

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**  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕДИЦИНЕ**

Направление подготовки [1] 03.04.02 Физика  
(специальность)

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
2	3	108	15	15	0		42	0	Э КР
Итого	3	108	15	15	0	0	42	0	

## АННОТАЦИЯ

Современная ядерная медицина включает в себя, как диагностические, так и терапевтические методы, основанные на использовании ионизирующих ядерных излучений. Для реализации этих методик разрабатываются сложные физические установки, понимание всех особенностей работы которых необходимо медицинскому физику для того, чтобы максимально эффективно использовать их в целях диагностики и лечения пациентов. Разработка и, как правило, функционирование этих систем невозможно без применения математических моделей, описывающих взаимодействие ядерных излучений с биологическими объектами, а также с элементами конструкции данных установок. Одним из самых универсальных и достоверных методов моделирования процессов, связанных с применением ядерных излучений, является метод Монте-Карло. На основе этого метода строятся многие системы планирования в лучевой терапии. Этот метод используется при конструировании диагностических систем для оценки их эксплуатационных характеристик. В мире существует несколько общепризнанных систем моделирования ядерно-физических процессов на основе метода Монте-Карло. Большинство из них являются коммерческими и имеют ограниченное применение для разработки на их основе «фирменных» коммерческих программных продуктов для конкретных терапевтических и диагностических систем. Система моделирования Geant4, разработанная в европейском центре ядерных исследований ЦЕРН, является общедоступной и обладает высокой степенью апробированности и надежности. Одним из ее расширений является система GATE(Geant4 Application for Emission Tomography), предназначенная для моделирования медицинских систем получения изображений и радиотерапевтических систем. В настоящее время GATE поддерживает моделирование эмиссионных видов томографии (ПЭТ и ОФЭКТ), компьютерной рентгеновской томографии, а также различных устройств для радиотерапии.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Математическое моделирование в медицине» являются:

- формирование у студентов понимания взаимосвязи различных физических процессов, лежащих в основе работы медицинских ядерно-физических систем
- изучение методики моделирования распространения излучений в биологических объектах на основе метода Монте-Карло
- изучение и освоение базовыми навыками работы с системой моделирования для ядерной медицины GATE, основанной на библиотеках моделей физических процессов Geant4.
- формирование у студентов представления о возможностях и ограничениях современных методов медицинской визуализации, о конструкции и особенностях функционирования различных типов томографов и сканеров для медицинской диагностики, использующих ионизирующие излучения.
- развитие навыков разработки и использования компьютерных математических моделей для оценки рабочих параметров диагностических и терапевтических систем ядерной медицины.

## 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данная дисциплина относится к Общенаучному модулю.

Она является заключительной частью программы подготовки медицинского физика в области математического моделирования. «Входными» знаниями являются знания общей физики, математики, информатики, ядерной физики, методов регистрации ионизирующих излучений.

Для освоения данной дисциплины необходимо предшествующее освоение курсов общей физики, высшей математики, ядерной физики основ интроскопии, физики визуализации изображений в медицине, радиационной физики, анатомии и физиологии человека.

### 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
			научно-исследовательский
Физико-техническое обеспечение ядерной медицины	Гамма-камеры, ОФЭКТ, ПЭТ, в том числе гибридные томографы; циклотроны и оборудование для наработки радионуклидов, радиофармпрепараты ; приборы для клинической радиометрии	ПК-3.3 [1] - Способен проводить математическую и компьютерную обработку, интерпретацию и анализ результатов радионуклидных исследований  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-3.3[1] - знать физико-технические, клинические и радиационно-гигиенические основы ядерной медицины; знать основы информатики, методы, алгоритмы и программы статистической обработки результатов исследований, математические методы оцифровки, компьютерной обработки и количественного анализа радионуклидных и мультимодальных изображений; У-ПК-3.3[1] - уметь совместно с врачом радиологом реконструировать и анализировать томографическом

			<p>изображения с целью определения по ним диагностически информативных количественных параметров и характеристики; уметь оказывать врачу-радиологу методическую помощь в ста. обработке результатов радионуклидных диагностических исследований и в оценке эффективности курсов лечения на основе результатов указанных исследований;</p> <p>В-ПК-3.3[1] - владеть навыками компьютерной обработки радионуклидных изображений на гамма-камерах и гамма-томографах, в том числе и с использованием технологий мультимодальной визуализации; владеть навыками статистической обработки и дифференциально-диагностическом анализе результатов радионуклидных исследований</p>
Проведение научных исследований в рамках данной тематики, работа с научной литературой с использованием новых информационных технологий, слежение за научной периодикой, а также выбор технических средств и	Биологические объекты различной организации	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>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</p>

оборудования, необходимого для проведения исследования; составление рефератов, написание и оформление научных статей		<i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта; В-ПК-1[1] - владеть навыками работы на современной аппаратуре, оборудовании; навыками использования информационных технологий в своей профессиональной области
проектный			
Применение результатов научных исследований в инновационной деятельности, участие в формулировке новых задач и разработке новых методических подходов в научно-инновационных исследованиях, разработка проектной документации	Результаты научной деятельности	ПК-2 [1] - Способен принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-2[1] - знать современные направления исследований в своей профессиональной области ; У-ПК-2[1] - уметь анализировать и выявлять перспективные направления в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности ; В-ПК-2[1] - владеть современными методиками и подходами в решении научноинновационных и инженернотехнологических задач в профессиональной сфере

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>2 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	12/4/0		25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2,

						У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3.3, У-ПК-3.3, В-ПК-3.3
2	Часть 2	9-15	3/11/0	25	КИ-15	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3.3, У-ПК-3.3, В-ПК-3.3
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/15/0	50		
	<b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b>			50	Э, КР	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3.3, У-ПК-3.3, В-ПК-3.3, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3.3, У-ПК-3.3, В-ПК-3.3

\* – 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
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен
КР	Курсовая работа

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	15	15	0
1-8	<b>Часть 1</b>	12	4	0

1	<b>Тема 1.</b> Принципы моделирования распространения излучения методом Монте-Карло.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
2	<b>Тема 2.</b> Моделирование распространения гамма-излучения.	Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Тема 3.</b> Моделирование переноса электронов методом укрупненных взаимодействий.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
4	<b>Тема 4.</b> Структура программного пакета Gate. Особенности его установки, ввода исходной информации и вывода результатов при работе в операционной системе Windows.	Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Тема 5.</b> Геометрическое описание моделируемой системы. Задание положения, формы, размеров, материала физических объемов.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
6	<b>Тема 6.</b> Описание источника излучения. Форма, положение, направление вылета частиц, спектр.	Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Тема 7.</b> Понятие системы. Чувствительный объем. Вывод информации в hits-, singles- и coincidences-файлы.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
8	<b>Тема 8.</b> Моделирование электронного тракта в Gate. Инструмент Digitizer.	Онлайн		
		0	0	0
<b>9-15</b>	<b>Часть 2</b>	3	11	0
9	<b>Тема 9.</b> Организация программных счетчиков с помощью инструмента Actor.	Всего аудиторных часов		
		3	0	0
10	<b>Тема 10.</b> Моделирование рентгеновского компьютерного томографа.	Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Тема 11.</b> Моделирование гамма-камеры однофотонного эмиссионного томографа.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
12	<b>Тема 12.</b> Моделирование позитронно-эмиссионного томографа.	Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Тема 13.</b>	Всего аудиторных часов		

	Моделирования системы оценки качества протонного пучка для протонной терапии.	0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Тема 14.</b> Моделирование лучевой терапии с использованием электронных пучков и тормозного излучения. Моделирование задач брахитерапии.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Тема 15.</b> Моделирование распространения света в сцинтилляторах.	Всего аудиторных часов		
		0	1	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

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс «Математическое моделирование в медицине» представляет собой набор практических работ, направленных на ознакомление студентов с принципами моделирования работы различных радиодиагностических и терапевтических устройств ядерной медицины с использованием метода Монте-Карло.

На первом этапе изучаются принципы моделирования распространения и регистрации гамма и бета излучений в биологических объектах и технических системах. Для этого на основе фундаментальных подходов, изложенных в методических пособиях [1] и [2], с помощью пакета Matlab и библиотеки сечений с сайта национального института стандартов США nist.gov разрабатываются модели, позволяющие моделировать процессы взаимодействия гамма-квантов и электронов с веществом в простейших геометрических конфигурациях. Эти модели позволяют практически освоить основы самого метода Монте-Карло, изучить особенности моделируемых физических процессов, а также освоить методику сбора и обработки данных, получаемых в ходе модельного эксперимента. Этот этап предполагает теоретическое ознакомление студентов с принципами моделирования в течении 4 лекционных часов и практическое написание программ на языке Matlab, реализующих две математические модели: для распространения гамма квантов в гомогенном кубическом или цилиндрическом фантоме и для распространения электронов в водном кубическом фантоме. По каждой из моделей проводится исследование изменения выходных данных от входных параметров и пишется отчет.

Во второй части курса изучается структура программного комплекса GATE и происходит его практическое освоение, как в ходе аудиторных практических работ так и в ходе самостоятельной работы студентов. Для каждого студента ставится задача, связанная либо с получением изображений в различных видах томографии – КТ, ПЭТ и ОФЭКТ, либо с облучением биологических объектов в целях лучевой терапии. Каждое задание включает в себя описание проблемы, постановку цели и задач, ознакомление с теоретическим материалом, необходимым для ее решения, разработку в пакете GATE математической модели распространения и регистрации излучений, а также написание в среде Matlab программ, реализующих обработку модельных данных полученных с помощью GATE. Во время занятия студенты имеют возможность консультироваться друг с другом и с преподавателем по вопросам решения поставленных задач, демонстрируют полученные ими результаты и анализируют их.

Каждое занятие совмещает в себе традиционные (лекционные 8 часов), интерактивные и информационно-коммуникационные образовательные технологии, и на интерактивную форму обучения в рамках данного курса отводится аудиторное время практических занятий – 10 часов.

Помимо аудиторной нагрузки, 60 часов отведено на самостоятельную работу студентов. Она заключается в самостоятельном закреплении пройденного материала и выполнении домашних заданий, предусмотренных в рамках данной дисциплины.

## 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	КР, Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1	КР, Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1	КР, Э, КИ-8, КИ-15
ПК-2	З-ПК-2	КР, Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2	КР, Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2	КР, Э, КИ-8, КИ-15
ПК-3.3	З-ПК-3.3	КР, Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3.3	КР, Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3.3	КР, Э, КИ-8, КИ-15

### 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	
75-84		C	
70-74	4 – «хорошо»	D	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69			Оценка «удовлетворительно» 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.
60-64	3 – «удовлетворительно»	E	
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	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. ЭИ К59 Математическое моделирование : учеб. пособие, Козин Р.Г., М.: МИФИ, 2008
2. ЭИ К59 Математическое моделирование: примеры решения задач : учебно-методическое пособие, Козин Р.Г., Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
3. 539.1 П16 Моделирование переноса излучения : учебное пособие для вузов, Панин М.П., Москва: МИФИ, 2008
4. 539.1 С50 Моделирование процесса переноса электронов в задачах радиационной физики : учебное пособие для вузов, Смирнов В.В., Москва: МИФИ, 2008
5. ЭИ С37 Томографические измерительные информационные системы: рентгеновская компьютерная томография : учебное пособие, Симонов Е.Н., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 519 С30 Введение в математическое моделирование : , Семененко М.Г., Москва: СОЛОН-Р, 2002
2. 519 Г37 Математические модели в биологии,экологии и медицине : Учеб.пособие, Герасимов А.Н., М.: МИФИ, 1998
3. 61 Б44 Физика ядерной медицины Ч.2 Позитронно-эмиссионные сканеры, реконструкция изображений в позитронно-эмиссионной томографии, комбинированные системы ПЭТ/КТ и ОФЭКТ/ПЭТ, кинетика радиофармпрепаратов, радионуклидная терапия, внутренняя дозиметрия, радиационная безопасность, Беляев В.Н., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
4. 61 Э55 Эмиссионная томография: основы ПЭТ и ОФЭКТ : , , Москва: Техносфера, 2009

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

## LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

<http://library.mephi.ru/>

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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

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

Современная медицинская диагностика – сложный процесс получения достоверных и точных данных, как в количественном, так и в качественном отношении. Вместе с тем, важнейшей особенностью современного обследования больного является стремление изучить патологически измененный орган в динамике обычного функционирования без использования инвазивных методов. Томографические методы являются одними из самых точных и совершенных в решении задач медицинской диагностики. К настоящему времени разработан целый комплекс способов объемной визуализации внутренней структуры и процессов функционирования организма, основанных на различных физических явлениях. Большинство из них рассматриваются в рамках данной дисциплины.

Целями освоения учебной дисциплины «Томографические методы в медицине» являются:

– формирование у студентов представления о возможностях и ограничениях современных методов медицинской визуализации, о конструкции и особенностях применения различных типов томографов и сканеров для медицинской диагностики.

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

Курс «Математическое моделирование в медицине» представляет собой набор практических работ, направленных на ознакомление студентов с принципами моделирования работы различных радиодиагностических и терапевтических устройств ядерной медицины с использованием метода Монте-Карло.

На первом этапе изучаются принципы моделирования распространения и регистрации гамма и бета излучений в биологических объектах и технических системах. Для этого на основе фундаментальных подходов, изложенных в методических пособиях [1] и [2], с помощью пакета Matlab и библиотеки сечений с сайта национального института стандартов США nist.gov разрабатываются модели, позволяющие моделировать процессы взаимодействия гамма-квантов и электронов с веществом в простейших геометрических конфигурациях. Эти модели позволяют практически освоить основы самого метода Монте-Карло, изучить особенности моделируемых физических процессов, а также освоить методику сбора и обработки данных, получаемых в ходе модельного эксперимента. Этот этап предполагает теоретическое ознакомление студентов с принципами моделирования в течении 4 лекционных часов и практическое написание программ на языке Matlab, реализующих две математические модели: для распространения гамма квантов в гомогенном кубическом или цилиндрическом фантоме и для распространения электронов в водном кубическом фантоме. По каждой из моделей проводится исследование изменения выходных данных от входных параметров и пишется отчет.

Во второй части курса изучается структура программного комплекса GATE и происходит его практическое освоение, как в ходе аудиторных практических работ так и в ходе самостоятельной работы студентов. Для каждого студента ставится задача, связанная либо с получением изображений в различных видах томографии – КТ, ПЭТ и ОФЭКТ, либо с облучением биологических объектов в целях лучевой терапии. Каждое задание включает в себя описание проблемы, постановку цели и задач, ознакомление с теоретическим материалом, необходимым для ее решения, разработку в пакете GATE математической модели распространения и регистрации излучений, а также написание в среде Matlab программ, реализующих обработку модельных данных полученных с помощью GATE. Во время занятия студенты имеют возможность консультироваться друг с другом и с преподавателем по вопросам решения поставленных задач, демонстрируют полученные ими результаты и анализируют их.

Каждое занятие совмещает в себе традиционные (лекционные 8 часов), интерактивные и информационно-коммуникационные образовательные технологии, и на интерактивную форму обучения в рамках данного курса отводится аудиторное время практических занятий – 24 часа.

Помимо аудиторной нагрузки, 60 часов отведено на самостоятельную работу студентов. Она заключается в самостоятельном закреплении пройденного материала и выполнении домашних заданий, предусмотренных в рамках данной дисциплины.

Автор(ы):

Дубов Леонид Юрьевич