

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И КОСМОФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИФИБ

Протокол № 3

от 11.05.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.03.02 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, экс./зач./КР/КП
6	5	180	30	60	30		24	0	Э
7	2	72	16	16	16		24	0	З
Итого	7	252	46	76	46	8	48	0	

## АННОТАЦИЯ

Учебный курс содержит вопросы, связанные с прохождением заряженных частиц и гамма квантов через вещество; свойства ядерного взаимодействия, модели ядер и их основные характеристики. Приводится систематика и классификация элементарных частиц в рамках стандартной модели. Изучаются закономерности ядерных реакций и их особенности под действием заряженных частиц гамма квантов и нейтронов. Изучаются радиоактивные превращения ядер, цепные ядерные реакции и основы ядерной энергетики.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная цель курса – дать будущему исследователю знания об основных закономерностях взаимодействия различных видов корпускулярного излучения с веществом с целью выбора метода для его эффективной регистрации и оценки проникающей способности, понять закономерности строения микрообъектов на уровне ядер и частиц, ознакомиться с методами исследования различных характеристик микрообъектов. Эти знания особенно важны медицинскому физику, в будущей работе с радиацией, применительно к живым системам. Приобрести практический опыт по проведению исследований в области ядерной физики с использованием ионизирующего и космического излучения, также обработки физических результатов с применением компьютерных технологий.

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

Данная дисциплина находится в логической и содержательно-методической взаимосвязи с такими дисциплинами, как математический анализ, теория вероятности, молекулярная физика, электричество и магнетизм, волны и оптика, взаимодействие физических полей и частиц с веществом, атомная физика, квантовая механика. Приступая к освоению курса, студент должен владеть терминологией и понятиями современной физики, представлениями о назначении и устройстве детекторов и ядерно-физических установок.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-1 [1] – Способен применять базовые знания в области физико - математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	З-ОПК-1 [1] – знать фундаментальные основы, полученные в области естественных и математических наук. У-ОПК-1 [1] – уметь использовать на практике базовые знания, полученные в области естественных и математических наук; применять для анализа и обработки результатов физических экспериментов. В-ОПК-1 [1] – владеть навыками обобщения, синтеза и анализа базовых знаний, полученных в области естественных и математических наук, владеть научным

	мировоззрением
ОПК-2 [1] – Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные	<p>З-ОПК-2 [1] – знать типовые методы физических измерений, теоретические основы физических методов исследования.</p> <p>У-ОПК-2 [1] – уметь анализировать и обрабатывать данные физического эксперимента и представлять их в ясной и удобной форме</p> <p>В-ОПК-2 [1] – владеть навыками обращения с типовыми приборами для электронно-физических и электротехнических измерений, методами анализа и обработки экспериментальной информации.</p>

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

<b>Задача профессиональной деятельности (ЗПД)</b>	<b>Объект или область знания</b>	<b>Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции</b>
научно-исследовательский			
освоение методов, а также теорий и моделей, используемых в научных исследованиях	биологические объекты различной организации, источники ионизирующих излучений	<p>ПК-1 [1] - Способен использовать профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-1[1] - знать основные физические явления, фундаментальные понятия, законы и теории физики, основные методы теоретического и экспериментального исследования, методы измерения различных физических величин ;</p> <p>У-ПК-1[1] - уметь разбираться в физических принципах, используемых в изучаемых специальных дисциплинах, решать физические задачи применительно к изучаемым специальным дисциплинам и прикладным проблемам будущей специальности;</p> <p>В-ПК-1[1] - владеть</p>

			методами проведения физических измерений с оценкой погрешностей , а также методами физического описания типовых профессиональных задач и интерпретации полученных результатов
участие в проведении физических исследований по заданной тематике, обработка полученных результатов на современном уровне	биологические объекты различной организации, источники ионизирующих излучений	<p>ПК-2 [1] - Способен проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>3-ПК-2[1] - знать основные современные методы и средства научного исследования, современную приборную базу (в том числе сложное физическое оборудование); теоретические основы и базовые представления научного исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований, основные закономерности формирования результатов эксперимента ;</p> <p>У-ПК-2[1] - уметь самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в выбранной области и решать их с помощью современной приборной базы и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта; уметь проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и(или) теоретических физических исследований,</p>

			<p>анализировать результат, полученный в ходе проведения эксперимента; оценивать изменения в выбранной области, связанные с новыми разработками, с помощью информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта; В-ПК-2[1] - владеть необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников в избранной области исследования, навыками проведения теоретических, экспериментальных и практических исследований с использованием современных программных средств, инновационных и информационных технологий, навыками работы со стандартной измерительной аппаратурой и экспериментальными установками, навыками работы на современной аппаратуре и оборудовании для выполнения физических исследований с применением современных компьютерных технологий</p>
	проектный		
освоение методов применения результатов научных	технологии и оборудование, используемое в	ПК-4 [1] - Способен применять на практике профессиональные	З-ПК-4[1] - знать теоретические основы физических методов

исследований в инновационной и инженерно-технологической деятельности	различных областях медицинской физики	знания теории и методов физических исследований  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	исследования. ; У-ПК-4[1] - уметь использовать возможности современных методов физических исследований для решения научно-исследовательских задач; В-ПК-4[1] - владеть практическими навыками применения физических и математических методов исследования, обработки и анализа объектов исследований
освоение методов применения результатов научных исследований в инновационной и инженерно-технологической деятельности	технологии и оборудование, используемое в различных областях медицинской физики	ПК-6 [1] - Способен принимать участие в составе коллектива в создании и использовании физической аппаратуры и технологий, основанных на новейших достижениях физики, техники и электроники  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-6[1] - знать основные организационные принципы коллективной научной деятельности и современную физическую аппаратуру и технологии ; У-ПК-6[1] - уметь использовать личностные качества и знания в рамках выполнения работы по коллективным проектам; В-ПК-6[1] - владеть навыками создания и использования современной физической аппаратуры и технологий, владеть приемами планирования и организации работы в рамках научных групп, способен эффективно выполнять отведенную роль в научных исследованиях

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
------------------	-------------------------	------------------------------------

ВОСПИТАНИЯ		
------------	--	--

## 5. 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>6 Семестр</i>						
1	Основные представления микрофизики. Взаимодействие заряженных частиц с веществом.	1-8	16/32/16		25	к.р-8	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4,

							В-ПК-4, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
2	Взаимодействие э/м излучения с веществом. Модели ядер.	8-15	14/28/14		25	к.р-15	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
	<i>Итого за 6 Семестр</i>		30/60/30		50		
	<b>Контрольные</b>				50	Э	3-



	мероприятия за 6 Семестр						ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1
	<i>7 Семестр</i>						
1	Закономерности ядерных реакций. Нейтронная и прикладная физика	1-8	8/8/8		25	к.р-8	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-

							ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
2	2. Закономерности радиоактивных распадов. Различные виды радиоактивности.	9-16	8/8/8		25	к.р-16	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ПК-1,

							У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		16/16/16		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	3	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, З-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-

							ПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
--	--	--	--	--	--	--	--

\* – 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
к.р	Контрольная работа
З	Зачет
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>6 Семестр</i>	30	60	30
<b>1-8</b>	<b>Основные представления микрофизики. Взаимодействие заряженных частиц с веществом.</b>	16	32	16
1	<b>Закономерности квантовой механики.</b> Закономерности квантовой механики. Закономерности теории относительности при релятивистских энергиях. Основные математические формулы для описания процессов в ядерной физике с учетом представлений квантовой механики и теории относительности.	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Единицы измерения в микро мире.</b> Единицы измерения в микро мире. Масштабы величин в ядерной физике: энергия, расстояние, время. Примеры ядернофизических процессов разного масштаба.	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Классификация элементарных частиц по группам</b> Классификация элементарных частиц по группам: гамма квант, лептоны, мезоны, барионы. Четыре типа взаимодействий в природе: сильное, электромагнитное, слабое, гравитационное. Описание с помощью частиц-переносчиков взаимодействий.	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Электромагнитное взаимодействие заряженных частиц и гамма квантов с веществом.</b>	Всего аудиторных часов		
		2	4	2

	<p>Электромагнитное взаимодействие заряженных частиц и гамма квантов с веществом. Понятие сечения взаимодействия частиц. Формула Резерфорда.</p> <p>Ионизационные потери энергии заряженных частиц. Удельные ионизационные потери. Эффект плотности. Зависимость удельных ионизационных потерь от параметров частицы и характеристик среды.</p>	Онлайн		
		0	0	0
5	<p><b>Пробег частиц, обусловленный ионизационными потерями.</b></p> <p>Пробег частиц, обусловленный ионизационными потерями. Стратегия при пробеге. Кривые и пик Брэгга. Дельта электроны. Примеры наблюдения и использования ионизационных эффектов в различных областях физики.</p>	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
6	<p><b>Многократное рассеяние заряженных частиц.</b></p> <p>Многократное рассеяние заряженных частиц. Сопоставление потерь энергии при столкновении частиц с электронами и ядрами вещества. Вычисление угла многократного рассеяния при прохождении толстых фильтров.</p>	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
7	<p><b>Черенковское излучение и его характеристики.</b></p> <p>Черенковское излучение и его характеристики. Спектр излучения. Применение для регистрации частиц: дифференциальные и пороговые счетчики. Обзор всех выше рассмотренных эффектов с заряженными частицами; их роль и вклад при прохождении различных частиц через слой вещества.</p>	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
8	<p><b>Радиационное торможение.</b></p> <p>Радиационное торможение. Зависимость сечения тормозного излучения от энергии, массы, заряда частицы и параметров среды. Потери энергии на тормозное излучение. Критическая энергия и радиационная единица длины. Зависимость <math>E_{кр}</math> и <math>X_{рад}</math> от характеристик частицы и среды.</p>	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
8-15	<p><b>Взаимодействие э/м излучения с веществом. Модели ядер.</b></p>	14	28	14
9	<p><b>Взаимодействие гамма квантов с веществом.</b></p> <p>Взаимодействие гамма квантов с веществом. Фотоэффект. Зависимость сечений фотоэффекта от энергии и характеристик вещества. Пространственное распределение фотоэлектронов.</p>	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
10	<p><b>Комптон-эффект.</b></p> <p>Комптон-эффект. Характеристики рассеянных фотонов. Зависимость сечения комптон-эффекта от энергии гамма квантов и параметров среды. Сопоставление с процессом на протонах и ядрах.</p>	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
11	<p><b>Рождение электрон-позитронных пар частиц.</b></p> <p>Рождение электрон-позитронных пар частиц. Порог рождения пар частиц разной массы. Поведение сечения рождения пар в области разных энергий. Зависимость сечения от параметров среды. Линейный коэффициент поглощения гамма квантов. Каскадные ливни. Аннигиляция позитронов.</p>	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0

12	<b>Принципы построения графов Фейнмана</b> Принципы построения графов Фейнмана: роль и учет пропагатора, правила использования «треххвосток», учет вершинных констант, построение амплитуды процесса, переход к сечению. Графы для электромагнитных процессов. Качественная зависимость сечений от параметров налетающих частиц ( $Z_1, m_1$ ) и характеристик среды ( $A_2, Z_2, \rho_2$ ). Сопоставление вероятности при взаимодействии частиц разных зарядов, масс, а также для гамма квантов.	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Атомные ядра: стабильные и радиоактивные.</b> Атомные ядра: стабильные и радиоактивные. Нуклонный состав. Основные статические характеристики атомных ядер: масса, энергетический спектр, заряд, спин, четность состояния, магнитный момент, квадрупольный момент. Устойчивость ядер. Ядерные силы.	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Измерение масс ядер с помощью масс-спектрометра.</b> Измерение масс ядер с помощью масс-спектрометра. Массовое число. Изотопы. Энергия связи ядра. Удельная энергия связи. Запас внутренней энергии ядра.	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Модели атомных ядер.</b> Модели атомных ядер. Капельная модель ядра. Вычисления энергии связи ядер и различных изотопов. Область применения модели. Оболочечная модель ядра. Вычисление спина и четности для основного энергетического состояния ядер. Понятие об обобщенной модели ядер. Области применения моделей.	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
	<i>7 Семестр</i>	16	16	16
<b>1-8</b>	<b>Закономерности ядерных реакций. Нейтронная и прикладная физика</b>	8	8	8
1	<b>Общие закономерности ядерных реакций</b> Общие закономерности ядерных реакций: энергетический порог, энергия реакции, энергия возбуждений промежуточного ядра. Сохранение квантовых чисел: электрического, барионного и лептонного зарядов.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Барьеры реакций</b> Барьеры ядерных реакций. Выход ядерной реакции в тонкой мишени. Длина взаимодействия. Механизмы ядерных реакций. Особенности взаимодействия заряженных и нейтральных частиц разных энергий. Геометрическое сечение взаимодействия нейтральных частиц.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Характеристики нейтронов.</b> Характеристики нейтронов. Взаимодействие нейтронов. Методы регистрации разных энергий. Активационный анализ.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Рассеяние на ядрах. Замедление.</b> Рассеяние на ядрах. Замедление. Применение Cd для поглощения нейтронов. Источники нейтронов разных энергий. Нейтроны в медицине.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Резонансное взаимодействие в ядерной физике.</b> Резонансное взаимодействие в ядерной физике.	Всего аудиторных часов		

	Резонансное поглощение нейтронов. Формула Брейта-Вигнера.	1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Явление ядерно-магнитного резонанса.</b> Явление ядерно-магнитного резонанса. Резонансное поглощение гамма-квантов (эффект Мессбауэра). Применение в медицине.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Ускорители в медицине.</b> Ускорители в медицине. Движение заряженных частиц в э/м полях разной конфигурации. Особенности медицинских ускорителей. Преимущества разрезного микротрона. Система гантри.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Ядерно-физические методы в медицине.</b> Терапевтические особенности различных излучений. Ядерно-физические методы в медицине.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>2. Закономерности радиоактивных распадов.</b> <b>Различные виды радиоактивности.</b>	8	8	8
9	<b>Закон радиоактивного распада.</b> Радиоактивность. Активность и единицы ее измерения. Радиоактивные ряды в природе. Искусственная радиоактивность. Явление внутренней конверсии. Альфа, бета и гамма радиоактивность.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Метастабильное состояние ядер.</b> Метастабильное состояние ядер. Понятие о несохранении пространственной четности в слабых взаимодействиях. Воздействие радиации на живой организм.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Механизм деления ядер.</b> Механизм деления ядер. Особенности в делении урана-235 и урана-238. Цепная ядерная реакция. Управляемая цепная ядерная реакция.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Ядерная энергетика.</b> Реактор-размножитель. Схема ядерного реактора. Ядерная энергетика. Применение для медицины.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Процессы взаимодействия гамма квантов в ткани.</b> Процессы взаимодействия гамма квантов в ткани. Рентгенодиагностика и методы ее применения. Гамма-нож и методика его применения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Различные методики облучения гамма квантами.</b> Различные методики облучения гамма квантами. Кибер-нож и особенности его применения. Терапия нейтронами разных энергий.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Перспективные методы радиационной терапии.</b> Перспективные методы радиационной терапии. Особенности протонной лучевой терапии. Методика карандашного пучка протонов. Двухэнергетическая компьютерная томография.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
16	<b>Сопоставление протонной и ионной терапии.</b> Сопоставление протонной и ионной терапии. FLASH-терапия. Томотерапия. Применение технеция-99m.	Всего аудиторных часов		
		1	1	1
		Онлайн		

	Брахитерапия. Радиофармпрепараты.	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

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе освоения курса используются традиционные и инновационные технологии:

- лекционные занятия, с применением авторских мультимедийных технологий,
- практические занятия,
- самостоятельная работа студентов,
- занятия проводятся в активной и интерактивной форме.

## 7. 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)	Аттестационное мероприятие (КП 2)
ОПК-1	З-ОПК-1	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
	У-ОПК-1	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
	В-ОПК-1	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
ОПК-2	З-ОПК-2	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
	У-ОПК-2	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
	В-ОПК-2	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
ПК-1	З-ПК-1	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
	У-ПК-1	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
	В-ПК-1	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
ПК-2	З-ПК-2	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
	У-ПК-2	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
	В-ПК-2	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
ПК-4	З-ПК-4	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
	У-ПК-4	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
	В-ПК-4	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16



ПК-6	З-ПК-6	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
	У-ПК-6	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-16
	В-ПК-6	Э, к.р-8, к.р-15	З, к.р-8, к.р-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	4 – «хорошо»	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	3 – «удовлетворительно»	E	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			
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.

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

#### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ А 92 Атомная физика Т. 1 Введение в атомную физику, , , 2022
2. ЭИ А 92 Атомная физика Т. 2 Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома, , , 2022
3. ЭИ Б 18 Квантовая механика : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2020
4. ЭИ И 83 Квантовая физика. Основные законы : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2021
5. ЭИ Б 43 Квантовые измерения : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2020
6. ЭИ К 17 Практикум по решению задач по общему курсу физики. Колебания и волны. Оптика : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
7. ЭИ А 50 Радиоактивность : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
8. ЭИ Э 41 Экспериментальная ядерная физика Т. 2 Физика ядерных реакций, , , 2022

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К 20 Введение в физику ядра и частиц : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2010
2. 53 И83 Квантовая физика : основные законы, Москва: Бинوم. Лаборатория знаний, 2014
3. ЭИ С23 Сборник лабораторных работ по ядерной физике Ч.3 Элементарные частицы: свойства и взаимодействия, Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
4. 539.1 С23 Сборник лабораторных работ по ядерной физике Ч.3 Элементарные частицы: свойства и взаимодействия, Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
5. ЭИ С23 Сборник лабораторных работ по ядерной физике Ч.1 Нейтронная физика, , : МИФИ, 2008
6. 539.1 С23 Сборник лабораторных работ по ядерной физике Ч.1 Нейтронная физика, , : МИФИ, 2008
7. 539.1 М92 Экспериментальная ядерная физика Т. 1 Физика атомного ядра, , : Лань, 2008
8. 539.1 М92 Экспериментальная ядерная физика Т. 2 Физика ядерных реакций, , : Лань, 2008
9. 539.1 М92 Экспериментальная ядерная физика Т. 3 Физика элементарных частиц, , : Лань, 2008
10. 539.1 О-52 Лептоны и кварки : , Л. Б. Окунь, Москва: ЛКИ, 2008
11. ЭИ С23 Сборник лабораторных работ по ядерной физике Ч.2 Ядерные реакции, ред. : Ю. П. Добрецов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2010

12. 539.1 С23 Сборник лабораторных работ по ядерной физике Ч.2 Ядерные реакции, ред. : Ю. П. Добрецов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2010

13. 539.1 Т58 Сборник задач по ядерной физике : , Э. П. Топоркова, Б. У. Родионов, В. В. Борог, Москва: МИФИ, 2005

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

Специальное программное обеспечение не требуется

**LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

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

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

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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

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

В связи с большим объемом изучаемого материала и ограниченным количеством занятий, работа студентов над заданиями, в значительной степени, должна быть самостоятельной и систематической. Допускается использование любой научной и учебной литературы и интернет-ресурсов по тематике изучаемых проблем. Рекомендуется обращаться к преподавателю за консультациями.

В рабочей программе дисциплины предусмотрена самостоятельная работа студентов, которая проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- изучение отдельных разделов тем дисциплины по материалам лекции и рекомендованной литературе;
- подготовку к практическим занятиям;
- работу с интернет-источниками;
- подготовку к различным формам контроля;
- использование контрольно-измерительных материалов по учебной дисциплине.

Программой дисциплины предусмотрено решение ряда задач.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе.

По каждой из тем для самостоятельного изучения, приведенных в рабочей программе дисциплины следует сначала прочитать рекомендованную литературу и при необходимости составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме и для освоения последующих разделов курса.

Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах и использовать материалы учебно-научных сайтов, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

Материалы и методы, используемые в течение семестра для контроля знаний студентов:

1. Регулярный интерактивный опрос по текущему домашнему заданию.
2. Итоговая проверка и приём домашних заданий на последней учебной неделе.
3. Проведение контрольных работ в конце каждого раздела курса.
4. Устный интерактивный опрос и обсуждение на семинарах текущих лекционных материалов.

Важно:

- освоить и «почувствовать» масштабы единиц, характерных для области, в которой применима ядерная физика;

- освоить: систему единиц CGSE, применять – эВ и эрг для энергетических величин. Массу частиц ( $m$ ) вычислять в энергетических единицах ( $mc^2$ ). Это необходимо, чтобы не быть «белой вороной» среди специалистов, а до этого – успешно пройти текущую аттестацию по предмету;

- при оценке различных физических эффектов правильно использовать формулы классической и релятивистской физики. Характерной границей «раздела» в большинстве случаев является кинетическая энергия, близкая по величине к массе покоя частиц;

- помнить! - медицинская физика с применением ядерных излучений способна не только лечить (продлить жизнь человеку), но привести к печальному результату при применении неправильных числовых значений в ядерно-физических методиках;

- регулярно выполнять практические задания и систематически прорабатывать материалы лекций. Это ключ к успеху (и внутреннему удовлетворению) при регулярном тестировании по материалам лекций и обсуждений решения текущих заданий.

При изучении курса не забывать общий тезис: не откладывать на конец семестра непонятные вопросы курса или способ решения какой-либо задачи. Преподаватель всегда готов «подсказать правильную дорогу к решению проблемы».

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

Цель курса – дать будущему исследователю знания об основных закономерностях взаимодействия различных видов корпускулярного излучения с веществом с целью выбора метода для его эффективной регистрации и оценки проникающей способности, понять закономерности строения микрообъектов на уровне ядер и частиц, ознакомиться с методами исследования различных характеристик микрообъектов. Приобрести опыт (в физическом практикуме каф.7) по проведению практических измерений в области ядерной физики с использованием ионизирующего излучения, также обработки физических результатов с применением ЭВМ в линию с экспериментальной установкой.

Основное внимание уделяется:

- качественному пониманию физических процессов, связанных с походом излучения через вещество. Решается двуединая задача: научить оценивать эффект взаимодействия и поглощения с целью защиты от радиации, а также представлять наиболее эффективные способы регистрации характеристик самих проникающих частиц;

- поведению сечений взаимодействия и потерь энергии как от характеристик налетающих частиц (энергия, масс, заряд), так и от свойств вещества (атомный номер, заряд, плотность);

- получению количественных оценок потерь энергии в разных физических эффектах.

При изучении классификации фундаментальных частиц полезно рассмотреть проблему исторически: сначала ввести лептоны, мезоны и барионы. Важно ввести квантовые числа: лептонный и барионный заряды. Затем обобщить задачу в рамках Стандартной модели с участием кварков и глюонов. Ограничиться кварковым строением частиц, характеризующих ядра (протоны, нейтроны и мезоны). В качестве факультатива можно ввести понятие о цветных кварках (для объяснения структуры омега-минус-гиперона).

Показать сложность и многообразие характеристик ядерных сил, которые не позволяют построить одну непротиворечивую модель ядра. Показать, что в настоящее время характеристики ядра качественно объясняются в рамках двух типов моделей: капельной и оболочечной. Одна модель объясняет прочность ядра к распадам, другая дает динамические характеристики состояния – спин и четность.

Обратить внимание студентов (для более расширенного изучения отдельных материалов) на интернет-ресурс «ядерная физика в интернете».

Закреплять текущий материал следует с помощью решения задач с числовыми примерами, позволяющими лучше уяснить масштабы и взаимосвязь сложных явлений. Лекции должны сопровождаться наглядным иллюстративным материалом, в частности, с использованием компьютерных презентаций. Следует уделять особое внимание проведению практических расчетов, выполняемых студентами при работе над текущими заданиями. Допускается использование справочных материалов, необходимых для выполнения численных расчетов.

Контроль текущей работы студентов следует проводить в интерактивном режиме в виде опроса и обсуждения выполненного домашнего задания. Все задачи домашнего задания должны быть сданы преподавателю до итоговой аттестации в конце каждого семестра. Типовые домашние задачи могут входить в итоговую аттестацию.

Учебная задача (7 семестр). Основная задача курса – дать будущему медицинскому физики базовые знания об основных закономерностях осуществления и протекания ядерных реакций, а также радиоактивных превращениях разных типов, с целью выбора метода и способа воздействия на микрообъекты и (или) изучения их характеристик. Приобрести знания по методам проведения исследований в области ядерной физики с использованием ионизирующего и нейтрального проникающего излучения.

Основное внимание уделяется: - качественному пониманию физических процессов, связанных с осуществлением ядерных реакций. Рассматриваются общие энергетические и кинематические характеристики протекания ядерных реакций под действием заряженных и нейтральных частиц. При изучении кинематики целесообразно ввести импульсную диаграмму как для упругих процессов, так и для ядерных реакций, дающую наглядное представление о пределах «разлета» продуктов взаимодействия;

- основная часть вопросов по ядерным реакциям относится к области низких и умеренных энергий, в которых отражается специфика профиля подготовки студентов, связанных с медицинской физикой. Поэтому более подробно изложены закономерности модели промежуточного ядра. Акцентировать внимание на понятии дифференциальных сечений как по энергии, так и по углам. Это важно для правильного подсчета полных сечений взаимодействия частиц;

- с единых позиций рассматриваются вопросы радиоактивного распада: общие закономерности и различные частные виды (альфа-, бета-, гамма распады). Для специализации важны тонкие вопросы: явления внутренней конверсии, метастабильные состояния, правила отбора переходов, последовательный распад, искусственная радиоактивность и т.п. Рассматривается методика сверхточных исследований на примерах ЯМР и эффекта Мессбауэра;

- особое значение отводится физике нейтронов (свойства, взаимодействие, регистрация, источники, замедление). К сожалению, из-за дефицита времени все это рассмотрено очень кратко. Дается только главное, чтобы студент мог сам ориентироваться при дальнейшей индивидуальной работе;

- в рамках требований специальности кратко изложены вопросы физики деления ядер и осуществления цепных ядерных реакций. Рассмотрено физическое устройство реактора, как источника энергии, так и радиоактивного объекта высокой активности и мощного источника нейтронов.

Обратить внимание студентов (для более расширенного изучения отдельных материалов) на интернет-ресурс «Ядерная физика в интернете».

Автор(ы):

Борог Владимир Викторович, д.ф.-м.н., доцент

Рецензент(ы):

Ю.Д. Котов