генератора и нагрузки по мощности. Широкополосная трансформация импеданса. Колебательный контур как трансформатор импеданса.

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

Неустраняемые тепловые (джонсоновские) шумы. Формула Найквиста. Дробовой шум. Шумы типа  $1/f$ . Импульсный шум. Методы описания шумов активных устройств. Шум-фактор и отношение сигнал/шум. Эквивалентные генераторы напряжения и тока шумов. Понятие об эквивалентной шумовой температуре. Шумы многокаскадных усилителей.

##### **Тема 4. Детектирование в радиоспектроскопии.**

Преобразование частот в радиоспектроскопии. Амплитудный, пиковый, синхронно-фазовые детекторы. Квадратурное детектирование на комплексной плоскости. Технологии синтеза частот. ФАПЧ. Цифровые технологии синтеза стабильных гармонических колебаний (DDS). Комбинационные частоты в спектрометрах. Гетерогенирование.

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

Импульсный спектрометр с цифровым Фурье-преобразованием. Два основных типа аналого-цифрового преобразования. Современные аналого-цифровые преобразователи. Эквивалентный шум преобразования. Учет дискретизации времени и напряжения. Теорема Найквиста (Котельникова). Свойства аналоговых фильтров нижних частот.

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

Соотношение между стационарным и импульсным сигналами магнитного резонанса. Цифровое Фурье-преобразование (ФП). Алгоритм Кули-Тьюки быстрого преобразования Фурье. Влияние параметров аналоговых фильтров на качество полученных спектров. Практические аспекты применения Фурье-преобразования. ЯМР спектроскопия высокого разрешения.

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

Свойства цепей с распределенными параметрами. Телеграфные уравнения. Широкополосные трансформаторы РЧ диапазона. Трансформаторы сопротивлений на основе отрезков линий. Методы проектирования. Magic-T. Настройка датчика ЯМР. Коммутация передатчика, датчика и приемника с использованием четвертьволнового трансформатора.

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

### **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

### **7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

#### **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

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)

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

<b>Вид работ</b>	<b>Методические рекомендации</b>
лекции	Материал, излагаемый на лекциях следует конспектировать. Качество конспектов может быть учтено при начислении рейтинговых баллов. Материал лекций, включая рассмотренные примеры должен быть проработан с использованием литературы, предложенной преподавателем. При появлении вопросов, следует их сформулировать и разобрать с преподавателем на последующих занятиях.
практические занятия	Практические занятия заключаются в вычислении трансформированных импедансов датчика ЯМР, амплитудно-частотных характеристик простейших фильтров, цифровое моделирование цепей, моделирование сигналов во временном и частотном представлении. Результаты предлагается представлять в виде графиков и таблиц.
самостоятельная работа	Самостоятельная работа включает в себя проработку материалов лекционных занятий, знакомство с дополнительной литературой и решение типовых задач, предложенных лектором. При решении задач, связанных с фурье-преобразованием, студенты могут использовать любое программное обеспечение, а результаты представлять в электронном виде.
зачет	При подготовке к зачету следует использовать конспекты лекционного материала, а также литературу, предложенную преподавателем, включая дополнительную. Рекомендуется проработать задачи, решавшиеся в течение курса как аналитическими, так и цифровыми методами. Задачи могут быть использованы в качестве дополнительных вопросов.

#### **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

#### **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.



Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

## **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

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

Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.6 Техника ядерно-магнитного резонанса

**Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Физика магнитных явлений

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2017

**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>

**Дополнительная литература:**

1. Ядерный магнетизм / А. Абрагам; пер. с англ. под ред. Г. В. Скроцкого. Москва: Изд-во иностранной литературы, 1963. 551 с

2. 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>

3. 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>

4. 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>



Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.6 Техника ядерно-магнитного резонанса

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Физика магнитных явлений

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2017

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. 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, учебно-методические комплексы, 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 образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. 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.