

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

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА РАДИАЦИОННОЙ ФИЗИКИ И БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практических подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
7	5	180	32	32	16		64	0	Э
Итого	5	180	32	32	16	16	64	0	

## АННОТАЦИЯ

Базируясь на предшествующих курсах по физике ядра, по взаимодействию излучения с веществом, дозиметрии ионизирующих излучений, способствовать у студентов углублённому пониманию принципов работы детекторов ионизирующих излучения для целей дозиметрии и радиометрии, методов измерения сверхмалых токов и обработки импульсных сигналов. Освоение дисциплины обеспечит грамотный выбор блоков детектирования и блоков обработки информации для измерения поглощенной дозы, эквивалента дозы, активности источников ионизирующих излучений, удельной и объёмной активности, плотностей потоков и флюенсов частиц; овладение технологией измерения радиационных характеристик и обработки первичной информацией.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Базируясь на предшествующих курсах по физике ядра, по взаимодействию излучения с веществом, дозиметрии ионизирующих излучений, способствовать у студентов углублённому пониманию принципов работы детекторов ионизирующих излучения для целей дозиметрии и радиометрии, методов измерения сверхмалых токов и обработки импульсных сигналов. Освоение дисциплины обеспечит грамотный выбор блоков детектирования и блоков обработки информации для измерения поглощенной дозы, эквивалента дозы, активности источников ионизирующих излучений, удельной и объёмной активности, плотностей потоков и флюенсов частиц; овладение технологией измерения радиационных характеристик и обработки первичной информацией.

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

Дисциплина призвана связать знания студента в области теоретических дисциплин, относящихся к ядерной физике и их практической реализации в эксперименте.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

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

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

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			

<p>Исследования перспективных типов ядерных энергетических установок, теплофизические исследования перспективных твэлов, топлива, конструкционных материалов и теплоносителей. Разработка моделей и программных комплексов для расчета теплогидравлических и нейтронно-физических процессов в активных зонах перспективных ядерных реакторов. Создание и применение установок и систем для проведения теплофизических, ядерно-физических исследований, неравновесных физических процессов</p>	<p>Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов</p>	<p>ПК-7.1 [1] - Способен к подготовке и анализу информационных исходных данных для проведения математического моделирования нейтронно-физических и теплофизических процессов в ЯЭУ</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-7.1[1] - знать методы математического анализа для моделирования нейтронно-физических и теплофизических процессов в ЯЭУ; У-ПК-7.1[1] - уметь проводить математическое моделирование нейтронно-физических и теплофизических процессов в ЯЭУ; В-ПК-7.1[1] - владеть стандартными пакетами автоматизированного проектирования и исследований</p>
<p>Исследования перспективных типов ядерных энергетических установок, теплофизические исследования перспективных твэлов, топлива, конструкционных материалов и теплоносителей. Разработка моделей и программных комплексов для расчета теплогидравлических и нейтронно-физических процессов в активных зонах перспективных</p>	<p>Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для</p>	<p>ПК-3 [1] - Способен проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания проводимых исследований, отчеты по анализу результатов и подготовке научных публикаций</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-3[1] - знать основные физические законы и методы обработки данных ; У-ПК-3[1] - уметь работать по заданной методике, составлять описания проводимых исследований и отчеты, подготавливать материалы для научных публикаций; В-ПК-3[1] - владеть навыками проведения физических экспериментов по заданной методике, основами компьютерных и информационных</p>

ядерных реакторов. Создание и применение установок и систем для проведения теплофизических, ядерно-физических исследований, неравновесных физических процессов	исследованияяявлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов		технологий, научной терминологией
организационно-управленческий			
Создание и применение установок и систем для проведения теплофизических, ядерно-физических исследований, неравновесных физических процессов	Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследованияяявлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов	ПК-9 [1] - Способен к выполнению работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, оборудования и материалов  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.032	З-ПК-9[1] - Знать номенклатуру работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов; У-ПК-9[1] - Уметь выполнять работы по подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов; В-ПК-9[1] - Владеть основными навыками сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры ядерной безопасности (В24)	1.Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн. 2.Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Актуальные проблемы эксплуатации

	<p>АЭС», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике», «Системы радиационного контроля» для формирования личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами.</p> <p>3. Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Контроль и диагностика ядерных энергетических установок», «Надежность оборудования атомных реакторов и управление риском», «Безопасность ядерного топливного цикла», «Ядерные технологии и экология топливного цикла» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов.</p> <p>4. Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Системы радиационного контроля», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду, обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработки ядерных отходов, вопросов</p>
--	---

		замыкания ядерного топливного цикла.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за обеспечение кибербезопасности объектов атомной отрасли (В25)	<p>1.Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн. 2.Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Актуальные проблемы эксплуатации АЭС», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике», «Системы радиационного контроля» для формирование личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами. 3.Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Контроль и диагностика ядерных энергетических установок», «Надежность оборудования атомных реакторов и управление риском», «Безопасность ядерного топливного цикла», «Ядерные технологии и экология топливного цикла» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов.</p> <p>4.Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Системы радиационного контроля», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике» для формирования</p>

		<p>ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду, обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработки ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.</p>
Профессиональное воспитание	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственной экологической позиции (В26)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн. 2.Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Актуальные проблемы эксплуатации АЭС», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике», «Системы радиационного контроля» для формирование личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами. 3.Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Контроль и диагностика ядерных энергетических установок», «Надежность оборудования атомных реакторов и управление риском», «Безопасность ядерного топливного цикла», «Ядерные технологии и экология топливного цикла» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы АСУТП</p>


ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов.

4. Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Системы радиационного контроля», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду, обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработки ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.

## 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* <sup>*</sup>	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	16/16/8		25	КИ-8	3-ПК-7.1, У-ПК-7.1, В-ПК-7.1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
2	Часть 2	9-16	16/16/8		25	КИ-16	3-ПК-7.1, У-ПК-7.1, В-ПК-7.1,

						3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/32/16		50	
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>			50	Э	3-ПК-7.1, У-ПК-7.1, В-ПК-7.1, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9

\* – сокращенное наименование формы контроля

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

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	32	32	16
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	16	16	8
1	Эталоны и стандарты в области ионизирующих излучений. Образцовые источники. Эталонные поля. Общие требования к дозиметрам и радиометрам.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	1 0
2	Радиометры альфа-излучения: сцинтилляционные счетчики с дисперсионными сцинтиляторами, радиометры с пропорциональными и коронными счетчиками. Блок-схемы приборов.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	1 0
3	Радиометры бета-излучения. Радиометры с газоразрядными счетчиками, органическими сцинтилляторами, пропорциональными счетчиками. Установки малого фона.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	1 0
4	Специальные радиометры для определения концентрации радиоактивных веществ в воде, продуктах питания, грунтах. Отбор проб.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	1 0

5	Радиометры аэрозолей и радона.	Всего аудиторных часов		
		2	2	1
Онлайн				
		0	0	0
6	Приборы для определения поглощенной дозы и кермы фотонного излучения. Ионизационные дозиметры (толщина стенок камер, напряжение, объем). Камеры без стенок.	Всего аудиторных часов		
		2	2	1
Онлайн				
		0	0	0
7	Сцинтилляционные дозиметры поглощенной дозы и кермы фотонного Излучения. Термolumинесцентные дозиметры. Дозиметры с газоразрядными счетчиками. Требования к индивидуальным дозиметрам.	Всего аудиторных часов		
		2	2	1
Онлайн				
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Часть 2</b>	16	16	8
9	Применение спектрометрических методов в задачах радиационного мониторинга. Преимущества и недостатки спектрометрического метода анализа.	Всего аудиторных часов		
		2	2	1
Онлайн				
		0	0	0
10	Особенности различных методов спектрометрии. Типы спектрометров. Структуры сцинтилляционного, полупроводникового, ионизационного, магнитного и время пролетного спектрометров. Роль вычислительной техники.	Всего аудиторных часов		
		2	2	1
Онлайн				
		0	0	0
11	Приборная форма линии, ее особенности и механизмы формирования этих особенностей для различных спектрометров. Обработка приборных спектров. Задача идентификации нуклидов и активационные измерения. Матричный метод обработки приборных спектров.	Всего аудиторных часов		
		2	2	1
Онлайн				
		0	0	0
12	Методы спектрометрии гамма-излучения. Неорганические и полупроводниковые кристаллы. Зависимость приборных спектров от размеров кристалла, типа и характеристик спектрометрического тракта. Газовые сцинтилляторы на основе благородных газов. Медицинские аспекты применения спектрометров.	Всего аудиторных часов		
		2	2	1
Онлайн				
		0	0	0
13	Методы спектрометрии альфа-излучения. Ионизационная камеры с сеткой, полупроводниковый детектор, детектор по времени пролета. Спектрометрия альфа-излучения в задачах охраны окружающей среды.	Всего аудиторных часов		
		2	2	1
Онлайн				
		0	0	0
14	Методы спектрометрии бета-излучения. Сцинтилляционные спектрометры. Полупроводниковые детекторы.	Всего аудиторных часов		
		2	2	1
Онлайн				
		0	0	0
15	Вычислительно-измерительные системы. Радиометры-	Всего аудиторных часов		

	спектрометры. Автономные системы для радиационного мониторинга. Сравнение дозиметрических, радиометрических и спектрометрических Методов для решения задач радиоэкологии. Выбор метода, его эффективность, экономическая целесообразность. Заключение.	2	2	1	
Онлайн					
0 0 0					

  

16	Обзорная лекция.	Всего аудиторных часов		
		2	2	1
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

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

## ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	7 Семестр
1 - 2	Выбор порога дискриминации и определение эффективности регистрации $\alpha$ -частиц сцинтилляционным радиометром с дисперсным сцинтиллятором.
3 - 4	Установка малого фона: определение подавления фона с помощью свинцовой защиты и кольца счётчиков, включённых в схему антисовпадений, определение чувствительности к различным.
5 - 6	Радиометр тепловых нейтронов с пропорциональным борным счётчиком: определение порога дискриминации фона $\gamma$ -излучения, определение чувствительности радиометра с помощью образцового источника быстрых нейтронов.
7 - 8	Радиометр быстрых нейтронов на базе сцинтилляционного детектора, подавление вклада импульсов от $\gamma$ -излучения, определение чувствительности.
9 - 10	«Всеволновой» радиометр нейтронов. Определение чувствительности регистрации нейтронов.
11 - 12	Индивидуальные дозиметры $\gamma$ -излучения. Провести облучение в поле образцового источника $\gamma$ -излучения ТЛД и РФЛД дозиметров, определить их дозовую чувствительность.
13 - 14	Сравнить показания носимых дозиметров $\gamma$ -излучения (ионизационный дозиметр, дозиметр с газоразрядным счётчиком, сцинтилляционные дозиметры с кристаллом NaI(Tl) и комбинированным сцинтиллятором) при измерении «в воздухе», за полиэтиленовым барьером и в полиэтиленовом колодце.
15 - 16	Определить амбиентный эквивалент дозы нейтронов и индивидуальный эквивалент дозы.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализация программы используются следующие технологии:

- лекции по курсу традиционного типа, на некоторых лекциях применяется компьютерный проектор для иллюстраций сложных устройств и дизайна приборов;
- выполнение студентами заданий по разделам курса;
- проведение лабораторных работ с активной формой обучения: получение технического задания, обсуждение технического предложения (с учетом диапазона измеряемых величин и энергий частиц), выбор готового прибора или компоновка из электронных блоков, поверка прибора;
- практические занятия в аудитории, сочетающиеся с обсуждением результатов решения по домашнему заданию;
- консультации студентов в процессе выполнения заданий
- посещение лаборатории «Счетчики (спектрометры) излучения человека» в ФМБЦ «Биофизика им. А.И.Бурназяна». Дискуссия о вкладах внутреннего и внешнего облучения людей в общую дозу.

## 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)
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-7.1	З-ПК-7.1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-7.1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-7.1	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-9	З-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-16

### Шкалы оценки образовательных достижений

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

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту,

			если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89		B	
75-84		C	
70-74	4 – «хорошо»	D	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69			Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64	3 – «удовлетворительно»	E	
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

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

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.1 К78 Инструментальные методы радиационной безопасности : учебное пособие для вузов, Крамер-Агеев Е.А., Трошин В.С., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
2. ЭИ Б 90 Спектрометрия ионизирующих излучений. Гамма-спектрометрия : учеб. пособие, Будыка А.К., Москва: НИЯУ МИФИ, 2021
3. ЭИ Б 90 Спектрометрия ионизирующих излучений. Основные понятия и терминология : учебно-методическое пособие, Будыка А.К., Москва: НИЯУ МИФИ, 2021
4. ЭИ Т76 Характеристики радионуклидов для градуировки гамма-спектрометров : учебное пособие для вузов, Трошин В.С., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 В60 Внутриреакторная дозиметрия : практическое руководство, , Москва: Энергоатомиздат, 1985

2. 539.1 И20 Курс дозиметрии : учебник для вузов, Иванов В.И., Москва: Энергоатомиздат, 1988

3. 539.1 Я34 Ядерное приборостроение Т.2 Измерительные системы. Т.3: Производство аппаратуры, , Москва: Восточный горизонт, 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**

#### Лекции

##### 1.Введение

Краткие исторические сведения о развитии ядерного приборостроения. Основные дозиметрические и радиометрические величины, их типичные значения при нормальной деятельности установок и объектов и в аварийных ситуациях.

Иерархия в компоновке приборов и устройств. Этапы проектирования.

2.Развитие конструирования устройств от моно приборного к блочно-узловому. Иерархия в компоновке приборов: детали, узлы, блоки, приборы, системы. Особенности конструкций приборов для научных исследований и массового потребителя. Этапы проектирования: разработка технического задания, техническое предложение, эскизный проект, рабочий проект, опытные образцы, запуск в серию. Сопутствующая техническая документация.

3. Основные виды взаимодействия ионизирующих излучений с веществом, их реализация в детекторах.

Прямо и косвенно ионизирующие излучения. Особенности прохождения электронов, протонов, частиц через вещество. Удельные потери энергии. Взаимодействие фотонов с веществом, передача энергии и реализация в детекторах, понятия «тонкий» и «толстый» детекторы. Взаимодействие нейтронов с веществом, передача энергии, эффект замедления нейтронов. Матрица, состояние вещества – способ детектирования.

4. Избирательные радиометры и нейтронного излучений.

Радиометры: назначение, показатели качества. Радиометрия  $\gamma$ -излучения. Сцинтилляционные радиометры с дисперсными сцинтилляторами. Радиометры с пропорциональными проточными счетчиками: конструкция, физика процессов, зависимость коэффициента газового усиления от напряжения и давления газа. Радиометры с коронными счетчиками. Полупроводниковые детекторы в радиометрии: физика процессов, требования к напряжению, шумы. Спектры на выходе из толстых проб, поправки на поглощение.

**Радиометрия  $\alpha$ -излучения.** Краткая характеристика  $\alpha$ -излучения: форма спектра, пробег, прохождение электронов и  $\alpha$ -частиц через вещество. Радиометры  $\alpha$ -излучения с газоразрядными счетчиками: физика процесса, влияние стенки (окна), подключение счетчиков. Радиометры «малого фона». Сцинтилляционные радиометры: выбор типа сцинтиллятора и его толщины. Специальные сцинтилляционные радиометры для измерения малой активности в продуктах питания и воде. Принцип сцинтилляционного радиометра трития.

**Радиометры нейтронов.** Характеристики нейтронного излучения, спектры типичных источников и спектры нейтронных полей. Радиометры тепловых нейтронов. Базовые ядерные реакции. Радиометры с дисперсным сцинтиллятором. Радиометры с кристаллом LiI(Eu). Радиометры с пропорциональными и коронными счетчиками. Радиометры быстрых нейтронов. Применение реакции деления для радиометрии быстрых нейтронов. Радиометры быстрых нейтронов с дисперсным сцинтиллятором: физика процессов, ограничение по толщине, зависимость чувствительности от энергии, эффективная чувствительность и соответствующий энергетический порог. «Всеволновые» радиометры: метод замедления, счетчик Хансена и Мак-Киббена и Нахтигеля.

#### 5. Дозиметры $\alpha$ -излучения.

**Дозиметры  $\alpha$ -излучения.** Дозиметры с ионизационными камерами: выбор толщины стенки, напряжения и объема. Принципы электрометрии слабых токов. Сцинтилляционные дозиметры с комбинированными сцинтилляторами. Дозиметры с газоразрядными счетчиками. Термолюминесцентные и радиофотолюминесцентные дозиметры. Дозиметры с ППД.

#### 6. Счетчики излучения человека.

**Счетчики (спектрометры)  $\alpha$ -излучения человека.** Способы определения активности  $\alpha$ -излучающих нуклидов, типы счетчиков, типичный протокол измерений. Методы определения активности  $\alpha$ -излучающих нуклидов.

#### 7. Дозиметры нейтронов.

**Дозиметры амбиентного эквивалента дозы.** двухкамерные измерители кермы нейтронов. Индивидуальные дозиметры нейтронов. Аварийные дозиметры.

### ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Приборный состав в лаборатории практикума позволяет обеспечить более глубокое освоение курса. Студент получает задание на проведение самостоятельного исследования. Он знакомится с реальными описаниями приборов и устройств, составляет схему проведения эксперимента и, после одобрения её преподавателем, проводит необходимые измерения и обработку полученной информации.

Типичные задания:

1. Выбор порога дискриминации и определение эффективности регистрации  $\alpha$ -частиц сцинтилляционным радиометром с дисперсным сцинтиллятором.

2. Установка малого фона: определение подавления фона с помощью свинцовой защиты и кольца счётчиков, включённых в схему антисовпадений.

2.1. Радиометр тепловых нейтронов с пропорциональным борным счётчиком: определение порога дискриминации фона  $\gamma$ -излучения, определение чувствительности радиометра с помощью образцового источника быстрых нейтронов.

2.2. Радиометр быстрых нейтронов на базе сцинтилляционного детектора, подавление вклада импульсов от  $\gamma$ -излучения, определение чувствительности.

2.3. «Всеволновой» радиометр нейтронов. Определение чувствительности регистрации нейтронов.

3. Индивидуальные дозиметры  $\gamma$ -излучения. Провести облучение в поле образцового источника  $\gamma$ -излучения ТЛД и РФЛД дозиметров, определить их дозовую чувствительность.

4. Сравнить показания носимых дозиметров  $\gamma$ -излучения (ионизационный дозиметр, дозиметр с газоразрядным счётчиком, сцинтилляционные дозиметры с кристаллом NaI (Tl) и комбинированным сцинтиллятором) при измерении «в воздухе», за полиэтиленовым барьером и в полиэтиленовом колодце.

5. Определить амбиентный эквивалент дозы нейtronов и индивидуальный эквивалент дозы.

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

Ограниченнное число студентов позволяет проводить занятия с активным вовлечением слушателей в познавательный процесс, совмещая лекции с элементами практических занятий и семинаров.

Данный курс базируется на знаниях, полученных студентами по дозиметрии ионизирующих излучений, общей электротехнике и электронике и по экспериментальной ядерной физике.

Курс начинается с ознакомления системы передачи единиц от Государственного Эталона рабочим средствам измерения. Следует обратить внимание на возрастающую неопределенность измеряемой величины по мере удаления от Государственного Эталона. Среди общих требований, предъявляемых к дозиметрам и радиометрам, необходимо обратить внимание студентов на термин показатели качества, фактически это характеристика устройств. Среди них для освоения курса играют такие показатели, как диапазон и поддиапазоны измерений, диапазон энергий частиц, основные и дополнительные погрешности. Необходимо показать различие в требованиях, предъявляемых к индивидуальным, носимым, переносным приборам. Следует выделить показатели качества индивидуальных дозиметров.

Так как курс «Дозиметрия ионизирующих излучений» читается параллельно, то изучение начинается с радиометров. Необходимо дать в виде рисунка задачи радиометров и показать их место в системе контроля радиационной безопасности.

Каждый студент должен воспринять необходимость разработки избирательных радиометров. Усвоить фундаментальную разницу между измерением тока и потока излучения и вытекающие отсюда требования к толщине детектора.

Необходимо привести примеры регистрации а-частиц, фотонов при толщине детектора много меньше  $1/\alpha$ , или  $R$  и больше чем  $1/\alpha$ . или  $R$ , соответственно. Покажите стремление показаний к бесконечности при измерении плотности потока и к  $1/2$  при измерении тока по мере уменьшения расстояния детектор-источник.

Пригласите двух студентов и предложите им нарисовать на доске зависимость мононаправленного потока а-частиц от глубины проникновения в вещество и зависимость плотности переданной энергии от глубины. Упомяните об узком энергетическом диапазоне испускаемых радионуклидами а-частиц.

Студент должен представлять особенности распространения а-частиц в веществе, уровень линейной передачи энергии (ЛПЭ), масштаб пробега а-частиц, реализацию этих свойств при разработке блоков детектирования избирательных радиометров. Начать рассмотрение а-радиометров следует с распространенных во всем мире приборов с дисперсным

сцинтиллятором. Покажите при простейшей оценке разницу в поглощенных энергиях при взаимодействии а-частиц и электронов.

Затем следует дать описание принципа работы пропорционального счётчика. Нужно показать схему используемых конструкций.

Пригласите студентов высказать их мнение о зависимости коэффициента газового усиления (КГУ) от диаметра нити, напряжения и давления.

Подчеркните нежелательный эффект от проникновения в объём счётчика воздуха и паров воды.

При рассмотрении полупроводниковых детекторов пригласите кого-либо из студентов объяснить принцип работы. Дайте краткое напоминание о структуре детектора, зависимости ширины перехода от напряжения. Студент должен понять, почему в полупроводниковых (ППД) радиометрах обязательно используют зарядочувствительный усилитель.

Дайте зависимость поправок от толщины окна детектора для тонкого и толстого источников. Приведите рисунок, как меняется а-спектр от толщины источника.

При изучении раздела о  $\beta$ -радиометрах необходимо вспомнить о типичных спек-трах электронов и позитронов, их прохождении через вещество, что необходимо при введении поправок на поглощение  $\beta$ -излучения в окне или стенках детектора. Знать ответ на вопрос, почему предпочитают органические кристаллы в блоках детектирования и как подбирать толщину сцинтиллятора. При исследованиях загрязненности воды, продуктов питания и т.п. уровни активности бывают малы, и фон служит серьёзной помехой, каковы природные методы уменьшения вклада фона.

Дайте структурную схему установок малого фона и самого чувствительного в мире радиометра РБК-4 ем, использующего метод совпадений. Остановитесь на проблеме измерения трития; опишите схему радиометров для регистрации активности проб с тритием.

Рассмотрев радиометры а- и  $\beta$ -излучения, следует перейти к радиометрам газов и аэрозолей. Нарисуйте схему радиометра газов с волоконным фильтром для осаждения аэрозолей. Остановитесь на проблеме градуировки газоразрядного счётчика в объёмной трубе.

При описании радиометров жидкостей, включая воду, кратко опишите погружные детекторы.

Обычно нет необходимости в использовании  $\gamma$ -радиометров, а применяют обычно г-дозиметры. Студент должен вспомнить, что такое поглощенная доза и керма, каковы требования к приблизительному экспериментальному определению кермы.

Пригласите студентов объяснить, что такое эквивалентная доза и эквивалент дозы, операционные величины. Напомните, за каким экраном следует измерять поглощенную дозу.

Необходимо показать, как выбрать объём и напряжение ионизационного дозиметра, представить энергетическую зависимость показаний дозиметра при разных толщинах стенки камеры.

При рассмотрении сцинтилляционных дозиметров необходимо объяснить, какой сцинтиллятор предпочтителен, как выбрать диапазон прикладываемого напряжения и как оценить анодный ток.

Термolumинесцентные детекторы нашли повсеместное применение для индивидуальной дозиметрии. Объясните, каковы способы считывания информации, как улучшить дозовую ЭЗЧ дозиметров.

Студент должен иметь представление о радиофотолюминесцентных дозиметрах, способе считывания информации, методах поддержания стабильности аппаратуры.

Приведите рисунок, показывающий спектр поглощения фотонов света для облученного и необлучённого детекторов и, соответственно, спектры эмиссии света. Для стабилизации чувствительности установки применяют периодическую в процессе считывания показаний партии детекторов либо установку стекла с окислами марганца, либо светодового сигнала от источника стабильного свечения.

При изучении дозиметров с газоразрядными счётчиками студент должен понять, почему возможно измерение дозы или мощности дозы, когда сигнал не зависит от энергии фотонов (и сорта частиц), каковы пути улучшения дозовой ЭЗЧ.

Покажите, что для детекторов, имеющих избыточную чувствительность к фотонам малой энергии, используют перфорированные экраны из кадмия, олова. Требуется понимание зависимости скорости счёта от мощности дозы.

Нейтронное излучение характеризуется протяженным энергетическим спектром от миллиэлектронвольт до десятков МэВ.

В радиационной безопасности повсеместно применяют радиометры быстрых нейтронов на основе дисперсного комбинированного сцинтиллятора и необходимо представлять его ЭЗЧ и возможность её интерпретации пороговой функцией. Для детектирования тепловых нейтронов используют дисперсные, насыщенные бором сцинтилляторы или коронные борные счётчики, а иногда наполненные  $^3\text{He}$  счётчики.

Студент должен понимать, какие возможности открывает метод предварительного замедления нейтронов во «всеволновых» счётчиках и дозиметрах.

Часть курса посвящена изучению радиометров-спектрометров.

В первую очередь, необходимо показать возможности, принцип работы и назначение сцинтилляционных, полупроводниковых спектрометров. Объяснить, что такое приборная форма линии, как связана ширина пика на полувысоте с дисперсией. Необходимо увязать методы обработки приборных спектров с решением интегральных уравнений. Необходимо представлять зависимость эффективности, формы линии и разрешения от объёма сцинтиллятора. Студент должен представлять достоинства и недостатки полупроводниковых и сцинтилляционных спектрометров.

Для а-спектрометрии обычно используют кремниевые полупроводниковые детекторы. Напомните студентам о зависимости спектра эмиссии из проб от толщины. Покажите зависимость формы импульса от ширины перехода.

Автор(ы):

Крамер-Агеев Евгений Александрович, д.ф.-м.н.,  
профессор