

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА РАДИАЦИОННОЙ ФИЗИКИ И БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ОДОБРЕНО УМС ТФ НИЯУ МИФИ

Протокол № 6

от 23.12.2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

СПЕКТРОМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

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 практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
8	3	108	40	0	0		27	5	Э
Итого	3	108	40	0	0	0	27	5	

АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются методы прикладной спектрометрии ионизирующих излучений. Даются основные характеристики источников фотонного, нейтронного и альфа излучений. Вводятся основные характеристики спектров. Рассматриваются основные типы спектрометров для малоинтенсивного ионизирующего излучения, условия их применения для решения практических задач в различных областях науки и техники. Для каждого типа спектрометров описываются методы обработки спектрометрической информации. В рамках практических занятий (лабораторных работ) проводится градуировка полупроводникового гамма-спектрометра по эффективности.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса – создать необходимый уровень знаний по спектрометрии ионизирующих излучений.

Задачами освоения учебной дисциплины являются:

- изучение основных видов спектрометров, условия их применения для решения практических задач в различных областях науки и техники;
- изучение методов обработки спектрометрической информации;
- обучение слушателей созданию и применению различных типов спектрометров ионизирующего излучения.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина относится к профессиональному модулю дисциплин.

Предшествующие дисциплины:

- дисциплины по специализации;
- прикладная математика.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УКЦ-2 [1] – Способен искать нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для	3-УКЦ-2 [1] – Знать: методики сбора и обработки информации с использованием цифровых средств, а также актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности, принципы, методы и средства решения стандартных задач профессиональной деятельности с использованием цифровых средств и с учетом основных требований информационной безопасности У-УКЦ-2 [1] – Уметь: применять методики поиска, сбора и обработки информации; с использованием цифровых средств, осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников, и решать

решения задач	стандартные задачи профессиональной деятельности с использованием цифровых средств и с учетом основных требований информационной безопасности В-УКЦ-2 [1] – Владеть: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации с использованием цифровых средств для решения поставленных задач, навыками подготовки обзоров, аннотаций, составления рефератов, научных докладов, публикаций и библиографии по научно-исследовательской работе с использованием цифровых средств и с учетом требований информационной безопасности
---------------	---

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			
Получение знаний в области радиационной экологии, воздействия радиации, физики элементарных частиц и космологии, описание явлений в данной области.	Элементарные частицы, детекторы элементарных частиц, ускорители элементарных частиц, источники излучения	ПК-2 [1] - Способен проводить математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-2[1] - знать методы математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований; ; У-ПК-2[1] - уметь использовать методы математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований;; В-ПК-2[1] - владеть навыками математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и

			исследований;
--	--	--	---------------

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (B17)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий,	1.Использование воспитательного

воспитание	обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры ядерной безопасности (B24)	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. 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**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>8 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	20/0/0		25	КИ-8	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
2	Часть 2	9-15	20/0/0		25	КИ-15	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		40/0/0		50		
	Контрольные				50	Э	3-ПК-

	мероприятия за 8 Семестр						2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3- УКЦ- 2, У- УКЦ- 2, В- УКЦ- 2
--	--------------------------	--	--	--	--	--	---

* – 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>8 Семестр</i>	40	0	0
1-8	Часть 1	20	0	0
1 - 2	Тема 1 Введение и основные понятия Предмет изучения спектрометрии. История спектрометрических измерений. Области применения спектрометрических методов. Энергетический спектр и его виды (монохроматический, дискретный, непрерывный, смешанный). Дифференциальный и интегральный спектры. Приборная форма линии. Функция отклика спектрометра. Абсолютная и относительная полуширина пика. Энергетическое разрешение спектрометра. Эффективность спектрометра (абсолютная (светосила), собственная, относительная, эффективность по пику полного поглощения). Классификация спектрометров. Объект исследования в прикладной спектрометрии. Источники излучений.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 8	Тема 2 Спектрометрия гамма-излучения Источники фотонного излучения и их характерные особенности. Взаимодействие гамма-излучения с веществом (фотоэффект, эффект Комптона, паробразование). Блок-схема гамма- спектрометра.	Всего аудиторных часов		
		16	0	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Сцинтилляционные методы гамма-спектрометрии. Сцинтилляторы и их основные характеристики. Основные характеристики фотоэлектронных умножителей. Требования к спектрометрическим сцинтилляторам и ФЭУ. Структурная схема сцинтилляционного спектрометра. Область применения сцинтилляционных гамма-спектрометров. Приборная форма линии для моноэнергетических фотонов и факторы ее определяющие. Пик полного поглощения. Комптоновский край. Комптоновская долина. Аннигиляционный пик. Пик одиночного вылета. Пик двойного вылета. Пик обратного рассеяния. Пик характеристического рентгеновского излучения. Пик суммирования. Внешние факторы, формирующие аппаратный спектр: источник, детектор, окружающие материалы. Выбор детектора. Инструментальные основы спектрометра. Модули NIM. Предусилитель. Источник высоковольтного смещения. Усилитель. Многоканальный анализатор. АЦП. Современные решения. Многокристалльные спектрометры (спектрометр антисовпадений, комптоновский спектрометр, парный спектрометр). Процедуры обработки спектров. Классический метод наименьших квадратов (МНК). Взвешенная и обобщенная МНК-оценки. Сглаживание экспериментальных зависимостей. Сплайн-аппроксимация. Энергетическая градуировка спектрометра. Методы определения центроиды (положения пика полного поглощения), энергетического разрешения, площади пика. Учет фона. Определение характеристик пиков в мультиплетах. Поправки на наложение импульсов и просчеты.			
9-15	Часть 2	20	0	0
9 - 12	Тема 3. Спектрометрия альфа излучений. Взаимодействие альфа-излучения с веществом. Природные и искусственные источники альфа-излучения. Обзор современных методов альфа-спектрометрии. Ионизационные методы альфа-спектрометрии. Сцинтилляционные методы. ЖС-спектрометрия. Полупроводниковые альфа-спектрометры. Авторадиография. Форма энергетического пика альфа-излучателя и его аппроксимация. Область применения альфа-спектрометров.	Всего аудиторных часов		
		10	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Тема 4. Спектрометрия бета-излучений. Особенности взаимодействия бета-частиц с веществом. Бета-спектры. Типы бета-спектрометров. Области использования бета-спектрометров.	Всего аудиторных часов		
		6	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	Тема 5 Спектрометрия нейтронов	Всего аудиторных часов		

	Классификация источников нейтронов по способу получения. Классификация методов спектрометрии нейтронов. Методы ядер отдачи. Методы ядерных реакций. Время-пролетный спектрометр. Сфера Боннера.	4	0	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

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Освоение дисциплины проходит в основном по следующей схеме: лекции, семинарские занятия с отчетом о решенных задачах, лабораторные работы с последующей защитой для закрепления темы, промежуточный контроль знаний, выполнение домашнего задания (задачи по ряду тем курса), экзамен.

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-2	З-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
УКЦ-2	З-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-15

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-

балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	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.

Оценочные средства приведены в Приложении.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Б 90 Спектрометрия ионизирующих излучений. Гамма-спектрометрия : учеб. пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2021
2. ЭИ Б 90 Спектрометрия ионизирующих излучений. Основные понятия и терминология : учебно-методическое пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2021

3. ЭИ Т76 Характеристики радионуклидов для градуировки гамма-спектрометров : учебное пособие для вузов, В. С. Трошин, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
4. 539.1 К78 Инструментальные методы радиационной безопасности : учебное пособие для вузов, Е. А. Крамер-Агеев, В. С. Трошин, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
5. ЭИ 3-15 Методы ядерно-физического мониторинга земной поверхности : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, Ю. А. Задорожный, Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.1 Я34 Ядерное приборостроение Т.1 Приборы для измерения ионизирующих излучений, М.: Восточный горизонт, 2005
2. 539.1 Я34 Ядерное приборостроение Т.2 Измерительные системы. Т.3: Производство аппаратуры, , Москва: Восточный горизонт, 2005
3. 539.1 Т76 Характеристики радионуклидов для градуировки гамма-спектрометров : учебное пособие для вузов, В. С. Трошин, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
4. ЭИ К78 Инструментальные методы радиационной безопасности : учебное пособие для вузов, Е. А. Крамер-Агеев, В. С. Трошин, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
5. 539.1 С92 Сцинтилляционные методы спектрометрии гамма-излучения и электронов : Учеб. пособие для вузов, Под ред. В.Т. Самосадного, М.: МИФИ, 2003
6. 539.1 3-15 Методы ядерно-физического мониторинга земной поверхности : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, Ю. А. Задорожный, Москва: МИФИ, 2008

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 курсе изучаются методы прикладной спектрометрии ионизирующих излучений. Даются основные характеристики источников фотонного, нейтронного и альфа излучений. Вводятся основные характеристики спектров. Рассматриваются основные типы спектрометров

для малоинтенсивного ионизирующего излучения, условия их применения для решения практических задач в различных областях науки и техники. Для каждого типа спектрометров описываются методы обработки спектрометрической информации. В рамках практических занятий (лабораторных работ) проводится градуировка полупроводникового гамма-спектрометра по эффективности.

Цель курса – создать необходимый уровень знаний по спектрометрии ионизирующих излучений.

Задача дисциплины – обучить слушателей создавать и применять различные типы спектрометров ионизирующего излучения.

Математические методы обработки линейчатых аппаратурных спектров.

Математические методы обработки линейчатых аппаратурных спектров: определение границ пика полного поглощения, типы «фоновых линий», аппроксимация формы пика полного поглощения, методы расчета числа импульсов в пике полного поглощения.

Основные характеристики спектрометра фотонов: энергетическая градуировка, эффективность и фотовклад, энергетическое разрешение. Методы аппроксимации энергетических зависимостей градуировки, ширины пика полного поглощения на половине высоты, эффективности регистрации.

Методы автоматизированного поиска пиков полного поглощения. Поиск мультиплетных пиков полного поглощения. Измерение активности радионуклида на гамма-спектрометре.

Математические методы обработки непрерывных аппаратурных спектров для получения группового спектра фотонов источника и радионуклидного состава.

Спектрометрия нейтронов.

Основные источники нейтронов и их характерные особенности.

Мультиферный спектрометр нейтронов. Сцинтилляционный спектрометр быстрых нейтронов с органическим сцинтиллятором. Спектрометры с пропорциональными счетчиками, наполненными водородом (метаном) и гелием-3.

Спектрометрия альфа-излучения.

Полупроводниковые альфа-детекторы. Импульсная ионизационная камера с сеткой. Приборные формы линии моноэнергетических альфа-источников различной толщины. Определение суммарной удельной активности и радионуклидного состава «толстых» альфа-источников.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Курс содержит три раздела:

- спектрометрия фотонов;
- спектрометрия низкоинтенсивных источников нейтронов;
- спектрометрия альфа-излучения.

Наиболее подробно следует излагать первый раздел.

Желательно применять иллюстрационные материалы, используя доступные типы проекционной.

Раздел магнитные спектрометры выносится на самостоятельную работу студентов.

Курс подкрепляется работой студентов по обработке аппаратных спектров однокристалльного полупроводникового гамма-спектрометра.

Лабораторная работа «Градуировка полупроводникового гамма-спектрометра по эффективности»

Этапы работы:

1. Обработка аппаратных спектров гамма-спектрометра (определение числа импульсов в пиках полного поглощения программой МОБАС).
2. Вычисление активности градуировочных источников на момент измерений.
3. Вычисление поправок на каскадное суммирование.
4. Вычисление эффективности для заданных энергий пиков полного поглощения.
5. Аппроксимация энергетической зависимости эффективности.

Автор(ы):

Будыка Александр Константинович, д.ф.-м.н., с.н.с.