

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ БИОМЕДИЦИНЫ

КАФЕДРА МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИФИБ

Протокол № 3.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.04.02 Физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
3	4	144	0	64	0		44	0	Э
Итого	4	144	0	64	0	0	44	0	

## АННОТАЦИЯ

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Основы МРТ» являются:

приобретение знаний в области физики и принципов магнитно-резонансной томографии (МРТ), получение знаний о различных стратегиях сбора данных в МРТ. В частности, студенты изучат явление ядерного магнитного резонанса, как генерируются МР-сигналы, принципы формирования изображения с помощью МРТ, теорию обработки сигналов, включающую преобразование Фурье и выборку Найквиста. Более того, обучающиеся будут иметь представление о контрастности мягких тканей в зависимости от параметров изображения, таких параметрах, как поле зрения, разрешение, об основных последовательностях в МРТ: спиновое эхо, градиентное эхо, быстрое спиновое эхо, инверсия-восстановление. Студенты станут компетентны в техническом обеспечении и принципах зонирования кабинета МРТ, будут иметь представление о различных применениях метода, возникающих артефактах и методах их устранения.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина относится к циклу дисциплин специализаций основной профессиональной образовательной программы 03.04.02 «Физика».

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
проектный			
Применение результатов научных исследований в инновационной деятельности, участие в формулировке новых	результаты научной деятельности	ПК-2.2 [1] - Способен обеспечивать физико-техническое сопровождение лучевой диагностики и терапии	З-ПК-2.2[1] - Знать: основы прикладной радиационной физики, физико-технические основы лучевой диагностики и

задач и разработке новых методических подходов в научно-инновационных исследованиях, разработка проектной документации, а также физико-техническое обеспечение лучевой диагностики и терапии		<p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>терапии, клинические основы лучевой диагностики и терапии, основы радиобиологии и радиационной безопасности, физико-технические и эксплуатационные характеристики, принципы и методы защиты от воздействия ионизирующего излучения; У-ПК-2.2[1] - Уметь: проводить проверки физико-технических параметров и нерадиационных характеристик оборудования, выбирать значения физико-технических параметров и протоколов визуализации, оптимальные для выполнения планируемого диагностического исследования; В-ПК-2.2[1] - Владеть: навыками оптимизации лучевой нагрузки на пациентов с точки зрения её минимизации при получении изображений диагностического качества, навыками калибровки и использования радиометров и клинических дозиметров,</p>
Применение результатов научных исследований в инновационной деятельности, участие в формулировке новых	Результаты научной деятельности	ПК-3 [1] - Способен разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов и схем	3-ПК-3[1] - знать основы проектирования технологических процессов производства

задач и разработке новых методических подходов в научно-инновационных исследованиях, разработка проектной документации		<p>производства устройств, приборов, систем и комплексов.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>устройств, приборов, систем и комплексов по профилю профессиональной деятельности ;</p> <p>У-ПК-3[1] - уметь проводить анализ современных технологических процессов и схем производства, перспективных материалов для производства устройств, приборов, систем и комплексов по профилю профессиональной деятельности;</p> <p>В-ПК-3[1] - владеть навыками составления технического задания на проектирование технологических процессов и схем производства устройств, приборов, систем и комплексов по профилю профессиональной деятельности</p>
научно-исследовательский			
Проведение научных исследований в рамках заданной тематики, работа с научной литературой с использованием новых информационных технологий, слежение за научной периодикой, а также выбор технических средств и оборудования, необходимого для проведения исследования; составление рефератов, написание и оформление научных статей	Биологические объекты различной организации	<p>ПК-1 [1] - Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-1[1] - знать методы проведения научных исследований и выполнения опытно-конструкторских работ в области физики ;</p> <p>У-ПК-1[1] - уметь самостоятельно формулировать цели, ставить задачи научных исследований в своей профессиональной сфере; решать физические задачи с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием</p>



							3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
--	--	--	--	--	--	--	------------------------------

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
Т	Тестирование
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	0	64	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	0	34	0
1	<b>Введение. Обзор МРТ</b> Введение. История развития МРТ. МРТ – метод медицинской визуализации. Тема 1. Явление магнитного резонанса Явление ядерного магнитного резонанса. Магнитные свойства ядер. Распределение Больцмана. Уравнение Лармора.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Введение. Явление ЯМР</b> Спин. Намагниченность. Явление резонанса. Прецессия. Физика релаксации. Метод получения эхо-сигнала (метод Хана).	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Аппаратура.</b> Типы магнитов. Сверхпроводимость. Основное оборудование и блок-схема магнитно-резонансного томографа. Градиентные катушки. Радиочастотные катушки.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Импульсные последовательности.</b> Последовательность спин-эхо. Последовательность градиентное эхо. Основные характеристики последовательностей. Восстановление с частичным или полным насыщением.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Создание изображения.</b> Преобразование Фурье. Частотное кодирование. Фазовое кодирование. Селективное выделение слоя исследуемого объекта. Кодирование частоты и фазы сигнала. Многосрезовая томография.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>К-пространство.</b> К-пространство. Пространственные частоты. К-пространственные траектории. Поле зрения.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

7	<b>Быстрая визуализация.</b> Турбо спин-эхо. Быстрое спин-эхо. Двойное эхо в быстром спин-эхо. Гиперэхо. Яркий жир. Управляемое равновесие. Эхо-планарные изображения.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
8	<b>Контрольная работа 1</b> -	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
8	<b>Контрастные вещества.</b> Гадолиний. Парамагнитная релаксация. Влияние на T1 и T2. Позитивные и негативные контрастные агенты.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
9-16	<b>Второй раздел</b>	Всего аудиторных часов		
		0	30	0
		Онлайн		
9	<b>Сердечно-сосудистые заболевания и магнитно-резонансная ангиография. МРТ сердца.</b> Эффекты потока в МРТ. Влияние скорости крови на изображение сосудов. Время-пролётная ангиография (TOF). Фазо-контрастная ангиография (PC). МРА 2D и 3D. Перенос намагниченности. Гейтинг: проспективный, ретроспективный.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
10	<b>Артефакты в МРТ</b> Артефакты, связанные с тканями: артефакт химического сдвига 1 рода, артефакт восприимчивости, диэлектрический эффект. Артефакты, связанные с движением: дискретные призраки, направление движения артефакта, импульсы насыщения, методы гейтирования. Артефакты, связанные с техникой: эффекты частичного объема, передискретизация фазы, артефакт Гиббса, призраки Найквиста, артефакт молнии.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
11	<b>Функциональная визуализация.</b> Артефакты, связанные с радиочастотными импульсами и градиентными полями. Артефакты обработки сигнала и построения изображений	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
12	<b>Артефакты в МРТ</b> Внутрисосудистые индикаторы. Внеклеточные трейсеры. Диффундирующие индикаторы. Функциональная МРТ.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
13	<b>Продвинутые темы.</b> Картирование хряща T2. МР-эластрография. Синтетическая МРТ. Амидный перенос протона. МР-термография. Визуализация электрических свойств.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
14	<b>Безопасность.</b> Зонирование кабинета МРТ. Пассивные и активные имплантаты. Биоэффекты статического поля. Биологические эффекты РЧ-поля. Удельный коэффициент поглощения. Безопасность градиента.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
15	<b>ЯМР со слабым полем</b> ЯМР-спектроскопия для контроля процесса производства. ЯМР-томография для контроля качества. ЯМР-каротаж	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
16	<b>Контрольная работа 2</b>	Всего аудиторных часов		
		0	0	0
		Онлайн		

	-	0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>3 Семестр</i>
1	<b>Введение. Обзор МРТ.</b> Введение. История развития МРТ. МРТ – метод медицинской визуализации. Тема 1. Явление магнитного резонанса Явление ядерного магнитного резонанса. Магнитные свойства ядер. Распределение Больцмана. Уравнение Лармора.
2	<b>Введение. Явление ЯМР.</b> Спин. Намагниченность. Явление резонанса. Прецессия. Физика релаксации. Метод получения эхо-сигнала (метод Хана).
3	<b>Аппаратура.</b> Типы магнитов. Сверхпроводимость. Основное оборудование и блок-схема магнитно-резонансного томографа. Градиентные катушки. Радиочастотные катушки.
4	<b>Импульсные последовательности.</b> Последовательность спин-эхо. Последовательность градиентное эхо. Инверсия-восстановление. Выбор параметров последовательностей. Зависимость амплитуды сигнала от них. Основные характеристики последовательностей. Восстановление с частичным или полным насыщением.
5	<b>Создание изображения.</b> Преобразование Фурье. Частотное кодирование. Фазовое кодирование. Селективное выделение слоя исследуемого объекта. Кодирование частоты и фазы сигнала. Многосрезовая томография.
6	<b>К-пространство.</b> К-пространство. Пространственные частоты. К-пространственные траектории. Поле зрения.
7	<b>Быстрая визуализация.</b> Турбо спин-эхо. Быстрое спин-эхо. Двойное эхо в быстром спин-эхо. Гиперэхо. Яркий жир. Управляемое равновесие. Эхо-планарные изображения.
8	<b>Контрастные вещества.</b> Гадолиний. Парамагнитная релаксация. Влияние на T1 и T2. Позитивные и



	негативные контрастные агенты.
9	<b>Сердечно-сосудистые заболевания и магнитно-резонансная ангиография. МРТ сердца.</b> Эффекты потока в МРТ. Влияние скорости крови на изображение сосудов. Время-пролётная ангиография (TOF). Фазо-контрастная ангиография (PC). МРА 2D и 3D. Перенос намагниченности. Гейтинг: проспективный, ретроспективный.
10	<b>Артефакты в МРТ.</b> Артефакты, связанные с тканями: артефакт химического сдвига 1 рода, артефакт восприимчивости, диэлектрический эффект. Артефакты, связанные с движением: дискретные призраки, направление движения артефакта, импульсы насыщения, методы гейтирования. Артефакты, связанные с техникой: эффекты частичного объема, передискретизация фазы, артефакт Гиббса, призраки Найквиста, артефакт молнии.
11	<b>Функциональная визуализация.</b> Внутрисосудистые индикаторы. Внеклеточные трейсеры. Диффундирующие индикаторы. Функциональная МРТ.
12	<b>Продвинутые темы.</b> Картирование хряща T2. МР-эластрография. Синтетическая МРТ. Амидный перенос протона. МР-термография. Визуализация электрических свойств
13	<b>Безопасность.</b> Зонирование кабинета МРТ. Пассивные и активные имплантаты. Биоэффекты статического поля. Биологические эффекты РЧ-поля. Удельный коэффициент поглощения. Безопасность градиента.
14	<b>ЯМР со слабым полем</b> ЯМР-спектроскопия для контроля процесса производства. ЯМР-томография для контроля качества. ЯМР-каротаж

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Дисциплина «Магнитно-резонансная томография» совмещает в себе традиционные, интерактивные и информационно-коммуникационные образовательные технологии, электронный курс на Открытом образовании «Основы МРТ».

Первый раздел курса представляет собой изучение физических основ МРТ: явление ядерно-магнитного резонанса, времена релаксации, а также используемой аппаратуры (магниты, катушки). Этот раздел осуществляется при помощи традиционных образовательных технологий – практических занятий, посвященных освоению конкретных тем, умений и навыков, отработке полученных навыков на практических занятиях на симуляторе МРТ (анализ графиков временных релаксаций, основ получения МР-изображений, выборов параметров импульсных последовательностей).

Во втором разделе курса рассматриваются методы уменьшения времени получения изображений, МР-ангиография, применение контрастирующих агентов, артефакты и требования безопасности, некоторые современные достижения и разработки метода. Этот раздел содержит много иллюстраций, блок-схем и изображений, поэтому для многих тем данного раздела используются презентации для представления материала, включающие видеоматериалы. Кроме того, два занятия (Тема 8 и 12) отведены на доклады. В рамках этих занятий студенты представляют одноклассникам подготовленные на заданные темы доклады, отвечая на вопросы и обсуждая свою тему со всеми присутствующими. Таким образом, во втором разделе дисциплины реализуются интерактивные и информационно-коммуникационные

образовательные технологии, и на интерактивную форму обучения в рамках данного курса отводится в среднем около 20 часов.

Помимо аудиторной нагрузки, 28 часов отведено на самостоятельную работу студентов. Она заключается в самостоятельном закреплении пройденного материала для подготовки к тестам текущего контроля и подготовке докладов на одну из заданных тем (список тем для докладов представлен в файле с ФОС по предмету «Магнитно-резонансная томография»).

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	Э, Т-8, Т-16
	У-ПК-1	Э, Т-8, Т-16
	В-ПК-1	Э, Т-8, Т-16
ПК-3	З-ПК-3	Э, Т-8, Т-16
	У-ПК-3	Э, Т-8, Т-16
	В-ПК-3	Э, Т-8, Т-16
ПК-2.2	З-ПК-2.2	Э, Т-8, Т-16
	У-ПК-2.2	Э, Т-8, Т-16
	В-ПК-2.2	Э, Т-8, Т-16

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89		B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	

65-69			Оценка «удовлетворительно»
60-64	3 – «удовлетворительно»	Е	выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 61 К17 Компьютерная томография : основы, техника, качество изображений и области клинического использования, Календер В., Москва: Техносфера, 2006
2. ЭИ М12 Магнитно-резонансная томография в диагностике и дифференциальной диагностике рассеянного склероза : учебное пособие, Кротенкова М.В., Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2019
3. ЭИ М12 МРТ. Органы малого таза у женщин : руководство для врачей : Серия "Практическая магнитно-резонансная томография", Труфанов Г.Е., Фокин В.А., Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021
4. 61 Ф50 Физические методы медицинской интроскопии : учебное пособие для вузов, Никитаев В.Г. [и др.], Москва: МИФИ, 2009

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 61 Л12 Лабораторный практикум "Томографические методы медицинской физики" : , Дубов Л.Ю. [и др.], Москва: МИФИ, 2005
2. 537 Ф88 Магнитный резонанс в химии и медицине : , Фримэн Р., Москва: КРАСАНД, 2009
3. 539.1 Л84 ЯМР-спектроскопия : , Лундин А.Г., Федин Э.И., М.: Наука, 1986

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

**8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

**9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

-

**10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

-

Автор(ы):

Громушкина Елена Вячеславовна

Воронкова Елена Валерьевна