

ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 3

от 30.08.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ДЕТЕКТОРЫ ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ И ДАТЧИКИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В  
ПРИБОРОСТРОЕНИИ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 12.04.01 Приборостроение

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
3	2	72	15	15	15	27	0	3
Итого	2	72	15	15	15	0	27	0

## **АННОТАЦИЯ**

Дисциплина состоит из двух основных разделов. В первом разделе рассмотрены физические принципы регистрации различных видов излучений и конструкция различных детекторов: ионизационных газовых, сцинтилляционных, полупроводниковых, а также применение пороговых черенковских детекторов. При рассмотрении детектирования ядерных излучений ионизационными детекторами проанализированы особенности регистрации излучений и конструкция детекторов, работающих в разных областях вольт – амперной характеристики. При изучении свойств полупроводниковых детекторов показано преимущество детекторов с р-п переходом, указаны способы увеличения размера рабочей области. Рассмотрены основные механизмы люминесценции сцинтилляционных детекторов, основные характеристики сцинтилляторов, различные методы построения сцинтилляционного детектора, свойства и параметры фотоэлектронных умножителей: вакуумных (ФЭУ) и твердотельных (SiФЭУ). Рассмотрены области применения детекторов.

В другом разделе рассмотрены методы измерения энергии ядерных излучений и работы спектрометров. Значительное внимание уделено анализу основных характеристик спектрометров ядерных излучений: функции отклика, разрешения и разрешающей способности, светосилы. Проанализированы основные принципы работы спектрометров полного поглощения, особенности однокристалльных и многокристалльных спектрометров, их характеристики и конструкции. Рассмотрены методы дозиметрии и особенности дозиметров, основанных на различных методах регистрации излучений. Определены области их применения и получающиеся при этом характеристики. Рассмотрены методы контроля делящихся материалов (ДМ) по различным видам излучений, позиционно-чувствительные детекторы, методы измерения альфа и бета-активности воздуха и жидкостей. Рассмотрены методы контроля трития.

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

Целями освоения учебной дисциплины являются получение студентами знаний методов регистрации различных видов излучений, спектрометрии и дозиметрии излучения, знакомство студентов с устройством, физическими принципами действия, основными характеристиками и областями применения детекторов, спектрометров и дозиметров, развитием навыков работы с детекторами ядерных излучений. Особое внимание уделяется освоению практических навыков работы на современной аппаратуре, содержащей детекторы, используемой для решения научных и практических задач в области ядерного приборостроения.

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

Дисциплина относится к профессиональному циклу, вариационной части ООП. Для изучения дисциплины студенты должны иметь знания по дисциплинам математического и естественно научного цикла, а также некоторым дисциплинам профессионального цикла, таким как Прикладная электроника, Ядерная физика, Физика ядерных излучений, Методы обработки результатов ядерно-физических экспериментов. Студенты должны понимать и уметь построить функциональные и принципиальные схемы электронных устройств, уметь применять знания физики взаимодействия излучения с веществом для моделирования детекторов излучения. Студенты должны быть готовы применить полученные знания при изучении данной

дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин в процессе проведения лабораторных работ по дисциплине.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

<p>Код и наименование компетенции УК-3 [1] – Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели</p>	<p>Код и наименование индикатора достижения компетенции З-УК-3 [1] – Знать: методики формирования команд; методы эффективного руководства коллективами; основные теории лидерства и стили руководства У-УК-3 [1] – Уметь: разрабатывать план групповых и организационных коммуникаций при подготовке и выполнении проекта; сформулировать задачи членам команды для достижения поставленной цели; разрабатывать командную стратегию; применять эффективные стили руководства командой для достижения поставленной цели В-УК-3 [1] – Владеть: умением анализировать, проектировать и организовывать межличностные, групповые и организационные коммуникации в команде для достижения поставленной цели; методами организации и управления коллективом</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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>Выбор оптимального метода и разработка программ экспериментальных исследований, проведение измерений с выбором технических средств и обработкой результатов</p>	<p>Методы исследований, программы экспериментальных исследований, технические средства измерений, методы обработки результатов</p>	<p>ПК-2 [1] - Способен к выбору оптимального метода и разработке программ экспериментальных исследований, проведение измерений с выбором технических средств и обработкой результатов  <i>Основание:</i> Профессиональный</p>	<p>З-ПК-2[1] - Знать: методологию выбора оптимального метода и разработки программ экспериментальных исследований, проведения измерений с выбором технических средств и обработки результатов ; У-ПК-2[1] - Уметь: аргументированно</p>

		стандарт: 40.011	выбирать оптимальные методы и разрабатывать программы экспериментальных исследований, проведения измерений с выбором технических средств и обработкой результатов; В-ПК-2[1] - Владеть: навыками выбора оптимального метода и разработки программ экспериментальных исследований, проведение измерений с выбором технических средств и обработкой результатов
--	--	------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>3 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	8/8/8		25	КИ-8	З-ПК-2, У-ПК-2, З-УК-3
2	Второй раздел	9-15	7/7/7		25	КИ-15	У-ПК-2, В-ПК-2, У-УК-3
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		15/15/15		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 3 Семестр</b>				50	3	З-ПК-2, У-

							ПК-2, В- ПК-2, 3-УК- 3, У- УК-3, В- УК-3
--	--	--	--	--	--	--	------------------------------------------------------------------

\* – сокращенное наименование формы контроля

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

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	15	15	15
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	8	8	8
1	<b>Тема 1. Физические основы методов регистрации ядерных излучений. Ионизация газов</b> Введение. Физические основы методов регистрации ядерных излучений. Классификация детекторов.. Ионизация газов. Движение электронов и ионов в газах.. Процесс ионизации газов. Ионизационный потенциал. Средняя энергия ионизации. Движение электронов и ионов в газах. Подвижности носителей заряда в электрическом поле. Скорость дрейфа. Газы электроположительные и электроотрицательные, захват электронов. Рекомбинация. Ток диффузии и полевой ток в газах.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Тема 2. Ионизационные камеры.</b> Принцип работы ионизационных камер. Вольтамперная характеристика. Ток насыщения. Уравнение интегральной ионизационной камеры. Учет рекомбинации и диффузии. Устройство ионизационных камер. Схема включения. Принцип работы импульсных ионизационных камер. Схемы включения. Механизм образования импульса. Форма и амплитуда импульса. Влияние постоянной RC на форму импульса. Индукционный эффект. Камеры с сеткой. Электронная и ионная составляющие импульса. Области применения и особенности конструкции: ионизационных камер для регистрации различных видов излучения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	4
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Тема 3. Газоразрядные детекторы.</b>	Всего аудиторных часов		

	<p>Определение области самостоятельного разряда. Ударная ионизация. Коэффициент ударной ионизации, механизм газового усиления. Коэффициент газового усиления для плоского и цилиндрического детекторов. Полное газовое усиление. Условие перехода самостоятельного разряда в самостоятельный. Механизм образования импульса. Форма, амплитуда и длительность импульса. Схемы включения. Амплитудное разрешение. Особенности конструкций и области применения пропорциональных детекторов. Определение области самостоятельного разряда, Механизм и способы гашения разряда, роль газового состава. Самогасящиеся счетчики. Характеристики самогасящихся счетчиков: форма, амплитуда и длительность импульса, мертвое время, время восстановления и разрешающее время. Рабочая характеристика. Низковольтные счетчики. Срок службы. Эффективность регистрации излучений; Конструкции счетчиков. Особенности применения счетчиков с самостоятельным разрядом при решении практических задач в области прикладной ядерной физики.</p>	1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	<p><b>Тема 4. Сцинтилляционные детекторы</b>  Принцип действия и устройство сцинтилляционных детекторов. Механизм люминесценции вещества под действием излучения. Сцинтилляторы, их характеристики. Конверсионная эффективность. Время высвечивания. Механизм высвечивания сцинтилляторов. Типы сцинтилляторов. Сборка сцинтилляционного детектора.. Фотоумножители.. Общие характеристики сцинтилляционных детекторов: форма и амплитуда импульса, амплитудное и временное разрешение, отношение сигнал-шум, энергетический эквивалент шума, эффективность регистрации излучений. Особенности применения сцинтилляционных детекторов при регистрации заряженных частиц, электронов и гамма-лучей.</p>	Всего аудиторных часов		
		1	1	4
		Онлайн		
		0	0	0
5	<p><b>Тема 5. Полупроводниковые детекторы</b>  Принцип действия и устройство полупроводниковых детекторов. Физические процессы в детекторе. Собственная и примесная проводимости. Способы уменьшения электропроводности. Однородные ППД, их характеристики. ППД с р-п-переходами. Свойства р-п-переходов, Ширина обедненной области. Емкость р-п-перехода. Типы ППД. Области применения и особенности регистрации излучений; полупроводниковыми детекторами.</p>	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<p><b>Тема 6. Детекторы нейтронов</b>  Принцип действия и устройство детекторов нейтронов. Ядерные реакции, используемые для регистрации нейтронов. Регистрация медленных нейтронов. Борные детекторы. Скорость протекания ядерной реакции в борном детекторе. Счетчики с гелием. Регистрация медленных нейтронов</p>	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	сцинтилляционными и полупроводниковыми детекторами. Регистрация быстрых нейтронов. Импульсные ионизационные камеры для регистрации быстрых нейтронов. Особенности регистрации нейтронов с использованием ядерных реакций деления. Регистрация нейтронов по наведенной; активности. Особенности активационного метода регистрации нейтронов. Пороговые и резонансные активационные детекторы.			
7 - 8	<b>Тема 7. Исследование полей гамма-излучения</b> Исследование полей $\gamma$ -излучения. Требования к детектору. Ход с жёсткостью. Условие Брэгга-Грея. Особенности применения токовых ИК, счётчиков Гейгера при исследовании полей $\gamma$ -излучения. Метод комбинированного сцинтиллятора. Введите здесь подробное описание пункта	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	<b>Второй раздел</b>	7	7	7
9	<b>Тема 13. Контроль делящихся материалов (ДМ)</b> Контроль делящихся материалов (ДМ) по альфа-излучению, альфа-излучение ДМ. Прохождение альфа-частиц через экраны. Методы контроля ДМ в растворах. Контроль аэрозолей. Контроль ДМ по нейтронному излучению. Источники нейтронов - спонтанное деление, ( $\alpha, n$ )-реакция. Удельный выход нейтронов в ( $\alpha, n$ )-реакциях. Нейтронное излучение однородных сред с гомогенно распределенным $\alpha$ -излучателем. Двухкомпонентные среды. Излучение водных растворов ДМ. Основные методы - пассивный и активный. Регистрация спонтанного деления. Активные методы - использование импульсного и осциллирующего источников. Контроль ДМ по гамма-излучению. Линейчатое гамма-излучение ДМ используемое для диагностики. Матричный эффект. Регенерация топлива, гамма-излучение $^{232}\text{U}$ и продуктов его распада. Рентгенофлюоресцентный анализ.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9	<b>Тема 8. Сцинтилляционные методы спектрометрии заряженных частиц и гамма-квантов</b> Спектрометр, его основные характеристики. Определение спектрометра Понятие истинного и аппаратурного спектров, функция отклика детектора, физический смысл функции отклика. Задача восстановления спектра и обратная задача, влияние временных факторов на функцию отклика. Спектральная линия и аппаратурная форма линии энергетическое разрешение спектрометра. Эффективность спектрометра. Динамический диапазон. Структурная схема спектрометра. Особенности взаимодействия с веществом сцинтиллятора альфа-, бета-, гамма- и нейтронного излучений.. Энергетическое и временное разрешения сцинтилляционных датчиков. Форма линии в сцинтилляционном гамма-спектрометре. Пик полного поглощения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	4
		Онлайн		
		0	0	0

	<p>Фотоэффективность спектрометра. Фоточасть спектра. Полная эффективность спектрометра. Аппаратурная линия при энергии гамма- квантов более 2 МэВ. Аннигиляция позитрона. Пик утечки и пик полного поглощения. Зависимость площади под всеми пиками от размеров кристалла и энергии гамма-излучения. Аппаратурная линия при каскадных переходах. Калибровка спектрометра.</p> <p>Многокристаллические методы спектрометрии заряженных частиц и гамма-квантовальные спектрометры. Спектрометр с защитным сцинтиллятором на антисовпадениях. Комптоновский спектрометр. Парный спектрометр. Спектрометр полного поглощения.</p> <p>Факторы, определяющие разрешающую способность сцинтилляционного бета-спектрометра. Эффективность сцинтилляционного однокристалльного спектрометра к заряженным частицам. Особенности спектрометрии заряженных частиц сцинтилляционным методом. Методы идентификации заряженных частиц. Методы разделения частиц по форме импульса. Метод фосвича.</p>			
10	<p><b>Тема 9. Ионизационные методы спектрометрии</b></p> <p>Использование ионизационных камер для спектрометрии заряженных частиц. Сферическая ионизационная камера; связь пробега альфа-частицы с энергией. Импульсные ионизационные камеры сеткой. Причины, влияющие на разрешающую способность. Виды излучений и особенности их спектрометрии при помощи ионизационных камер. Спектрометрия ионизирующих излучений с помощью пропорциональных счетчиков. Основные характеристики пропорционального счетчика как спектрометрического датчика.</p>	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<p><b>Тема 10. Полупроводниковые методы спектрометрии ионизирующих излучений.</b></p> <p>Преимущества и недостатки полупроводниковых спектрометров. Пропорциональность амплитуды сигнала числу пар носителей заряда и энергии поглощаемого излучения, разрешение полупроводникового спектрометра : факторы, влияющие на разрешение (обратное смещение, величина обедненного слоя, температура). Градуировка спектрометра Спектрометры тяжелых заряженных частиц. Полупроводниковые бета-спектрометры, влияние обратного рассеяния бета-частиц на аппаратурную линию, разрешение. Применение кремниевых и германиевых детекторов.</p> <p>Полупроводниковые спектрометры гамма-излучения. Преимущества по сравнению со сцинтилляционными спектрометрами, энергетическое разрешение. Особенности проведения эксперимента. Требования к детекторам. Выбор детекторов в зависимости от энергии гамма-излучения. Радиационные повреждения и их влияние на спектрометрические свойства полупроводниковых детекторов. Способы уменьшения вклада от</p>	Всего аудиторных часов		
		1	0	3
		Онлайн		
		0	0	0

	комптоновского распределения в аппаратурном спектре импульсов.			
12	<b>Тема 11. Методы спектрометрии нейтронов</b> Специфика нейтронных измерений. Метод ядер отдачи. Радиатор. Метод ядерных реакций, пропорциональные и сцинтилляционные детекторы, требования к ядерным реакциям, метод времени пролета, способы регистрации моментов вылета и попадания нейтронов, метод активационных пороговых детекторов. Метод полупроводниковых детекторов. <sup>3</sup> He-спектрометр нейтронов. Борводородный сцинтиллятор. Методы регистрации нейтронов, использующие замедление. Всеволновый счётчик нейтронов. Метод шаров Боннера.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Тема 12. Позиционно-чувствительные детекторы (ПЧД)</b> Позиционно-чувствительные детекторы (ПЧД). ПЧД на основе газоразрядных детекторов. Резистивный и временной способы регистрации. Многопроволочные пропорциональные камеры (МПК). Дрейфовые камеры. Сцинтилляционные ПЧД. Гамма-камера.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Тема 14. Гамма-абсорбционный метод</b> Гамма-абсорбционный метод. Однолучевой абсорбциометр. Влияние плотности и химсостава на точность измерений. Двухлучевой и 4□□абсорбциометры. Методы подавления фона.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Тема 15. Методы контроля трития</b> Радиационные, физико-химические свойства трития и его соединений. Определение концентрации трития в воздухе с помощью ИК. Методы вымораживания, барботирования. Диффузионный метод. Измерение трития в воде.	Всего аудиторных часов		
		0	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Тема 16. Методы измерения бета-активности жидкостей</b> Основные бета-излучатели и их характеристики. Методы определения концентрации <sup>90</sup> Sr- <sup>90</sup> Y-электрохимическое выделение, экстракция. Методы определения бета-активности грунтовых вод.	Всего аудиторных часов		
		0	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Тема 17 Измерение альфа-активности воздуха и воды</b> Понятие представительности пробы. Изокинетический пробоотбор. Селективные пробоотборники. Фильтр Петрянова. Инерционные осадители. Импактор.	Всего аудиторных часов		
		0	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

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

ИС	Интерактивный сайт
----	--------------------

## ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>3 Семестр</i>
1 - 3	<b>Детекторы ионизирующих излучений</b> Сцинтилляционный бета-спектрометр
7 - 8	<b>Детекторы ионизирующих излучений</b> Ионизационная камера на основе сжатого ксенона
9 - 12	<b>Спектрометрия и дозиметрия ядерных излучений</b> Сцинтилляционные спектрометры гамма-излучения на основе детекторов с различным энергетическим разрешением
13 - 15	<b>Спектрометрия и дозиметрия ядерных излучений</b> Полупроводниковый спектрометр гамма-излучения

## ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>3 Семестр</i>
1	<b>Физические основы методов регистрации ядерных излучений. Ионизация газов</b> Введение. Физические основы методов регистрации ядерных излучений. Классификация детекторов.. Ионизация газов. Движение электронов и ионов в газах.. Процесс ионизации газов. Ионизационный потенциал. Средняя энергия ионизации. Движение электронов и ионов в газах. Подвижности носителей заряда в электрическом поле. Скорость дрейфа. Газы электроположительные и электроотрицательные, захват электронов. Рекомбинация. Ток диффузии и полевой ток в газах.
2	<b>Ионизационные камеры.</b> Принцип работы ионизационных камер. Вольтамперная характеристика. Ток насыщения. Уравнение интегральной ионизационной камеры. Учет рекомбинации и диффузии. Устройство ионизационных камер. Схема включения. Принцип работы импульсных ионизационных камер. Схемы включения. Механизм образования импульса. Форма и амплитуда импульса. Влияние постоянной RC на форму импульса. Индукционный эффект. Камеры с сеткой. Электронная и ионная составляющие импульса. Области применения и особенности конструкции: ионизационных камер для регистрации различных видов излучения.
3	<b>Газоразрядные детекторы.</b> Определение области самостоятельного разряда. Ударная ионизация. Коэффициент ударной ионизации, механизм газового усиления. Коэффициент газового усиления для плоского и цилиндрического детекторов. Полное газовое усиление. Условие перехода

	<p>несамостоятельного разряда в самостоятельный. Механизм образования импульса. Форма, амплитуда и длительность импульса. Схемы включения. Амплитудное разрешение. Особенности конструкций и области применения пропорциональных детекторов. Определение области самостоятельного разряда, Механизм и способы гашения разряда, роль газового состава. Самогасящиеся счетчики. Характеристики самогасящихся счетчиков: форма, амплитуда и длительность импульса, мертвое время, время восстановления и разрешающее время. Рабочая характеристика. Низковольтные счетчики. Срок службы. Эффективность регистрации излучений; Конструкции счетчиков. Особенности применения счетчиков с самостоятельным разрядом при решении практических задач в области прикладной ядерной физики.</p>
4	<p><b>Сцинтилляционные детекторы</b>  Принцип действия и устройство сцинтилляционных детекторов. Механизм люминесценции вещества под действием излучения. Сцинтилляторы, их характеристики. Конверсионная эффективность. Время высвечивания. Механизм высвечивания сцинтилляторов. Типы сцинтилляторов. Сборка сцинтилляционного детектора.. Фотоумножители.. Общие характеристики сцинтилляционных детекторов: форма и амплитуда импульса, амплитудное и временное разрешение, отношение сигнал-шум, энергетический эквивалент шума, эффективность регистрации излучений. Особенности применения сцинтилляционных детекторов при регистрации заряженных частиц, электронов и гамма-лучей.</p>
5	<p><b>Полупроводниковые детекторы</b>  Принцип действия и устройство полупроводниковых детекторов. Физические процессы в детекторе. Собственная и примесная проводимости. Способы уменьшения электропроводности. Однородные ППД, их характеристики. ППД с р-п-переходами. Свойства р-п-переходов, Ширина обедненной области. Емкость р-п-перехода. Типы ППД. Области применения и особенности регистрации излучений; полупроводниковыми детекторами.</p>
6	<p><b>Детекторы нейтронов</b>  Принцип действия и устройство детекторов нейтронов. Ядерные реакции, используемые для регистрации нейтронов. Регистрация медленных нейтронов. Борные детекторы. Скорость протекания ядерной реакции в борном детекторе. Счетчики с гелием. Регистрация медленных нейтронов сцинтилляционными и полупроводниковыми детекторами. Регистрация быстрых нейтронов. Импульсные ионизационные камеры для регистрации быстрых</p>

	<p>нейтронов.          Особенности регистрации нейтронов с использованием ядерных реакций деления. Регистрация нейтронов по наведенной; активности. Особенности активационного метода регистрации нейтронов. Пороговые и резонансные активационные детекторы.</p>
7 - 8	<p><b>Исследование полей гамма-излучения</b>          Исследование полей <math>\gamma</math>-излучения. Требования к детектору. Ход с жёсткостью. Условие Брэгга-Грея. Особенности применения токовых ИК, счётчиков Гейгера при исследовании полей <math>\gamma</math>-излучения. Метод комбинированного сцинтиллятора. Введите здесь подробное описание пункта</p>
9	<p><b>Контроль деющихся материалов (ДМ)</b>          Контроль деющихся материалов (ДМ) по альфа-излучению, альфа-излучение ДМ. Прохождение альфа-частиц через экраны. Методы контроля ДМ в растворах. Контроль аэрозолей.          Контроль ДМ по нейтронному излучению.          Источники нейтронов - спонтанное деление, (<math>\alpha, n</math>)-реакция. Удельный выход нейтронов в (<math>\alpha, n</math>)-реакциях. Нейтронное излучение однородных сред с гомогенно распределенным <math>\alpha</math>-излучателем. Двухкомпонентные среды. Излучение водных растворов ДМ.          Основные методы - пассивный и активный. Регистрация спонтанного деления. Активные методы - использование импульсного и осциллирующего источников.          Контроль ДМ по гамма-излучению. Линейчатое гамма-излучение ДМ используемое для диагностики. Матричный эффект. Регенерация топлива, гамма-излучение <math>^{232}\text{U}</math> и продуктов его распада. Рентгенофлуоресцентный анализ.</p>
9	<p><b>Сцинтилляционные методы спектрометрии заряженных частиц и гамма-квантов</b>          Спектрометр, его основные характеристики. Определение спектрометра Понятие истинного и аппаратурного спектров, функция отклика детектора, физический смысл функции отклика. Задача восстановления спектра и обратная задача, влияние временных факторов на функцию отклика. Спектральная линия и аппаратурная форма линии энергетическое разрешение спектрометра. Эффективность спектрометра. Динамический диапазон. Структурная схема спектрометра.          Особенности взаимодействия с веществом сцинтиллятора альфа-, бета-, гамма- и нейтронного излучений..          Энергетическое и временное разрешения сцинтилляционных датчиков. Форма линии в сцинтилляционном гамма-спектрометре. Пик полного поглощения.          Фотоэффективность спектрометра. Фоточасть спектра. Полная эффективность спектрометра. Аппаратурная линия при энергии гамма- квантов более 2 МэВ. Аннигиляция позитрона. Пик утечки и пик полного поглощения.</p>

	<p>Зависимость площади под всеми пиками от размеров кристалла и энергии гамма-излучения. Аппаратурная линия при каскадных переходах. Калибровка спектрометра.</p> <p>Многокристаллические методы спектрометрии заряженных частиц и гамма-квантовые стальные спектрометры. Спектрометр с защитным сцинтиллятором на антисовпадениях. Комптоновский спектрометр. Парный спектрометр. Спектрометр полного поглощения.</p> <p>Факторы, определяющие разрешающую способность сцинтилляционного бета-спектрометра. Эффективность сцинтилляционного однокристалльного спектрометра к заряженным частицам. Особенности спектрометрии заряженных частиц сцинтилляционным методом. Методы идентификации заряженных частиц. Методы разделения частиц по форме импульса. Метод фосвича.</p>
10	<p><b>Ионизационные методы спектрометрии</b></p> <p>Использование ионизационных камер для спектрометрии заряженных частиц. Сферическая ионизационная камера; связь пробега альфа-частицы с энергией. Импульсные ионизационные камеры с сеткой. Причины, влияющие на разрешающую способность. Виды излучений и особенности их спектрометрии при помощи ионизационных камер. Спектрометрия ионизирующих излучений с помощью пропорциональных счетчиков. Основные характеристики пропорционального счетчика как спектрометрического датчика.</p>
14	<p><b>Гамма-абсорбционный метод</b></p> <p>Гамма-абсорбционный метод. Однолучевой абсорбциометр. Влияние плотности и химсостава на точность измерений. Двухлучевой и 4π абсорбциометры. Методы подавления фона.</p>
14	<p><b>Методы контроля трития</b></p> <p>Радиационные, физико-химические свойства трития и его соединений. Определение концентрации трития в воздухе с помощью ИК. Методы вымораживания, барботирования. Диффузионный метод. Измерение трития в воде.</p>
15	<p><b>Методы измерения бета-активности жидкостей</b></p> <p>Основные бета-излучатели и их характеристики. Методы определения концентрации <sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y-электрохимическое выделение, экстракция. Методы определения бета-активности грунтовых вод.</p>
15	<p><b>Измерение альфа-активности воздуха и воды</b></p> <p>Понятие представительности пробы. Изокинетический пробоотбор. Селективные пробоотборники. Фильтр Петрянова. Инерционные осадители. Импактор.</p>

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лекции, практические занятия, лабораторные работы с применением компьютерных технологий.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

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

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-2	З-ПК-2	З, КИ-8
	У-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2	З, КИ-15
УК-3	З-УК-3	З, КИ-8
	У-УК-3	З, КИ-15
	В-УК-3	З

## 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 твердо 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
60-64			

			логической последовательности в изложении программного материала.
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

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

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. И В74 Emission detectors : , New Jersey [and oth.]: World scientific, 2010
2. 539.1 А56 Детекторы импульсного ионизирующего излучения : монография, Москва: НИЯУ МИФИ, 2016
3. 539.1 П69 Практическая спектрометрия ядерных излучений : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2016
4. ЭИ Р 32 Регистрация ядерных излучений в прикладных задачах : Лабораторный практикум в двух частях, : ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД", 2019

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.1 Г83 Газоразрядные детекторы элементарных частиц : учебное пособие для вузов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
2. 621.039 П12 Гамма-спектроскопия в реакторном материаловедении : , Димитровград: ГНЦ НИИАР, 2012
3. 539.1 Б79 Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы и применения : , Долгопрудный: Интеллект, 2012
4. 539.1 К49 Дозиметрия ионизирующих излучений : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
5. ЭИ К49 Дозиметрия ионизирующих излучений : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
6. 539.1 К96 Методы регистрации излучений (итоговое занятие) : лабораторный практикум, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015

7. 621.039 П19 Пассивный неразрушающий анализ ядерных материалов. Дополнение 2007 г. : , Москва: Бином, 2013
8. 539.1 А39 Полупроводниковые детекторы ядерных излучений : , Дубна: ОИЯИ, 2009
9. 539.1 К49 Радиационная дозиметрия : монография, Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
10. 539.1 Н63 Твердотельные трековые детекторы в радиационных исследованиях : , Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2012
11. 539.1 А39 Фотонные методы регистрации излучений : , Дубна: ОИЯИ, 2014
12. 539.1 Г83 Черенковские детекторы : учебное пособие, В. А. Григорьев, Москва: МИФИ, 2007
13. 539.1 К78 Инструментальные методы радиационной безопасности : учебное пособие для вузов, Е. А. Крамер-Агеев, В. С. Трошин, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
14. 52 П75 Прикладная ядерная космофизика : учебное пособие для вузов, К. А. Боярчук [и др.], Москва: МИФИ, 2007
15. 681.5 К68 Датчики и детекторы физико-энергетических установок : учебное пособие для вузов, С. А. Королев, В. П. Михеев, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
16. 539.1 Г95 Телескопические полупроводниковые детекторы для ускорительных экспериментов : учебное пособие для вузов, Ю.Б. Гуров, Б. А. Чернышев, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
17. 539.1 Г95 Полупроводниковые детекторы ядерных излучений : , Ю.Б. Гуров, С. В. Исаков, С. В. Лапушкин, Москва: МИФИ, 2007

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

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

#### 1. Общие положения

1.1. При реализации программы дисциплины используются образовательные технологии в форме лекций, практических занятий, лабораторных работ и самостоятельной работы с

использованием Internet-ресурсов, методических разработок, учебной, научно-популярной и научной литературы.

1.2. Приступая к изучению дисциплины студенту необходимо ознакомиться с целями и задачами дисциплины, содержанием рабочей программы дисциплины, рекомендуемыми литературными источниками, методическими разработками по данной дисциплине, имеющимися на образовательном портале и сайте кафедры.

2. Рекомендации по подготовке к лекционным занятиям.

2.1. Для понимания материала учебной дисциплины и качественного его усвоения рекомендуется вести конспект лекций. Конспектирование представляет собой сжатое и свободное изложение наиболее важных, кардинальных вопросов темы, излагаемой в лекции.

2.2. Перед очередной лекцией следует просмотреть по конспекту материал предыдущей лекции и проработать учебный материал лекции по учебнику и учебным пособиям для успешного освоения материала.

2.3. Возникающие вопросы и непонятные моменты можно записывать в конспект, чтобы спросить о них у преподавателя на лекции.

3. Рекомендации по подготовке к практическим занятиям.

3.1. Практические занятия служат для закрепления изученного теоретического материала. Подготовка к практическому занятию включает в себя текущую работу над учебными материалами с использованием конспектов и рекомендуемой основной и дополнительной литературы.

3.2. При подготовке к практическим занятиям следует проработать теоретический материал по рекомендованным литературным источникам, внимательно прочитать материал лекций, относящихся к данному практическому занятию.

3.3. В ходе практических занятий давать конкретные, четкие ответы по существу вопросов, доводить каждую задачу до окончательного решения, демонстрировать понимание проведенных расчетов (анализов, ситуаций), в случае затруднений обращаться к преподавателю.

4. Рекомендации по подготовке и выполнению лабораторных работ.

4.1. Лабораторные работы - это один из основных видов учебных занятий, направленный на экспериментальное подтверждение теоретических положений. Обучающиеся самостоятельно выполняют задания под контролем преподавателя в соответствии с изучаемым содержанием учебного материала. Обучающимся рекомендуется ознакомиться с графиком выполнения лабораторных работ согласно календарному плану дисциплины.

4.2. Перед выполнением лабораторной работы следует самостоятельно изучить теоретическую часть работы, используя лабораторный практикум, подготовить ответы на контрольные вопросы;

4.3. В процессе лабораторной работы четко следовать инструкциям и указаниям преподавателя или дежурного лаборанта, не приступать к выполнению работы без разрешения; руководствоваться правилами техники безопасности и мерами предосторожности, указанными в описаниях; фиксировать в лабораторном журнале результаты измерений для последующей их обработки. По завершению работы привести рабочее место в порядок и сдать лабораторный стенд преподавателю или дежурному лаборанту.

4.4. Выполнение работы заканчивается составлением краткого отчета, в котором следует указать: что и каким методом исследовалось или определялось; какой результат и с какими погрешностями (абсолютными и относительными) был получен; краткое обсуждение полученных результатов. Защитить результаты лабораторной работы следует до начала

следующей по расписные работы. Не рекомендуется иметь более одной не сданной работы перед началом следующей работы.

#### 5. Самостоятельная работа обучающихся

5.1. Самостоятельная работа предполагает формирование и усвоение теоретического материала на базе изучения и систематизации материалов учебников, официальных государственных документов, законов, нормативно-справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем, компьютерной сети Интернет.

5.2. Обучающимся следует руководствоваться графиком самостоятельной работы, определенным рабочим планом дисциплины и выполнять все плановые задания, выдаваемые преподавателем для самостоятельной работы, и представлять их в установленный срок.

#### 6. Рекомендации по подготовке и сдаче аттестации по дисциплине.

6.1. Аттестация по дисциплине основана на балльно-рейтинговой системе, которая включает текущий контроль успеваемости, рубежный контроль в семестре и промежуточную аттестацию по итогам освоения дисциплины.

6.2. Текущий контроль подразумевает проверку готовности студентов к занятиям, для чего могут быть использованы различные проверочные задания. Прохождение контрольных рубежей проводится в середине и конце семестра и может осуществляться в виде контрольных работ, письменных опросов и т.д. Этап промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины в целом подразумевает сдачу зачета и самостоятельную подготовку к нему. При подготовке к промежуточной аттестации необходимо по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал и внимательно изучить материал лекций, соответствующий вопросам, выносимым на аттестацию.

## 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

### 1. Общие положения

1.1. При реализации программы дисциплины используются образовательные технологии в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы с использованием Internet-ресурсов, методических разработок, учебной, научно-популярной и научной литературы.

#### 1.2. На первом занятии преподаватель:

знакомит студентов с целями и задачами преподаваемой дисциплины, определяет ее место в образовательной программе, обозначает междисциплинарные связи;

уточняет наполнение лекций и планы практических (семинарских, лабораторных) занятий в соответствии с рабочей программой дисциплины, с учетом контингента и уровня подготовки студентов;

рекомендует основную и дополнительную литературу для успешного освоения дисциплины;

доводит до сведения студентов систему оценки знаний.

### 2. Рекомендации по подготовке и преподаванию дисциплины

#### 2.1. Рекомендации по подготовке и проведению лекций:

2.1.1. Цель лекции - организация целенаправленной познавательной деятельности студентов по овладению программным материалом учебной дисциплины. При этом лекционный материал рекомендуется постоянно актуализировать (вносить замечания, дополнения, пояснения и т.д.).

2.1.2. К типичным структурным элементам лекции относятся: вступление, основная часть, заключение. В начале лекции преподаватель называет тему лекции, основные вопросы,

выносимые на лекцию, указывает основную и дополнительную литературу и главы и параграфы в ней, где изложен материал лекции. После каждого раздела делаются обобщающие выводы и даются указания по самостоятельной работе над материалом лекции.

2.1.3 Рекомендуется максимально использовать наглядные пособия и технические средства обучения. Для этого разрабатываются презентации. Каждый слайд должен содержать основные положения и сопровождаться дополнительными примерами и пояснениями преподавателя.

2.2. Рекомендации по подготовке и проведению практических (семинарских) занятий:

2.2.1. Цель практических (семинарских) занятий - предоставление возможностей для углубленного изучения теории, овладения практическими навыками и выработки самостоятельного творческого мышления у студентов. На каждом таком занятии обучающиеся решают практические задачи и демонстрируют результаты выполнения домашнего задания, выданного на предыдущем занятии.

2.2.2. Для максимального усвоения дисциплины рекомендуется решение задач студентов по материалам лекций и практических работ. Подборка заданий осуществляется на основе изученного теоретического материала. Такой подход позволяет повысить мотивацию студентов при конспектировании лекционного материала.

2.3. Рекомендации по организации руководства самостоятельной работой студентов

2.3.1. Самостоятельная работа предполагает формирование и усвоение теоретического материала на базе изучения и систематизации материалов учебников, официальных государственных документов, законов, нормативно-справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем, компьютерной сети Интернет.

2.3.2. В ходе руководства самостоятельной работой студентов преподаватель приобщает их к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.

2.4. Рекомендации по подготовке и проведению лабораторных работ:

2.4.1. Лабораторная (практическая) работа - это такой метод обучения, при котором обучающиеся под руководством преподавателя и по заранее намеченному плану продельвают опыты или выполняют определенные практические задания и в процессе их воспринимают и осмысливают новый учебный материал.

2.4.2. Проведение лабораторных работ включает в себя следующие методические приемы:

- постановку темы занятий и определение задач лабораторно-практической работы;
- определение порядка лабораторно-практической работы или отдельных ее этапов;
- непосредственное выполнение лабораторно-практической работы учащимися и контроль преподавателя за ходом занятий и соблюдением техники безопасности;
- подведение итогов лабораторно-практической работы и формулирование основных выводов.

2.4.3 Преподаватель проверяет результаты выполнения лабораторной работы, оформленной учащимися в виде отчета, форма и содержание которого определяются соответствующими рекомендациями, приведенными в лабораторном практикуме дисциплины.

2.4.5. Оценки за выполнение лабораторной работы являются показателями текущей успеваемости учащихся по учебной дисциплине.

2.5. Рекомендации по осуществлению контроля знаний обучаемых

2.5.1. По дисциплине действует балльно-рейтинговая система, которая включает текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию по итогам освоения дисциплины

2.5.2. По дисциплине предусмотрены следующие виды аттестации: текущий контроль, рубежный контроль и итоговая аттестация.

2.5.3. Текущий контроль подразумевает проверку готовности студентов к лекционным, семинарским и практическим занятиям, могут быть использованы различные проверочные задания.

2.5.4. Прохождение контрольных рубежей по итогам освоения дисциплины проводится в середине и конце семестра.

2.5.5. Этап промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины в целом подразумевает приём зачета и самостоятельную подготовку к нему.

Автор(ы):

Чернышева Ирина Вячеславовна, к.ф.-м.н.

Ибрагимов Ренат Фаридович

Эргашев Дамир Эркинович