

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Обнинский институт атомной энергетики –**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

## **ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Одобрено на заседании  
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол от 24.04.2023 № 23.4

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Ядерная медицина / Nuclear Medicine

для направления подготовки

14.03.01 "Ядерная энергетика и теплофизика"

образовательная программа

Nuclear Technologies

Форма обучения: очная

**г. Обнинск 2023 г.**

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Цель изучения дисциплины:**

получение знаний об основных новых технологиях в ядерной медицине и их применении в лучевой терапии, физических основах новых технологий в ядерной медицине, специализированных центрах лучевой терапии в мире и в России, перспективах развития новых технологий в ядерной медицине.

Формируемые дисциплиной знания и умения готовят выпускника данной образовательной программы к выполнению следующих обобщенных трудовых функций.

### **Задачи изучения дисциплины:**

- получение знаний об основных новых технологиях в ядерной медицине и их применении в лучевой терапии, физических основах новых технологий в ядерной медицине, специализированных центрах лучевой терапии в мире и в России, перспективах развития новых технологий в ядерной медицине;
- применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности;
- овладение навыком определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ (далее – ОП)**

Дисциплина реализуется в рамках части, формируемой участниками образовательных отношений, и относится к профессиональному модулю.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

- Иностранный язык в сфере профессиональной коммуникации
- История и методология науки и производства
- Клиническая дозиметрия и радиационная безопасность в медицинской радиологии
- Медико-физические основы компьютерной томографии
- Медико-физические основы радионуклидной диагностики
- Перспективные ядерные технологии (инновационные технологии ядерной медицины)
- Производственная практика: научно-исследовательская работа
- Радиационная патология человека
- Ядерно-физические технологии и РФП

Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

- Производственная практика: преддипломная практика
- Радиационная гигиена

Дисциплина изучается на II курсе в 6 семестре.

## **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

В результате освоения ОП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенций	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-1	Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	З-ОПК-1 – Знать: фундаментальные законы и принципы физики; основы психологии и педагогики. У-ОПК-1 – Уметь: применять полученные знания для решения научно-исследовательских задач в своей профессиональной деятельности; представлять законы и принципы физики в виде математических уравнений, формул, графиков, качественного описания; применять основы психологии, методики преподавания в педагогической деятельности. В-ОПК-1 – Владеть: навыками решения научно-исследовательских задач в области экспериментальной и теоретической физики; педагогическими технологиями, необходимыми для ведения преподавательской деятельности.
ОПК-4	Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности	З-ОПК-4 – Знать: основные этапы внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности. У-ОПК-4 – Уметь: проводить анализ потенциальных сфер внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности. В-ОПК-4 – Владеть: навыками апробации результатов научных исследований.

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Не требуется

#### 5. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Вид работы	Количество часов на вид работы
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателем</b>	
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>42</b>
В том числе:	
<i>лекции</i>	12
<i>практические занятия</i>	30
<b>Промежуточная аттестация</b>	+
В том числе:	
<i>зачет</i>	+
<b>Самостоятельная работа обучающихся</b>	
<b>Самостоятельная работа обучающихся</b>	<b>66</b>
<b>Всего (часы):</b>	<b>108</b>

**Всего (зачетные единицы):**

**3**

**6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ**

**6.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)**

Неделя	Наименование раздела /темы дисциплины	Виды учебной работы				
		Лек	Пр	Лаб	Внеауд	СРО
1-6	<b>1. Лучевая терапия пи-мезонами</b>	<b>4</b>	<b>10</b>			<b>22</b>
1-3	1.1. Историческая справка. Физические основы лучевой терапии пи-мезонами	2	4			10
4-6	1.2. Центры лучевой терапии пи-мезонами в мире и в России. Перспективы	2	6			12
7-12	<b>2. Лучевая терапия ионами гелия и кислорода</b>	<b>4</b>	<b>10</b>			<b>22</b>
7-9	2.1. Историческая справка. Физические основы лучевой терапии ионами гелия и кислорода	2	4			10
10-12	2.2. Центры лучевой терапии ионами гелия и кислорода в мире и в России. Перспективы	2	6			12
13-18	<b>3. Лучевая терапия антипротонами</b>	<b>4</b>	<b>10</b>			<b>22</b>
13-15	3.1. Историческая справка. Физические основы лучевой терапии антипротонами	2	4			10
16-18	3.2. Применение антипротонов для лучевой терапии в мире и в России. Перспективы	2	6			12
	<b>Всего:</b>	<b>12</b>	<b>30</b>			<b>66</b>

*Прим.: Лек – лекции, Пр – практические занятия / семинары, Лаб – лабораторные занятия, Внеауд – внеаудиторная работа, СРО – самостоятельная работа обучающихся*

**6.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)**

*Лекционный курс*

Неделя	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1-6	<b>1. Лучевая терапия пи-мезонами</b>	
1-3	1.1. Историческая справка. Физические основы лучевой терапии пи-мезонами	<p>Историческая справка об открытии и применении пи-мезонов в лучевой терапии.</p> <p>Этапы развития адронной лучевой терапии:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использование исследовательских пучков, поиск оптимальных видов, энергий излучения;</li> <li>- переход к использованию специализированных медицинских источников, определение показаний;</li> <li>- создание специализированных центров, унификация параметров источников излучения, стандартизация методик.</li> </ul> <p>Дозовое распределение пи-мезонов.</p> <p>На большей части своего пробега пи-мезоны</p>

производят ионизацию, подобно быстрым протонам. В конце пути ионизационные потери пионов возрастают (пик Брэгга), а затем они останавливаются и со 100% вероятностью захватываются атомами (кислородом и азотом тканей), образуя пи-мезонные атомы. Далее путём каскадных переходов пионы достигают близких к ядру орбит и захватываются ядром. В ядро вносится энергия 140 МэВ, в результате чего оно сильно возбуждается и разрушается с испусканием большого числа лёгких фрагментов типа p, n,  $^3\text{He}$ , T и  $\alpha$ -частиц (образование звезды). Происходит сильная ионизация вещества и разрушение злокачественной клетки.

Относительная биологическая эффективность фрагментов составляет 3,6. Поскольку проникающая способность высокоэнергетичных пионов велика, возможно облучение глубоко расположенных опухолей. В настоящее время на базе крупных ускорительных центров (мезонных фабрик) созданы лучевые терапевтические комплексы.

Медицинский пучок пи-мезонов получают взаимодействием протонного пучка с энергией 500 МэВ с лёгкой мишенью. Импульсный спектрометр отделяет отрицательно заряженные пионы от вторичных частиц, образовавшихся в мишени. Затем мезоны коллимируются для формирования моноэнергетического пи-пучка, используемого для радиационной терапии. Аппаратура обеспечивает даже в объёме 1 дм<sup>3</sup> мощность дозы 0,5 Гр/мин. Подбором энергии пионов регулируют длину их пробега, внедряя точно в опухоль. Пучок сканирует опухоль под управлением компьютерной томографии.

Пионная радиотерапия используется для борьбы с опухолями мозга и таза.

Субатомные частицы, называемые пи-мезонами, обеспечивают ядерную силу связи между ядрами. Эти частицы образуются, когда протоны (600+ МэВ) воздействуют на мишень. Образуются три типа мезонов: нейтральная форма, положительная форма и отрицательная форма. Для лучевой терапии используется отрицательная форма пи-мезонов. Когда отрицательный пи-мезон замедляется, он захватывается ядром, заставляя его «взрываться», подобно процессам, происходящим внутри звезды, производя нейтроны и заряженные ядерные осколки, обладающие свойствами высокой плотности. Отрицательные пи-мезоны (пионы) были использованы для лечения 228 пациентов в

		<p>Центре физики мезонов в Лос-Аламосе с 1974 по 1981 год. 129 пациентов получали только пионотерапию. У всех пациентов было локальное заболевание, и было пролечено несколько различных участков. Местный контроль был достигнут у 86% пациентов с раком предстательной железы, у 26% - с раком головы и шеи, и ни у одного из них не было рака поджелудочной железы. Наблюдался резкий рост частоты осложнений после уровня дозы 3750 кГр. Пи-мезоны больше не использовались в клинической практике.</p>
4-6	<p>1.2. Центры лучевой терапии пи-мезонами в мире и в России. Перспективы</p>	<p>Интенсивные пучки пи-мезонов средних энергий, получаемые на мезонных фабриках, начинают применять в прикладных целях, в частности, в лучевой терапии злокачественных опухолей.</p> <p>Мезонная фабрика, ускоритель протонов и/или отрицательных ионов водорода, предназначенный для получения пучков пи-мезонов и мюонов, возникающих при взаимодействии потока первичных частиц с мишенью.</p> <p>Пи-мезонная терапия основана на использовании отрицательных пи-мезонов – ядерных частиц, генерируемых на специальных установках. Пи-мезоны обладают благоприятным дозовым распределением, а также более высокой биологической эффективностью на единицу дозы. Клиническое применение пи-мезонов осуществляется в США и Швейцарии.</p> <p>Крупнейшие мезонные фабрики:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- линейный ускоритель LAME (Лос-Аламос, США);</li> <li>- изохронный циклотрон SIN (Цюрих, Швейцария);</li> <li>- изохронный циклотрон TRIUMF (Ванкувер, Канада);</li> <li>- Московская мезонная фабрика (ММФ) (ИЯИ РАН, Троицк);</li> <li>- медико-технический комплекс лаборатории ядерных проблем ОИЯИ для адронной терапии (Дубна).</li> </ul>
7-12	<p><b>2. Лучевая терапия ионами гелия и кислорода</b></p>	
7-9	<p>2.1. Историческая справка. Физические основы лучевой терапии ионами гелия и кислорода</p>	<p>Историческая справка об открытии и применении ионов гелия и кислорода в лучевой терапии.</p> <p>Радиотерапия тяжелыми ионами зародилась в 70-х годах XX века. Ученым Векслеру и Макмиллану удалось получить пучки протонов и атомов гелия с энергией, необходимой для</p>

		<p>лечения опухолей залегающих глубоко в тканях. Для лечения тяжелыми ионами был создан специальный инновационный синхротрон (резонансный циклический ускоритель), способный производить импульсы высокой частоты и интенсивности. Вначале для проведения терапии использовали ионы гелия и аргона, позже начали применять углерод. К лучевой терапии тяжелыми ионами проявили большой интерес исследователи по всему миру. В 1994 году глобальная исследовательская программа стартовала в Японии в Национальном институте радиологических исследований, где с того времени прошли курс около 7 тысяч пациентов. Также многочисленные исследования проводились в Институте тяжелых ионов г. Дармштадт в Германии, где в настоящее время ежегодно проходят терапию пациенты со всего мира.</p> <p>Модифицированные кривые Брэгга для пучков ионов гелия, углерода и неона с учетом ОБЭ в зависимости от глубины в воде.</p> <p>Исследования, проведенные за последнее время в области терапии легкими ионами, показали, что среди ионов от ядер гелия до железа соотношение дозы в пике к дозе на входе в среду является наилучшим для ядер углерода.</p>
10-12	2.2. Центры лучевой терапии ионами гелия и кислорода в мире и в России. Перспективы	<p>Центр лучевой терапии тяжелыми ионами в Гейдельберге – в настоящее время это единственный во всем мире медицинский центр с оборудованием, в котором используются и протоны (ядра атомов водорода), и тяжелые ионы (прежде всего, ядра углерода, а также гелия и кислорода).</p>
13-18	<b>3. Лучевая терапия антипротонами</b>	
13-15	3.1. Историческая справка. Физические основы лучевой терапии антипротонами	<p>Историческая справка об открытии и возможности применения антипротонов в лучевой терапии.</p> <p>Использование пучков антипротонов – это дело будущего.</p> <p>Аннигиляция антипротона в теле человека. Дозовое распределение антипротонов. Образуются пионы, гамма-кванты и ядерные фрагменты.</p> <p>У антипротонов удельные потери энергии и радиобиологическое действие практически такие же как и у протонов. Различия начинаются в области пика Брэгга. По сравнению с протонами</p>

		<p>антипротоны испытывают аннигиляцию, ~ 95% которой происходит при их остановке, при этом выделяется энергия около 2 ГэВ. Большая часть выделяющейся энергии получают 4-5 высокоэнергетических пиона.</p> <p>Нейтральные пи-мезоны быстро распадаются на гамма-кванты с энергиями около 70–300 МэВ. Высокоэнергетические заряженные пионы уходят из области аннигиляции, не нанося заметных радиационных повреждений окружающим тканям. Однако заряженные пионы могут также вызывать в ядрах внутриядерные каскады, в результате которых ядра фрагментируются. Пробег заряженных ядерных фрагментов мал и они оставляют свою энергию в непосредственной близости к точке аннигиляции. В результате антипротоны по сравнению с протонами в области пика Брэгга оставляют заметно большую энергию. Более того, фрагменты ядер имеют повышенное радиобиологического действие из-за большого коэффициента качества.</p>
16-18	<p>3.2. Применение антипротонов для лучевой терапии в мире и в России. Перспективы</p>	<p>Для антипротонов может найтись медицинское применение. Сейчас в том же ЦЕРНе с 2003 года проводится эксперимент АСЕ, который изучает воздействие антипротонного пучка на живые клетки. Его цель – изучить перспективы использования антипротонов для терапии раковых опухолей.</p> <p>Антипротоны, попадая в вещество, не просто отдают свою кинетическую энергию, но еще и аннигилируют после остановки – и это усиливает энерговыделение в несколько раз. Где оседает это дополнительное энерговыделение – сложный вопрос, и его требуется внимательно изучить, прежде чем запускать клинические испытания. Именно этим и занимается эксперимент АСЕ. В ходе него исследователи пропускают пучок антипротонов через кюветку с бактериальной культурой и измеряют их выживаемость в зависимости от места, от параметров пучка, и от физических характеристик окружающей среды. Такой методичный сбор технических данных – важный начальный этап любой новой технологии. В ближайшее время участники проекта АСЕ совместно с коллегами из немецкого Общества по изучению тяжёлых ионов (Gesellschaft für Schwerionenforschung) планируют сравнить эффективность антипротонных пучков с пучками ионов углерода (которые также используются в онкологии). Судя по всему, дальнейшие испытания подтвердят эффективность антипротонов. Однако даже если это окажется так, применять их в клинической практике, по</p>



	оценкам специалистов, можно будет не ранее чем через десять лет.
--	--

*Практические занятия*

Неделя	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1-6	<b>1. Лучевая терапия пи-мезонами</b>	
1-3	1.1. Историческая справка. Физические основы лучевой терапии пи-мезонами	<p>Дозовое распределение пи-мезонов.</p> <p>На большей части своего пробега пи-мезоны производят ионизацию, подобно быстрым протонам. В конце пути ионизационные потери пионов возрастают (пик Брэгга), а затем они останавливаются и со 100% вероятностью захватываются атомами (кислородом и азотом тканей), образуя пи-мезонные атомы. Далее путём каскадных переходов пионы достигают близких к ядру орбит и захватываются ядром. В ядро вносится энергия 140 МэВ, в результате чего оно сильно возбуждается и разрушается с испусканием большого числа лёгких фрагментов типа p, n, <sup>3</sup>He, T и α-частиц (образование звезды). Происходит сильная ионизация вещества и разрушение злокачественной клетки.</p> <p>Относительная биологическая эффективность фрагментов составляет 3,6. Поскольку проникающая способность высокоэнергетичных пионов велика, возможно облучение глубоко расположенных опухолей. В настоящее время на базе крупных ускорительных центров (мезонных фабрик) созданы лучевые терапевтические комплексы.</p> <p>Медицинский пучок пи-мезонов получают взаимодействием протонного пучка с энергией 500 МэВ с лёгкой мишенью. Импульсный спектрометр отделяет отрицательно заряженные пионы от вторичных частиц, образовавшихся в мишени. Затем мезоны коллимируются для формирования моноэнергетического пи-пучка, используемого для радиационной терапии.</p> <p>Аппаратура обеспечивает даже в объёме 1 дм<sup>3</sup> мощность дозы 0,5 Гр/мин. Подбором энергии пионов регулируют длину их пробега, внедряя точно в опухоль. Пучок сканирует опухоль под управлением компьютерной томографии.</p> <p>Пионная радиотерапия используется для борьбы с опухолями мозга и таза.</p> <p>Субатомные частицы, называемые пи-мезонами, обеспечивают ядерную силу связи между ядрами. Эти частицы образуются, когда протоны (600+ МэВ) воздействуют на мишень. Образуются три</p>

		<p>типа мезонов: нейтральная форма, положительная форма и отрицательная форма. Для лучевой терапии используется отрицательная форма пи-мезонов. Когда отрицательный пи-мезон замедляется, он захватывается ядром, заставляя его «взрываться», подобно процессам, происходящим внутри звезды, производя нейтроны и заряженные ядерные осколки, обладающие свойствами высокой плотности. Отрицательные пи-мезоны (пионы) были использованы для лечения 228 пациентов в Центре физики мезонов в Лос-Аламосе с 1974 по 1981 год. 129 пациентов получали только пионотерапию. У всех пациентов было локальное заболевание, и было пролечено несколько различных участков. Местный контроль был достигнут у 86% пациентов с раком предстательной железы, у 26% - с раком головы и шеи, и ни у одного из них не было рака поджелудочной железы. Наблюдался резкий рост частоты осложнений после уровня дозы 3750 кГр. Пи-мезоны больше не использовались в клинической практике.</p>
4-6	<p>1.2. Центры лучевой терапии пи-мезонами в мире и в России. Перспективы</p>	<p>Пи-мезонная терапия основана на использовании отрицательных пи-мезонов – ядерных частиц, генерируемых на специальных установках. Пи-мезоны обладают благоприятным дозовым распределением, а также более высокой биологической эффективностью на единицу дозы. Клиническое применение пи-мезонов осуществляется в США и Швейцарии.</p> <p>Крупнейшие мезонные фабрики:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- линейный ускоритель LAME (Лос-Аламос, США);</li> <li>- изохронный циклотрон SIN (Цюрих, Швейцария);</li> <li>- изохронный циклотрон TRIUMF (Ванкувер, Канада);</li> <li>- Московская мезонная фабрика (ММФ) (ИЯИ РАН, Троицк);</li> <li>- медико-технический комплекс лаборатории ядерных проблем ОИЯИ для адронной терапии (Дубна).</li> </ul>
7-12	<p><b>2. Лучевая терапия ионами гелия и кислорода</b></p>	
7-9	<p>2.1. Историческая справка. Физические основы лучевой терапии ионами гелия и кислорода</p>	<p>Радиотерапия тяжелыми ионами зародилась в 70-х годах XX века. Ученым Векслеру и Макмиллану удалось получить пучки протонов и атомов гелия с энергией, необходимой для лечения опухолей залегающих глубоко в тканях. Для лечения тяжелыми ионами был создан специальный инновационный синхротрон</p>

		<p>(резонансный циклический ускоритель), способный производить импульсы высокой частоты и интенсивности. Вначале для проведения терапии использовали ионы гелия и аргона, позже начали применять углерод. К лучевой терапии тяжелыми ионами проявили большой интерес исследователи по всему миру. В 1994 году глобальная исследовательская программа стартовала в Японии в Национальном институте радиологических исследований, где с того времени прошли курс около 7 тысяч пациентов. Также многочисленные исследования проводились в Институте тяжелых ионов г. Дармштадт в Германии, где в настоящее время ежегодно проходят терапию пациенты со всего мира.</p> <p>Модифицированные кривые Брэгга для пучков ионов гелия, углерода и неона с учетом ОБЭ в зависимости от глубины в воде.</p> <p>Исследования, проведенные за последнее время в области терапии легкими ионами, показали, что среди ионов от ядер гелия до железа соотношение дозы в пике к дозе на входе в среду является наилучшим для ядер углерода.</p>
10-12	2.2. Центры лучевой терапии ионами гелия и кислорода в мире и в России. Перспективы	<p>Центр лучевой терапии тяжелыми ионами в Гейдельберге – в настоящее время это единственный во всем мире медицинский центр с оборудованием, в котором используются и протоны (ядра атомов водорода), и тяжелые ионы (прежде всего, ядра углерода, а также гелия и кислорода).</p>
13-18	<b>3. Лучевая терапия антипротонами</b>	
13-15	3.1. Историческая справка. Физические основы лучевой терапии антипротонами	<p>У антипротонов удельные потери энергии и радиобиологическое действие практически такие же как и у протонов. Различия начинаются в области пика Брэгга. По сравнению с протонами антипротоны испытывают аннигиляцию, ~ 95% которой происходит при их остановке, при этом выделяется энергия около 2 ГэВ. Большая часть выделяющейся энергии получают 4-5 высокоэнергетичных пиона.</p> <p>Нейтральные пи-мезоны быстро распадаются на гамма-кванты с энергиями около 70–300 МэВ. Высокоэнергетичные заряженные пионы уходят из области аннигиляции, не нанося заметных радиационных повреждений окружающим тканям. Однако заряженные пионы могут также вызывать в ядрах внутриядерные каскады, в результате которых ядра фрагментируются. Пробег заряженных ядерных фрагментов мал и</p>

		они оставляют свою энергию в непосредственной близости к точке аннигиляции. В результате антипротоны по сравнению с протонами в области пика Брэгга оставляют заметно большую энергию. Более того, фрагменты ядер имеют повышенное радиобиологическое действие из-за большого коэффициента качества.
16-18	3.2. Применение антипротонов для лучевой терапии в мире и в России. Перспективы	<p>Для антипротонов может найтись медицинское применение. Сейчас в том же ЦЕРНе с 2003 года проводится эксперимент АСЕ, который изучает воздействие антипротонного пучка на живые клетки. Его цель – изучить перспективы использования антипротонов для терапии раковых опухолей.</p> <p>Антипротоны, попадая в вещество, не просто отдают свою кинетическую энергию, но еще и аннигилируют после остановки – и это усиливает энерговыделение в несколько раз. Где оседает это дополнительное энерговыделение – сложный вопрос, и его требуется внимательно изучить, прежде чем запускать клинические испытания. Именно этим и занимается эксперимент АСЕ. В ходе него исследователи пропускают пучок антипротонов через кюветку с бактериальной культурой и измеряют их выживаемость в зависимости от места, от параметров пучка, и от физических характеристик окружающей среды. Такой методичный сбор технических данных – важный начальный этап любой новой технологии. В ближайшее время участники проекта АСЕ совместно с коллегами из немецкого Общества по изучению тяжёлых ионов (Gesellschaft für Schwerionenforschung) планируют сравнить эффективность антипротонных пучков с пучками ионов углерода (которые также используются в онкологии). Судя по всему, дальнейшие испытания подтвердят эффективность антипротонов. Однако даже если это окажется так, применять их в клинической практике, по оценкам специалистов, можно будет не ранее чем через десять лет.</p>

## **7. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Методические рекомендации по освоению дисциплины «Новые технологии в ядерной медицине» утвержденные на заседании отделения биотехнологий, протокол № 11 от «07» июня 2021 г.;
2. Методические рекомендации по преподаванию дисциплины «Новые технологии в ядерной медицине» утвержденные на заседании отделения биотехнологий, протокол № 11 от «07» июня 2021 г.;

3. Методические указания к самостоятельной работе студента по оформлению рефератов по дисциплине «Новые технологии в ядерной медицине» утвержденные на заседании отделения биотехнологий, протокол № 11 от «07» июня 2021 г.;
4. Методические рекомендации «Словарь терминов по учебной дисциплине «Новые технологии в ядерной медицине» утвержденные на заседании отделения биотехнологий, протокол № 11 от «07» июня 2021 г.

## 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 8.1. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины	Индикатор достижения компетенции	Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации
<b>Текущая аттестация</b>			
1.	Раздел 1. Лучевая терапия пимезонами	<p><b>ОПК-1</b> - Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности:</p> <p><b>З-ОПК-1</b> – Знать: фундаментальные законы и принципы физики; основы психологии и педагогики.</p> <p><b>У-ОПК-1</b> – Уметь: применять полученные знания для решения научно-исследовательских задач в своей профессиональной деятельности; представлять законы и принципы физики в виде математических уравнений, формул, графиков, качественного описания; применять основы психологии, методики преподавания в педагогической деятельности.</p> <p><b>В-ОПК-1</b> – Владеть: навыками решения научно-исследовательских задач в области экспериментальной и теоретической физики; педагогическими технологиями, необходимыми для ведения преподавательской деятельности.</p> <p><b>ОПК-4</b> - Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности:</p> <p><b>З-ОПК-4</b> – Знать: основные этапы внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности</p> <p><b>У-ОПК-4</b> – Уметь: проводить анализ потенциальных сфер внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- дискуссия;</li> <li>- домашнее задание;</li> <li>- задача;</li> <li>- контрольная работа;</li> <li>- доклад;</li> <li>- презентация;</li> <li>- реферат</li> </ul>

		В-ОПК-4 – Владеть: навыками апробации результатов научных исследований	
2.	Раздел 2. Лучевая терапия ионами гелия и кислорода	<p><b>ОПК-1</b> - Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности:</p> <p>З-ОПК-1 – Знать: фундаментальные законы и принципы физики; основы психологии и педагогики.</p> <p>У-ОПК-1 – Уметь: применять полученные знания для решения научно-исследовательских задач в своей профессиональной деятельности; представлять законы и принципы физики в виде математических уравнений, формул, графиков, качественного описания; применять основы психологии, методики преподавания в педагогической деятельности.</p> <p>В-ОПК-1 – Владеть: навыками решения научно-исследовательских задач в области экспериментальной и теоретической физики; педагогическими технологиями, необходимыми для ведения преподавательской деятельности.</p> <p><b>ОПК-4</b> - Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности:</p> <p>З-ОПК-4 – Знать: основные этапы внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности</p> <p>У-ОПК-4 – Уметь: проводить анализ потенциальных сфер внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности</p> <p>В-ОПК-4 – Владеть: навыками апробации результатов научных исследований</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- дискуссия;</li> <li>- домашнее задание;</li> <li>- задача;</li> <li>- контрольная работа;</li> <li>- доклад;</li> <li>- презентация;</li> <li>- реферат</li> </ul>
3.	Раздел 3. Лучевая терапия антипротонами	<p><b>ОПК-1</b> - Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности:</p> <p>З-ОПК-1 – Знать: фундаментальные законы и принципы физики; основы психологии и педагогики.</p> <p>У-ОПК-1 – Уметь: применять полученные знания для решения научно-исследовательских задач в своей профессиональной деятельности; представлять законы и принципы физики в виде математических уравнений, формул,</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- дискуссия;</li> <li>- домашнее задание;</li> <li>- задача;</li> <li>- контрольная работа;</li> <li>- доклад;</li> <li>- презентация;</li> <li>- реферат</li> </ul>

		<p>графиков, качественного описания; применять основы психологии, методики преподавания в педагогической деятельности.</p> <p><b>В-ОПК-1</b> – Владеть: навыками решения научно-исследовательских задач в области экспериментальной и теоретической физики; педагогическими технологиями, необходимыми для ведения преподавательской деятельности.</p> <p><b>ОПК-4</b> - Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности:</p> <p><b>З-ОПК-4</b> – Знать: основные этапы внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности</p> <p><b>У-ОПК-4</b> – Уметь: проводить анализ потенциальных сфер внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности</p> <p><b>В-ОПК-4</b> – Владеть: навыками апробации результатов научных исследований</p>	
<b>Промежуточная аттестация</b>			
Зачет		<p><b>ОПК-1</b> - Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности:</p> <p><b>З-ОПК-1</b> – Знать: фундаментальные законы и принципы физики; основы психологии и педагогики.</p> <p><b>У-ОПК-1</b> – Уметь: применять полученные знания для решения научно-исследовательских задач в своей профессиональной деятельности; представлять законы и принципы физики в виде математических уравнений, формул, графиков, качественного описания; применять основы психологии, методики преподавания в педагогической деятельности.</p> <p><b>В-ОПК-1</b> – Владеть: навыками решения научно-исследовательских задач в области экспериментальной и теоретической физики; педагогическими технологиями, необходимыми для ведения преподавательской деятельности.</p> <p><b>ОПК-4</b> - Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности:</p> <p><b>З-ОПК-4</b> – Знать: основные этапы внедрения</p>	<p>- зачетная работа;</p> <p>- контроль по итогам;</p> <p>- тестирование</p>

	результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности У-ОПК-4 – Уметь: проводить анализ потенциальных сфер внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности В-ОПК-4 – Владеть: навыками апробации результатов научных исследований	
--	---	--

## 8.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

Оценочные средства приведены в Приложении «Фонд оценочных средств».

## 8.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

- Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.
- Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.
- Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.
- Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:
  - контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.
  - контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.
- Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум*	Максимум**
<b>Текущая аттестация</b>	<b>1-16</b>	<b>36 - 60% от максимума</b>	<b>60</b>
<b>Контрольная точка № 1</b>	<b>7-8</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
<i>контрольная работа</i>		6 (60% от 10)	10
<i>задача</i>		6 (60% от 10)	10
<i>тестирование</i>		6 (60% от 10)	10
<b>Контрольная точка № 2</b>	<b>15-16</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
<i>контрольная работа</i>		9 (60% от 15)	15



<i>реферат</i>		9 (60% от 15)	15
<b>Промежуточная аттестация</b>	-	<b>24 – 60% от максимума</b>	<b>40</b>
<b>Зачет</b>	-	<b>24 (60% от 40)</b>	<b>40</b>
<i>зачетная работа</i>	-	9 (60% от 15)	15
<i>контроль по итогам</i>	-	9 (60% от 15)	15
<i>тестирование</i>	-	6 (60% от 10)	10
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

\* - Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

#### 8.4. Шкала оценки образовательных достижений

Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет сумму баллов, заработанных обучающимся при выполнении заданий в рамках текущей и промежуточной аттестации.

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоения учебной дисциплины
<b>90-100</b>	5 - «отлично»/«зачтено»	<b>A</b>	Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, 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
<b>85-89</b>	4 - «хорошо»/«зачтено»	<b>B</b>	Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
<b>75-84</b>		<b>C</b>	
<b>70-74</b>		<b>D</b>	
<b>65-69</b>	3 - «удовлетворительно»/«зачтено»	<b>E</b>	Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала
<b>60-64</b>			

0-59	2 - «неудовлетворительно»/ «не зачтено»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине
------	--	---	--

## 9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) основная учебная литература:

1. ИЯИ РАН – Московская мезонная фабрика (ММФ) [Официальный сайт]. — URL: <https://www.inr.ru/mmf.html>
2. Климанов В.А. Радиобиологическое и дозиметрическое планирование лучевой и радионуклидной терапии [Электронный ресурс] / В. А. Климанов. - Москва: НИЯУ МИФИ. Ч.1: Радиобиологические основы лучевой терапии. Радиобиологическое и дозиметрическое планирование дистанционной лучевой терапии пучками тормозного и гамма-излучения и электронами: учебное пособие для вузов. - [Б. м.], 2011. - 500 с. - Текст: электронный // URL: [http://library.mephi.ru/pdfunnel.php?Z21FAMILY=ИАТЭ+НИЯУ+МИФИ&Z21ID=IATEMERNI&PATH=book-mephi%2FKlimanov\\_Radiobiologicheskoe\\_i\\_dozimetricheskoe\\_planirov.\\_Ch.1\\_2011.pdf](http://library.mephi.ru/pdfunnel.php?Z21FAMILY=ИАТЭ+НИЯУ+МИФИ&Z21ID=IATEMERNI&PATH=book-mephi%2FKlimanov_Radiobiologicheskoe_i_dozimetricheskoe_planirov._Ch.1_2011.pdf)
3. Климанов В.А. Радиобиологическое и дозиметрическое планирование лучевой и радионуклидной терапии [Электронный ресурс] / В. А. Климанов. - Москва: НИЯУ МИФИ. Ч.2: Лучевая терапия пучками протонов, ионов, нейтронов и пучками с модулированной интенсивностью, стереотаксис, брахитерапия, радионуклидная терапия, оптимизация, гарантия качества: учебное пособие для вузов. - [Б. м.], 2011. – 604 с. - Текст: электронный // URL: [http://library.mephi.ru/pdfunnel.php?Z21FAMILY=ИАТЭ+НИЯУ+МИФИ&Z21ID=IATEMERNI&PATH=book-mephi%2FKlimanov\\_Radiobiologicheskoe\\_i\\_dozimetricheskoe\\_planirovanie\\_2011.pdf](http://library.mephi.ru/pdfunnel.php?Z21FAMILY=ИАТЭ+НИЯУ+МИФИ&Z21ID=IATEMERNI&PATH=book-mephi%2FKlimanov_Radiobiologicheskoe_i_dozimetricheskoe_planirovanie_2011.pdf)
4. Комплекс протонного излучения МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России [Официальный сайт]. — URL: <https://protonbeam.ru/>
5. Курс лекций по адронной лучевой терапии: презентации / К.Б. Гордон, И.А. Гулидов, МРНЦ им. А.Ф. Цыба. – 2017-2020.
6. Свободная энциклопедия Википедия [Электронный ресурс]. — URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Заглавная\\_страница](https://ru.wikipedia.org/wiki/Заглавная_страница)
7. Университетская клиника Гейдельберга [Официальный сайт]. — URL: <https://www.heidelberg-university-hospital.com/ru/zabolevanija-i-metody-lechenija/nacionalnyi-centr-lechenija-opukholevykh-zabolevanii/luchevaja-terapija-protonami-i-tjazhelymi-ionami>
8. Центр лучевой терапии тяжелыми ионами в Гейдельберге [Электронный ресурс]. — URL: <https://oncogermany.de/Radiotherapy-center-heavy-ions/>
9. ACE | CERN [Официальный сайт]. — URL: <https://home.cern/science/experiments/ace>
10. Gesellschaft für Schwerionenforschung [Официальный сайт]. — URL: <https://www.gsi.de/en/start/news>

11. Levin William P., DeLaney Thomas F. Charged Particle Radiotherapy. Clinical Radiation Oncology (Fourth Edition). 2016: 358-372.e2 (2011) [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323240987000198>

**б) дополнительная учебная литература:**

1. Бамбер Дж., Тристам М., Лич М. Физика визуализации изображений в медицине: В 2-х томах. Т. 2: Пер. с англ./Под ред. С. Уэбба. – М.: Мир, 1991. – 408 с.
2. Бекман И.Н. Ядерная медицина: физические и химические основы : учебник для бакалавриата и магистратуры / И.Н. Бекман. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 400 с.
3. Беляев В.Н. Физика ядерной медицины [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / В.Н. Беляев, В.А. Климанов. - Москва: НИЯУ МИФИ. 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. - [Б. м.], 2012. – 248 с. - Текст: электронный // URL: <http://library.mephi.ru/pdfunnel.php?Z21FAMILY=ИАТЭ+НИЯУ+МИФИ&Z21ID=ИАТЕМЕРНИ&PATH=book-mephi%2FBelyaev Fizika yadernoj mediciny Ch.2 Uchebnoe posobie 2012.pdf>
4. Вебстер Дж. Г., Камышко И.В., Калашник Д.А. Медицинские приборы [Текст]: Разработка и применение. - М.: Медицинская книга, 2004. - 704 с.
5. Зубков Ю.Н. Лекции по медицинской физике : учебное пособие для вузов / Ю. Н. Зубков. – Ульяновск: УлГУ, 2011. – 285 с.
6. Калантаров К.Д., Калашников С.Д., Костылев В.А. Аппаратура и методики радионуклидной диагностики в медицине. – М.: ЗАО «ВНИИМП-ВИТА», 2002. – 122 с.
7. Климанов В.А. Радиационная дозиметрия [Электронный ресурс]: монография / В.А. Климанов, Е. А. Крамер-Агеев, В.В. Смирнов; ред. В.А. Климанов. - Москва: НИЯУ МИФИ, 2014. – 648 с. - Текст: электронный // URL: <http://library.mephi.ru/pdfunnel.php?Z21FAMILY=ИАТЭ+НИЯУ+МИФИ&Z21ID=1760A4E9E1NP2M0T5I117&PATH=book-mephi%2FKlimanov Radiatsionnaya dozimetriya 2014.pdf>
8. Климанов В.А. Физика ядерной медицины [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / В.А. Климанов. - Москва: НИЯУ МИФИ. Ч.1: Физический фундамент ядерной медицины, устройство и основные характеристики гамма-камер и коллиматоров-излучения, однофотонная эмиссионная томография, реконструкция и распределений активности радионуклидов в организме человека, получение радионуклидов. - [Б. м.], 2012. – 308 с. - Текст: электронный // URL: <http://library.mephi.ru/pdfunnel.php?Z21FAMILY=ИАТЭ+НИЯУ+МИФИ&Z21ID=ИАТЕМЕРНИ&PATH=book-mephi%2FKlimanov Fizika yadernoj mediciny Ch.1 2012.pdf>
9. Королюк, И.П. Беседы о ядерной медицине [Текст] / И.П. Королюк, А.Ф. Цыб. - М.: Молодая гвардия, 1988. - 192 с.
10. Костылев В.А., Наркевич Б.Я. Медицинская физика – М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2008. – 464 с.
11. Кузьмина, Н.Б. Что такое ядерная медицина? [Электронный ресурс] / Н.Б. Кузьмина. - Москва: НИЯУ МИФИ, 2012. – 32 с. - Текст: электронный // URL: <http://library.mephi.ru/pdfunnel.php?Z21FAMILY=ИАТЭ+НИЯУ+МИФИ&Z21ID=ИАТЕМЕРНИ&PATH=book-mephi%2FKuzmina%2C Chto takoe yadernaya medecina 2012.pdf>
12. Лещенко В.Г. Медицинская и биологическая физика: учеб. пособие / В.Г. Лещенко, Г.К. Ильич. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 552 с.
13. Марусина М.Я., Казначеева А.О. Современные виды томографии. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 132 с.

14. Матусевич Е.С., Манохин В.Н. Источники ионизирующего излучения для ядерной медицины : учебное пособие. – Обнинск: ФЭИ, 2010. – 159 с.
15. Наркевич, Б.Я. Физические основы ядерной медицины [Текст]: учебное пособие / Б.Я. Наркевич, В.А. Костылев. - Москва: АМФ-Пресс, 2001. - 59 с.
16. Паркер, Р. Основы ядерной медицины [Текст] / Паркер Р., Смит П., Тейлор Д. - М.: Энергоиздат, 1981. - 304 с.
17. Ратнер Т.Г., Лютова Н.А. Клиническая дозиметрия. Теоретические основы и практическое применение. - М.: «Весть», 2006. - 268 с.
18. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: Учеб. для вузов / А.Н. Ремизов, А.Г. Максина, А.Я. Потапенко. – 4-е изд., перераб. и дополн. – М.: Дрофа, 2003. – 560 с.
19. Труфанов Г.Е. Лучевая диагностика: Учебник Т.1. / под ред. Труфанова Г.Е. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 416 с.
20. Труфанов Г.Е. Лучевая терапия: учебник / [Г.Е. Труфанов, М.А. Асатурян, Г.М. Жаринов, В.Н. Малаховский]; под ред. Г.Е. Труфанова – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. – 208 с.
21. Улин С.Е., Михайлов В.Н., Никитаев В.Г. и др. Физические методы медицинской интроскопии : учебное пособие. – М.: МИФИ, 2009. – 308 с.
22. Уэбб С., Данс Д., Эванс С. Физика визуализации изображений в медицине: В 2-х томах. Т. 1: Пер. с англ./Под ред. С. Уэбба. – М.: Мир, 1991. – 408 с.
23. Федорова В.Н., Степанова Л.А. Краткий курс медицинской и биологической физики с элементами реабилитологии. Лекции и семинары: учебное пособие. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 624 с.
24. Цыб А.Ф., Ульяненко С.Е., Мардынский Ю.С. Нейтроны в лечении злокачественных новообразований: научно-методическое пособие. – Обнинск: БИСТ, 2003. - 112 с.
25. Черняев, А.П. Ядерно-физические методы в медицине [Текст]: учеб. пособие / А.П. Черняев; МГУ им. М. В. Ломоносова; НИИ ЯФ им. Д.В. Скобельцына. - Москва: КДУ; Университетская книга, 2016. – 190 с.
26. Hendee William R., Ritenour Russell E. Medical Imaging Physics. Fourth edition by Wiley-Liss, Inc., New York, 2002. – 513 p.
27. Hornak Joseph P. The Basics of MRI. - Текст: электронный // URL: <https://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/>.
28. Wernick Miles N., Aarsvold John N. Emission tomography. The Fundamentals of PET and SPECT. Elsevier Academic Press, San Diego, California, USA, 2004. – 576 p.

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» (ДАЛЕЕ - СЕТЬ «ИНТЕРНЕТ»), НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Медицинская физика - электронный журнал [Официальный сайт]. — URL: <http://medphys.amphr.ru/>
2. BioMed Central (BMC) - научное издательство [Официальный сайт]. — URL: <https://www.biomedcentral.com/>
3. eLibrary.Ru - российская научная электронная библиотека, интегрированная с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ) [Официальный сайт]. — URL: <https://www.elibrary.ru/defaultx.asp>
4. Elsevier Science - научное издательство [Официальный сайт]. — URL: <https://www.elsevier.com/>, <https://elsevierscience.ru/>
5. Frontiers - научное издательство [Официальный сайт]. — URL: <https://www.frontiersin.org/>
6. Health Physics - журнал [Официальный сайт]. — URL: <https://journals.lww.com/health-physics/pages/default.aspx>
7. Journal of Medical Physics - журнал [Официальный сайт]. — URL: <https://www.jmp.org.in/>
8. Medical Physics - международный научный журнал [Официальный сайт]. — URL: <https://www.medphys.org/>

9. Physics in Medicine and Biology - журнал [Официальный сайт]. — URL: <https://iopscience.iop.org/journal/0031-9155>
10. PubMed - англоязычная текстовая база данных медицинских и биологических публикаций [Официальный сайт]. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>
11. ScienceDirect - база научных публикаций [Официальный сайт]. — URL: <https://www.sciencedirect.com/>
12. Scopus - крупнейшая международная единая база данных, содержащая аннотации и информацию о цитируемости рецензируемой научной литературы [Официальный сайт]. — URL: <https://www.scopus.com/>
13. Springer - международное научное издательство [Официальный сайт]. — URL: <https://www.springer.com/gp>, <https://link.springer.com/>
14. Web of Science – одна из ведущих международных баз данных, содержащая аннотации и информацию о цитируемости рецензируемой научной литературы [Официальный сайт]. — URL: <https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science/>
15. World Nuclear Association - Всемирная ядерная ассоциация [Официальный сайт]. — URL: <https://www.world-nuclear.org/>

## **11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины – комплекс рекомендаций и разъяснений, позволяющий обучающимся оптимальным образом организовать процесс изучения как теоретического учебного материала дисциплины, так и подготовки к практическим занятиям, в том числе проводимым с использованием активных и интерактивных технологий обучения.

Методические указания приведены в Приложениях:

1. Методические рекомендации по освоению дисциплины «Новые технологии в ядерной медицине»;
2. Методические рекомендации по преподаванию дисциплины «Новые технологии в ядерной медицине»;
3. Методические указания к самостоятельной работе студента по оформлению рефератов по дисциплине «Новые технологии в ядерной медицине»;
4. Методические рекомендации «Словарь терминов по учебной дисциплине «Новые технологии в ядерной медицине».

## **12. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ)**

Использование информационных технологий при осуществлении образовательного процесса по дисциплине осуществляется в соответствии с утвержденным Положением об Электронной информационно-образовательной среде ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

Электронная система управления обучением (LMS) используется для реализации образовательных программ при очном, дистанционном и смешанном режиме обучения. Система реализует следующие основные функции:

- создание и управление классами;
- создание курсов;
- организация записи учащихся на курс;
- предоставление доступа к учебным материалам для учащихся;
- публикация заданий для учеников;

- оценка заданий учащихся, проведение тестов и отслеживание прогресса обучения;
- организация взаимодействия участников образовательного процесса.

Система интегрируется с дополнительными сервисами, обеспечивающими возможность использования таких функций как рабочий календарь, видео связь, многопользовательское редактирование документов, создание форм опросников, интерактивная доска для рисования. Авторизация пользователей в системе осуществляется посредством корпоративных аккаунтов, привязанных к домену oiate.ru.

### 12.1. Перечень информационных технологий:

- использование компьютерного тестирования по итогам изучения разделов дисциплины;
- проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной образовательной среды;
- использование электронных презентаций при проведении практических занятий;
- использование обучающих видеофильмов;
- использование текстового редактора Microsoft Word;
- использование табличного редактора Microsoft Excel;
- использование текстового редактора NoteBook (Блокнот).

### 12.2. Перечень программного обеспечения:

- компьютерная контрольно-обучающая тестовая программа с открытой лицензией (оболочка MyTestX);
- лицензированная контрольно-обучающая тестовая программа с возможностью использования on-line «Indigo»;
- программы, демонстрации видео материалов (проигрыватель Windows Media Player);
- текстовый редактор Microsoft Word;
- табличный редактор Microsoft Excel;
- редактор презентаций Microsoft PowerPoint;
- текстовый редактор NoteBook (Блокнот);
- браузер – Google Chrome.

### 12.3. Перечень информационных справочных систем

Доступ к электронным библиотечным ресурсам и электронной библиотечной системе (ЭБС) осуществляется посредством специальных разделов на официальном сайте ИАТЭ НИЯУ МИФИ. Обеспечен доступ к электронным каталогам библиотеки ИАТЭ НИЯУ МИФИ, а также электронным образовательным ресурсам (ЭИОС), сформированным на основании прямых договоров с правообладателями учебной и учебно-методической литературы, методических пособий:

- 1) информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс, <http://www.consultant.ru/> (информация нормативно-правового характера на основе современных компьютерных и телекоммуникационных технологий);
- 2) электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ, [http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK](http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK;);
- 3) электронно-библиотечная система «Айбукс», <https://ibooks.ru/>;
- 4) электронно-библиотечная система издательства «Лань», <https://e.lanbook.com/>;
- 5) электронно-библиотечная система «Юрайт», <https://urait.ru/>;
- 6) базы данных электронной библиотечной системы «Консультант студента», <https://www.studentlibrary.ru/>;
- 7) электронно-библиотечная система BOOK.ru, <https://book.ru/>;

- 8) базовая версия электронно-библиотечной системы IPRbooks, <https://iprbooks.ru/>;
- 9) научная электронная библиотека eLIBRARY, <https://www.elibrary.ru/>.

### **13. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

#### ***Оснащение лекционных занятий:***

- компьютер Карин7-E7500 INTEL PENTIUM E7500 (3 шт.);
- телевизор LED: LCD Samsung LE46D550K1W 46" (116 см) (1 шт.);
- ноутбук Asus F3Q00Jr T2130 15.4" WXGA (1 шт.);
- проектор ACER P5290 (1 шт.);
- видеолекции и лекции в форме мультимедийных презентации по дисциплине, компьютерные тестирующие программы для промежуточного и итогового контроля знаний, учебные фильмы.

#### ***Оснащение практических занятий:***

Лаборатория медицинской радиационной физики отдела радиационной биофизики МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России:

- помещение №108 (установка для нейтронной терапии на базе генератора НГ-14 (операторская));
- помещение №109 (комплекс протонной терапии «Прометеус» (операторская), оборудование для ежедневного контроля IMRT полей и контроля качества терапевтического пучка линейных ускорителей);
- аудитория №201 (зал для проведения конференций);
- аудитория №205 (учебный класс).

Лаборатория разработки и эксплуатации облучающей техники отдела радиационной биофизики МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России:

- помещение №108 (установка для нейтронной терапии на базе генератора НГ-14 (нейтронный каньон));
- помещение №109 (комплекс протонной терапии «Прометеус» (синхротронный зал), комплект дозиметрического оборудования производства PTW Freiburg, Германия);
- помещение №311а (ускоритель электронов «NOVAC-11» (ускорительный зал));
- аудитория №201 (зал для проведения конференций);
- аудитория №205 (учебный класс).

Отделение клинической дозиметрии и топографии МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России:

- конференц зал рентгенологического корпуса;
- здание №4:
  - симулятор Philips SLS,
  - аппарат для брахитерапии Gamma med +,
  - ускоритель Elekta Synergy S,
  - ускоритель Philips Sl 20,
  - ускоритель PhilipsSl 75,
  - гамма-терапевтический аппарат Terabalt.

### **14. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И (ИЛИ) МАТЕРИАЛЫ**

**14.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование раздела дисциплины</b>	<b>Вид занятий (лекции, практические и лабораторные занятия)</b>	<b>Количество ак. ч.</b>	<b>Наименование активных и интерактивных форм проведения занятий</b>
1.	Раздел 1. Лучевая терапия пи-мезонами	лекции	4	- демонстрация таблиц, слайдов, специализированных профессиональных изображений, инструментов и аппаратов; - показ учебных видеоматериалов
		практические занятия	10	- участие в научных конференциях; - реферативная работа; - ситуационные задачи, кейсы, деловая игра; - компьютерные симуляции; - дискуссия по теме занятия; - тренинговые формы проведения практических занятий
2.	Раздел 2. Лучевая терапия ионами гелия и кислорода	лекции	4	- демонстрация таблиц, слайдов, специализированных профессиональных изображений, инструментов и аппаратов; - показ учебных видеоматериалов
		практические занятия	10	- участие в научных конференциях; - реферативная работа; - ситуационные задачи, кейсы, деловая игра; - компьютерные симуляции; - дискуссия по теме занятия; - тренинговые формы проведения практических занятий
3.	Раздел 3. Лучевая терапия антипротонами	лекции	4	- демонстрация таблиц, слайдов, специализированных профессиональных изображений, инструментов и аппаратов; - показ учебных видеоматериалов
		практические занятия	10	- участие в научных конференциях; - реферативная работа; - ситуационные задачи, кейсы, деловая игра; - компьютерные симуляции; - дискуссия по теме занятия; - тренинговые формы проведения практических занятий

**14.2. Формы организации самостоятельной работы обучающихся (темы, выносимые для самостоятельного изучения; вопросы для самоконтроля; типовые задания для самопроверки)**



№ п/п	Разделы дисциплины	Тема, выносимая для самостоятельного изучения	Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя	Количество ак. ч.
1.	<b>Раздел 1. Лучевая терапия пи-мезонами</b>	1.1. Историческая справка. Физические основы лучевой терапии пи-мезонами	- работа в отделе радиационной биофизики МРНЦ им. А.Ф. Цыба; - участие в научных конференциях; - работа с технической и научной документацией; - реферативная работа	10
2.		1.2. Центры лучевой терапии пи-мезонами в мире и в России. Перспективы	- работа в отделе радиационной биофизики МРНЦ им. А.Ф. Цыба; - участие в научных конференциях; - работа с технической и научной документацией; - реферативная работа	12
3.	<b>Раздел 2. Лучевая терапия ионами гелия и кислорода</b>	2.1. Историческая справка. Физические основы лучевой терапии ионами гелия и кислорода	- работа в отделе радиационной биофизики МРНЦ им. А.Ф. Цыба; - участие в научных конференциях; - работа с технической и научной документацией; - реферативная работа	10
4.		2.2. Центры лучевой терапии ионами гелия и кислорода в мире и в России. Перспективы	- работа в отделе радиационной биофизики МРНЦ им. А.Ф. Цыба; - участие в научных конференциях; - работа с технической и научной документацией; - реферативная работа	12
5.	<b>Раздел 3. Лучевая терапия антипротонами и</b>	3.1. Историческая справка. Физические основы лучевой терапии антипротонами	- работа в отделе радиационной биофизики МРНЦ им. А.Ф. Цыба; - участие в научных конференциях; - работа с технической и научной документацией; - реферативная работа	10
6.		3.2. Применение антипротонов для лучевой терапии в мире и в России. Перспективы	- работа в отделе радиационной биофизики МРНЦ им. А.Ф. Цыба; - участие в научных конференциях; - работа с технической и научной документацией; - реферативная работа	12

## 15. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. № АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные

методы обучения, технологии социокультурной реабилитации обучающихся с ОВЗ с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений.

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом индивидуальных психофизических особенностей, а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида.

Для **лиц с нарушением слуха** возможно предоставление информации визуально (краткий конспект лекций, основная и дополнительная литература), на лекционных и практических занятиях допускается присутствие ассистента, а так же, сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Оценка знаний обучающихся на практических занятиях осуществляется на основе письменных конспектов ответов на вопросы, письменно выполненных практических заданий. Доклад так же может быть представлен в письменной форме (в виде реферата). При этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т.д.) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.). С учетом состояния здоровья просмотр кинофильма с последующим анализом может быть проведен дома (например, при необходимости дополнительной звукоусиливающей аппаратуры (наушники)). В таком случае обучающийся предоставляет письменный анализ, соответствующий предъявляемым требованиям.

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости, время подготовки на зачете/экзамене может быть увеличено.

Для **лиц с нарушением зрения** допускается аудиальное предоставление информации (например, с использованием программ-синтезаторов речи), а так же использование на лекциях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь.

Оценка знаний обучающихся на практических занятиях осуществляется в устной форме (как ответы на вопросы, так и практические задания). При необходимости анализа фильма может быть заменен описанием ситуации межэтнического взаимодействия (на основе опыта респондента, художественной литературы и т.д.), позволяющим оценить степень сформированности навыков владения методами анализа и выявления специфики функционирования и развития психики, позволяющими учитывать влияние этнических факторов. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

**Лица с нарушениями опорно-двигательного аппарата** не нуждаются в особых формах предоставления учебных материалов. Однако, с учетом состояния здоровья часть занятий может быть реализована дистанционно (при помощи сети «Интернет»). Так, при невозможности посещения лекционного занятия обучающийся может воспользоваться кратким конспектом лекции.

При невозможности посещения практического занятия обучающийся должен предоставить письменный конспект ответов на вопросы, письменно выполненное практическое задание. Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата). При этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т.д.) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.).

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата проводится на общих основаниях, при необходимости процедура зачета/экзамена может быть реализована дистанционно (например, при помощи программы Skype).

Для этого по договоренности с преподавателем обучающийся в определенное время выходит на связь для проведения процедуры зачета/экзамена. В таком случае зачет/экзамен сдается в виде собеседования по вопросам (см. формы проведения промежуточной аттестации

для лиц с нарушениями зрения). Вопрос и практическое задание выбираются самим преподавателем.

Примечание: Фонды оценочных средств, включающие типовые задания и методы оценки, критерии оценивания, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины обучающимися с ОВЗ могут входить в состав РПД на правах отдельного документа.

**Программу составила:**

Ю.А. Беликова – ведущий инженер Центра биотехнологий

**Рецензент:**

А.А. Котляров – начальник отделения биотехнологий, доктор медицинских наук, профессор