

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 ТЕХНОЛОГИИ ЗАМКНУТОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

РАДИОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЛАВЫ) (ЧАСТЬ 1)

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.04.02 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, экз./зач./КР/КП
2	4	144	15	30	0		63	0	Э
Итого	4	144	15	30	0	16	63	0	

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Радиохимия (специальные главы) (1)» посвящена изучению теоретических основ методов концентрирования, выделения и разделения радионуклидов, применяемых как при анализе объектов окружающей среды, так и при анализе технологических растворов и продуктов в процессах ядерно-топливного цикла (ЯТЦ).

Курс базируется на знаниях, полученных студентами при изучении физики, высшей математики, физической химии, ядерной физики и дозиметрии и расширяет и конкретизирует знания, полученные в курсе «Радиохимия». В свою очередь, он является базой для изучения последующих специальных курсов.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины «РАДИОХИМИЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЛАВЫ) (1)» является изучение особенностей поведения естественных и искусственных радиоактивных изотопов в окружающей среде и в технологиях ядерно-топливного цикла, методы их анализа, концентрирования и разделения.

Курс базируется на знаниях, полученных студентами при изучении физики, высшей математики, физической химии, ядерной физики и дозиметрии. В свою очередь, он является базой для изучения последующих специальных курсов.

Основной задачей курса является изучение теоретических основ методов концентрирования, выделения и разделения радионуклидов, применяемых как при анализе объектов окружающей среды, так и при анализе технологических растворов и продуктов. Курс включает две основные части. В первой части рассматриваются химические свойства естественных и искусственных радионуклидов, используемые для их концентрирования и разделения. Здесь также рассматривается образование в ядерном реакторе продуктов деления и активации. Во второй части рассматриваются основные методы концентрирования и разделения радионуклидов. Сюда же включены активационный и рентгено-флюоресцентный методы анализа, которые важны для современного анализа и особенно анализа объектов окружающей среды.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Учебная программа соответствует требованиям образовательного стандарта высшего образования национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» по направлению 14.04.02 - Ядерные физика и технологии, «Профессиональный модуль», «Дисциплины по выбору».

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

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

УКЦ-1 [1] – Способен решать исследовательские, научно-технические и производственные задачи в условиях неопределенности, в том числе выстраивать деловую коммуникацию и организовывать работу команды с использованием цифровых ресурсов и технологий в цифровой среде	З-УКЦ-1 [1] – Знать современные цифровые технологии, используемые для выстраивания деловой коммуникации и организации индивидуальной и командной работы У-УКЦ-1 [1] – Уметь подбирать наиболее релевантные цифровые решения для достижения поставленных целей и задач, в том числе в условиях неопределенности В-УКЦ-1 [1] – Владеть навыками решения исследовательских, научно-технических и производственных задач с использованием цифровых технологий
--	---

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
инновационный			
Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии.	Ядерные энерготехнологии нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-аналитического анализа безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.	ПК-6.1 [1] - Способен применять полученные знания для разработки новой технологической платформы атомной энергетики с вовлечением в топливный цикл урана-238 и продуктов переработки отработавшего ядерного топлива. <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-6.1[1] - Знать промышленно-реализованные и перспективные технологии переработки отработавшего ядерного топлива реакторов на быстрых нейтронах, требования к конечным продуктам переработки отработавшего ядерного топлива, основные методы обращения с радиоактивными отходами.; У-ПК-6.1[1] - Уметь применять полученные знания в производственной и научной деятельности.; В-ПК-6.1[1] - Владеть методами обеспечения ядерной безопасности и взрыво- и пожаробезопасности применительно к

			технологиям переработки отработавшего ядерного топлива.
--	--	--	---

4. 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>2 Семестр</i>						
1	Введение. Радиохимический анализ. Уран и продукты его распада. Актиноиды. Плутоний, нептуний, америций и кюрий. Образование некоторых радионуклидов в ядерном реакторе и особенности их химических свойств.	1-6	7/15/0	КИ-6 (25)	25	КИ-6	3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1, 3-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1
2	Осадительные методы концентрирования. Экстракционные методы концентрирования. Хроматографические методы. Электрохимические методы. Методы испарения. Ядерно-физические методы анализа. Заключение.	7-15	8/15/0	КИ-15 (25)	25	КИ-15	3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1, 3-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/30/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э	3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1, 3-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1

* – 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>2 Семестр</i>	15	30	0
1-6	Введение. Радиохимический анализ. Уран и продукты его распада. Актиноиды. Плутоний, нептуний, америций и кюрий. Образование некоторых радионуклидов в ядерном реакторе и особенности их химических свойств.	7	15	0
1 - 6	Введение. Радиохимический анализ. Уран и продукты его распада. Актиноиды. Плутоний, нептуний, америций и кюрий. Образование некоторых радионуклидов в ядерном реакторе и особенности их химических свойств Введение. Естественные радионуклиды: радиоактивные семейства урана, тория и актиноурана, калий-40 и рубидий-87. Их распространенность в природе и вклад в естественный радиационный фон. Космогенные радионуклиды. Искусственные радионуклиды и их вклад в дозу облучения человека. Проблема определения радионуклидов в окружающей среде. Радиохимический анализ. Общая схема радиохимического анализа. Носители и трассеры. Абсолютные и относительные радиометрические измерения. Применение альфа- и гамма-спектрометрии для идентификации и количественного определения радионуклидов. Анализ погрешностей при определении концентрации радионуклидов. Выделение, концентрирование и разделение. Относительное и абсолютное концентрирование. Значение метода концентрирования в радиохимическом анализе. Количественные характеристики метода концентрирования: степень извлечения, коэффициент концентрирования и коэффициент разделения. Индивидуальное и групповое концентрирование. Классификация и общая характеристика методов концентрирования. Уран и продукты его распада. Изотопный состав естественного урана. Получение урана-233. Ядерно-физические свойства изотопов урана. Оксиды урана. Шестивалентный уран. Соли уранила и их свойства.	Всего аудиторных часов		
		7	15	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Ацидокомплексы уранила. Экстракция соединений урана органическими растворителями и сорбция на ионитах. Карбонаты уранила и их использование при определении урана. Диуранаты. Поведение урана в природных водах. Комплексы уранила с органическими лигандами. Колориметрическое определение урана. Соединения четырехвалентного урана. Тетрафторид урана. Определение урана в объектах окружающей среды. Семейство урана и подсемейства. Принцип деления на подсемейства. Радий и его свойства. Проблема радона. Эманирование. Изотопы полония, висмута и астата. Определение урана по дочерним изотопам. Условия радиоактивного равновесия. Актиноиды. Актиноидная теория. Электронное строение атомов элементов с порядковыми номерами 89 - 103 и его сравнение с электронным строением лантанидов. Валентности актиноидов. Химические свойства актиноидов в трехвалентном состоянии. Плутоний, нептуний, америций и кюрий. Плутоний. Открытие, изотопный состав и получение различных изотопов плутония. Изотопный состав плутония в реакторах различных типов. Ядерно-физические свойства изотопов плутония. Валентности плутония. Реакция диспропорционирования. Шестивалентный плутоний. Соли плутонила. Четырехвалентный плутоний. Тетрафторид плутония. Комплексы плутония (IV) с неорганическими кислотами. Экстракция и сорбция плутония. Плутоний в семивалентном состоянии. Определение изотопов плутония по альфа-излучению. Предварительное отделение плутония. Трассеры. Нептуний. Открытие, изотопный состав и образование различных изотопов нептуния. Валентности нептуния. Соли нептуноила. Соли нептунила. Америций. Открытие, изотопный состав. Высшие валентные состояния америция. Определение америция по альфа-излучению с предварительным отделением. Кюрий. Открытие, изотопный состав. Отделение америция и кюрия от редкоземельных элементов и других продуктов деления. Образование некоторых радионуклидов в ядерном реакторе и особенности их химических свойств. Выходы радионуклидов при делении на тепловых нейтронах. Расчет накопления продуктов деления при учете их взаимодействия с нейтронным потоком. Изменение активности отработавшего топлива в процессе выдержки. Оценка активности долгоживущих продуктов деления, образующихся при работе единичного блока мощностью 1 ГВт в течение года. Выделение продуктов деления для использования в промышленности и в медицине. Образование продуктов активации. Радионуклиды цезия. Особенности физико-химических свойств иона цезия: размеры, гидратация, сорбируемость.			
--	---	--	--	--

	Малорастворимые соединения цезия: ферроцианиды, фосфатомолибдаты, квасцы и др. Выделение цезия из растворов. Поведение ионов цезия в природе. Радионуклиды стронция. Выделение радиостронция из объектов окружающей среды. Отделение стронция от кальция. Применение в качестве трассера стронция-85. Определение стронция-90 по иттрию-90. Радионуклиды иода. Выделение из объектов окружающей среды. Использование радионуклидов иода в медицине. Радионуклиды технеция. Открытие технеция. Химические свойства технеция и его выделение из продуктов деления. Применение технеция-99м в медицине. Радионуклиды редких земель. Химические свойства лантанидов и иттрия. Выделение редких земель из продуктов деления.			
7-15	Осадительные методы концентрирования. Экстракционные методы концентрирования. Хроматографические методы. Электрохимические методы. Методы испарения. Ядерно-физические методы анализа. Заключение.	8	15	0
7 - 15	Осадительные методы концентрирования. Экстракционные методы концентрирования. Хроматографические методы. Электрохимические методы. Методы испарения. Ядерно-физические методы анализа. Заключение. Осадительные методы концентрирования. Области применения изотопных, специфических и неспецифических носителей. Факторы, влияющие на соосаждение со специфическими и неспецифическими носителями. Методы отделения от специфического носителя. Использование неспецифических носителей при водоподготовке. Применение гидроксида железа и гидратированного диоксида марганца при выделении радионуклидов. Экстракционные методы концентрирования. Развитие экстракционных методов. Области применения жидкостной экстракции для радиохимического анализа, количественные характеристики. Многоступенчатая экстракция, расчет числа ступеней экстракции. Определение коэффициента распределения радиометрическим методом. Экстрагенты, используемые при концентрировании радионуклидов: моно-, би- и полифункциональные нейтральные фосфорорганические соединения, замещенные аммониевые соли, органические кислоты и кислые алкилфосфаты, краун-эфиры и криптанды. Факторы, влияющие на распределение: кислотность, наличие высаливателя, концентрация посторонних ионов, концентрация экстрагента и др. Экстракция смесью экстрагентов, синергетный эффект. Использование кинетических факторов при разделении радионуклидов.	Всего аудиторных часов		
		8	15	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Применение экстракции при переработке отработавшего ядерного топлива, пурекс-процесс. Примеры применения экстракции при выделении радионуклидов: разделение лантанидов и актинидов, выделение радионуклидов стронция, разделение стронция и иттрия и др. Мембранная экстракция. Особенности метода. Разновидности мембранной экстракции. Импрегнированные мембраны. Экстракция во множественной эмульсии. Экстракция при сверхкритических условиях. Хроматографические методы. Хроматографические методы, применяемые в радиохимическом анализе. Применение газовой хроматографии для улавливания радиоактивных благородных газов. Особенности жидкостной колоночной хроматографии высокого давления. Проточная тонкослойная хроматография. Распределительная хроматография. Ионообменная хроматография. Классификация ионитов по типу ионогенных групп. Селективность ионитов. Комплексообразующее элюирование. Градиентная ионообменная хроматография. Практическое использование ионообменной хроматографии в химии РН. Предварительное концентрирование и выделение следовых количеств урана, радия и некоторых других радионуклидов из пресных и соленых вод. Индивидуальное и групповое разделение радионуклидов (отделение лантанидов от актинидов, отделение цезия от щелочных металлов, отделение стронция от кальция и магния, разделение лантанидов и трансплутониевых элементов и т.д.). Электрохимические методы. Особенности электрохимического концентрирования и выделения радионуклидов. Отклонения от закона Нернста, Скорость электрохимической реакции. Поляризация. Выделение радионуклидов методами электролиза, цементации, электромиграции и др. Методы испарения. Сублимация радионуклидов и их перенос с газовым потоком. Выделение радионуклидов методом испарения: отгонка, ректификация, молекулярная дистилляция. Ядерно-физические методы анализа. Нейтронно-активационный и гамма-активационный методы анализа, ядерно-физические основы и области их применения. Рентгено-флюоресцентный метод анализа, физические основы, возбуждение рентгеновских линий, чувствительность и области применения. Сравнение с атомно-абсорбционным методом анализа. Заключение. Обзор применяемых в настоящее время методик определения радионуклидов в объектах окружающей среды и технологических объектах.			
--	---	--	--	--

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 СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
1 - 15	Практические занятия 1. Химические свойства урана и методы его выделения. 2. Химические свойства нептуния, плутония, америция и кюрия. 3. Химические свойства лантаноидов, технеция, цезия и стронция. 4. Расчет активности дочернего радионуклида при накоплении его в материнском. 5. Расчет активности продуктов деления при учете их взаимодействия с нейтронным потоком. 6. Применение изотопных, специфических и неспецифических носителей, а также трассеров в радиохимическом анализе. 7. Экстракционные методы концентрирования. 8. Хроматографические методы концентрирования. 9. Использование комплексообразования для разделения элементов.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы курса «Радиохимия (специальные главы) (1)» используются различные образовательные технологии. Аудиторные занятия проводятся в интерактивных классах. Особое внимание студентов обращается на дополнительную литературу, где впоследствии они самостоятельно смогут получать актуальную информацию по читаемым темам. Занятия и лабораторные работы проводятся на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (РХТУ им. Д.И. Менделеева). Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала, подготовку к практическим занятиям и лабораторным работам.

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-6.1	З-ПК-6.1	Э, КИ-6, КИ-15
	У-ПК-6.1	Э, КИ-6, КИ-15
	В-ПК-6.1	Э, КИ-6, КИ-15
УКЦ-1	З-УКЦ-1	Э, КИ-6, КИ-15
	У-УКЦ-1	Э, КИ-6, КИ-15
	В-УКЦ-1	Э, КИ-6, 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 – <i>«отлично»</i>	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 – <i>«хорошо»</i>	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 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	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. ЭИ Р93 Problem book for the course Nuclear Physics : Educational edition, Barbashina N.S. [и др.], Moscow: National Research Nuclear University MPhI, 2020
2. ЭИ Г 19 Аналитическая химия. Методы разделения веществ и гибридные методы анализа : , Под р. п. [и др.], Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ А 95 Общая и неорганическая химия : учебник для вузов, Ахметов Н. С., Санкт-Петербург: Лань, 2023
4. ЭИ П 90 Ядерная химия. Избранные главы : учебное пособие, Пучкова Е. В., Санкт-Петербург: Лань, 2021

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 54 К68 Общая химия : учебник, Коровин Н.В., Москва: Академия, 2013
2. 544 Е70 Основы общей и физической химии : учебное пособие для вузов, Еремин В.В., Борщевский А.Я., Долгопрудный: Интеллект, 2012
3. ЭИ Б99 Основы радиационной химии Ч.1 Ранние радиолитические процессы, Бяков В.М., Москва: МИФИ, 2009
4. 54 С23 Сборник тестов и задач по курсу химии : , Орлова А.А. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
5. ЭИ С23 Сборник тестов и задач по курсу химии : учебное пособие, Орлова А.А. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
6. ЭИ Т18 Уран : учебное пособие для вузов, Тананаев И.Г., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

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

С целью приобретения и развития навыков самостоятельной работы студентам предлагается в течение семестра ознакомиться с дополнительной литературой. Перечень приведен в списке литературы. Эта литература должна активно использоваться при подготовке к контрольным и лабораторным работам.

Примеры контрольных работ, контрольные вопросы к экзамену, задания и контрольные вопросы и задачи к лабораторным работам приведены в специальном разделе программы и могут корректироваться преподавателем в зависимости от степени усвоения студентами учебного материала в течение семестра.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При разработке курса использована современная отечественная и иностранная литература. Чтение лекций рекомендуется проводить в интерактивных классах. Особое внимание студентов следует обратить на дополнительную литературу, где впоследствии они самостоятельно смогут получать актуальную информацию по читаемым темам. В конце изучения курса рекомендуется выдать студентам использованные презентации в электронном виде. Для проверки и закрепления полученных знаний студентам предлагается написать контрольные работы.

Автор(ы):

Тюпина Екатерина Александровна, к.т.н., доцент

Рецензент(ы):

Лаврухин Алексей Анатольевич