Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Факультет наук о материалах

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана факультета наук о материалах,
акад. РАН, профессор

/ *Солнцев К.А.* /

«28» апреля 2022 г.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

1.4.13 Радиохимия

Шифр и наименование укрупненной группы научных специальностей:

1.4. Химические науки

Наименование отраслей науки, по которым присуждаются ученые степени: химические науки

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией факультета
(протокол № 01 от 16 марта 2022 г.)

Москва 2022

Описание программы:

В основу настоящей программы положены следующие разделы науки: радиохимия, ядерная физика, радиохимическая технология.

II. Основные разделы и вопросы к экзамену:

I. Физические основы радиохимии

История научных открытий конца XIX и начала XX века, приведших к созданию радиохимии и ядерной физики как самостоятельных разделов химии и физики. Роль русских ученых в создании и развитии радиохимии.

Предмет радиохимии. Ранние и современные определения радиохимии. Основные этапы развития радиохимии и их характеристика.

Общие свойства атомных ядер. Изотопия (включая систематику и распределение изотопов). Радиоактивность (α, β, E - захват, изомерный переход). Законы распада.

Взаимодействие излучения с веществом. Основы дозиметрии. Методы обнаружения и измерения интенсивности радиоактивных излучений. Основные методы ядерной спектроскопии.

Получение быстрых заряженных частиц. Источники нейтронов. Общие закономерности ядерных реакций. Энергетические эффекты, эффективное сечение. Основные типы ядерных реакций. Взаимодействие нейтронов с веществом. Реакция деления. Цепная ядерная реакция. Основные типы атомных реакторов. Понятие о термоядерных реакциях. Реакции получения трансурановых элементов с помощью нейтронов (реактор, водородная бомба) и ускоренных ионов.

Пост-эффекты ядерных реакций и ядерных превращений. Эффект Мессбауэра. Применение его в химических исследованиях. Аннигиляция позитронов. Позитроний как объект химического исследования.

II. Общая радиохимия

1. Свойства и поведение изотопов средних и тяжелых элементов

Динамический характер изотопного состава объектов радиохимии. Ядерно-физические и физико-химические аспекты поведения изотопов. Понятие идентичности физико-химического поведения изотопных атомов.

2. Процессы изотопного обмена

Явление изотопного обмена и его определение. Идеальный изотопный обмен. Классификация реакций идеального изотопного обмена. Движущая сила реакций идеального изотопного обмена.

Важнейшие термохимические, термодинамические и кинетические особенности этих реакций. Основной закон кинетики реакции идеального изотопного обмена и его особенности. Важнейшие кинетические характеристики реакций идеального изотопного обмена. Основные моменты экспериментального изучения реакций изотопного обмена.

Значение процессов изотопного обмена для теоретической и прикладной радиохимии и смежных с ней областей знаний.

3. Процессы распределения радионуклидовмежду различными фазами

3.1. Распределение между жидкой и твердой фазами.

Сорбция, хемосорбция и хроматография в радиохимии.

Процессы соосаждения. Их классификация. Соосаждение с изотопными носителями. Принцип действия изотопных носителей.

Сокристаллизация и адсорбция микроконцентраций радионуклидов.. Изоморфное соосаждение. Образование Гриммовских смешанных кристаллов. Аномальные смешанные кристаллы.

Количественные характеристики распределения микрокомпонента между осадком и раствором. Работы Хлопина и Гана. Термодинамически равновесное распределение. Закон Хлопина. Константа Хлопина и коэффициент кристаллизации. Работы Ратнера. Истинный коэффициент кристаллизации. Распределение микрокомпонента между твердой фазой и расплавом.

3.2. Адсорбция радионуклидов.

Правила адсорбции Панета-Фаянса и Гана. Классификация процессов адсорбции на ионных кристаллах. Первичная потенциалобразующая и первичная обменная адсорбция, вторичная адсорбция, их закономерности. Зависимость первичной и вторичной адсорбции от свойств ионов, pH раствора. Внутренняя адсорбция. Ионно-обменная адсорбция.

3.3. Электрохимия радиоактивных элементов.

Приложимость уравнения Нернста к сильно разбавленным растворам. Критический потенциал выделения и методы его определения. Электролиз микроконцентраций элементов. Факторы, влияющие на процесс электролиза веществ, находящихся в микроконцентрациях. Кинетика процесса электроосаждения.

Электрохимические методы изучения свойств радиоактивных элементов в растворах.

3.4. Состояние радионуклидов в разбавленных жидких, твердых и газообразных средах.

Состояние радиоактивных изотопов в растворах. Ионное, молекулярное и коллоидное состояние. Доказательства существования радионуклидов в различных состояниях. Методы исследования состояния радионуклидов.

4.Экстракция в радиохимии

Проведение экстракции и реэкстракции. Кинетика экстракции. Коэффициент распределения и константа экстракции. Механизм экстракционного процесса и влияние различных факторов на экстракционное равновесие. Извлекаемая и экстрагируемая доли. Экстракционное разделение смесей радионуклидов. Коэффициенты разделения элементов и выбор оптимальных условий разделения. Лабораторные и промышленные экстракторы. Многостадийность экстракционных процессов. Применение экстракции для выделения и концентрирования радионуклидов. Получение радионуклидов без носителей. Переработка ядерного горючего. Выделение плутония и регенерация урана. Разделение продуктов деления (осколочные радионуклиды).

5. Процессы радиоколлоидообразования

Состояние радиоактивных элементов в крайне разбавленных растворах. Истинные и псевдорадиоколлоиды, условия их образования. Особенности поведения радионуклидов в радиоколлоидах. Методы исследования. Значение и область применения.

III. Химия радиоактивных элементов

Возможность изучения химии радиоактивного элемента по поведению любого из его изотопов, как следствие идентичности физикохимических свойств изотопов. Сохранение индивидуальных свойств элементов при предельно малых концентрациях. Особенности поведения радиоактивных элементов, связанные с малыми концентрациями (невозможность образования самостоятельных твердых фаз и протекания реакций с участием нескольких частиц, содержащих радиоактивный элемент, сдвиги потенциалов выделения и т.д.). Электронная структура тяжелых элементов и возможность дальнейшего расширения периодической системы. Естественные и искусственные радиоактивные элементы: технеций, прометий, полоний, астат, радон, франций, радий, актиний, торий, протактиний,

уран, нептуний, плутоний и трансплутониевые элементы. История открытия, положение в периодической системе, электронная структура, основные изотопы, методы выделения из природных объектов или получения с помощью ядерных реакций, методы идентификации, физические и химические свойства. Работы Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна) в области синтеза и идентификации сверхтяжелых элементов. Степени окисления элементов и их устойчивость, важнейшие химические формы, их получение и анализ, практическое использование.

1. Уран. Распространенность в природе, изотопы урана. Важнейшие соединения урана, их получение и свойства

Гидриды: методы получения, физические и химические свойства.

Галогениды: методы получения, состав и кристаллическая структура, термодинамические свойства, химические реакции.

Оксиды: методы получения, области существования индивидуальных фаз. Химические реакции.

Соли урана и уранила: сульфаты, оксалаты, ацетаты, фосфаты, нитраты, галогенацетаты и др.

2. Химия урана в растворах

Состояния окисления, устойчивые в водных растворах, окислительно-восстановительные реакции, влияние температуры и кислотности на скорости окислительно-восстановительных реакций. Комплексообразование урана и гидролиз его солей в водных растворах. Химия урана в неводных растворах. Комплексообразование с органическими лигандами.

3. Химия трансурановых элементов в водных растворах

Окислительно восстановительные реакции, комплексообразование, гидролиз.

IV. Химические процессы, инициированные ядерными превращениями.

1. Химические следствия радиоактивного распада

Химические изменения при изомерном переходе. Явление ядерной изомерии. История открытия. Причины явления. Различные виды превращений изомерных ядер. Методы идентификации изомерных состояний. Внутренняя конверсия, последующие процессы, развивающиеся в электронных оболочках, при изомерных переходах. Механизм химических изменений при изомерных переходах атомов в составе молекулярных систем. Разделение ядерных изомеров.

Химические изменения при процессах β-распада. Процессы, происходящие при β - превращениях атомов (изменение зарядового состояния, радиоактивная отдача, ионизация и возбуждение электронных оболочек вследствие внезапного изменения заряда ядра).

Процессы β - распада атомов в составе молекулярных систем как основа метода синтеза новых химических форм радиоактивных элементов и меченых соединений. Особенности последствий процессов β - распада трития в составе молекулярных систем и их использование для получения промежуточных реакционноспособных частиц (карбениевые ионы, их кремниевые и германиевые аналоги, ионы-карбеноиды, карбены, нитрены и т.д.). Значение новых методов получения и исследования 6 реакции этих частиц для развития кинетики химических реакций в органической и неорганической химии.

2. Химические изменения при искусственно вызываемых ядерных превращениях

Реакция (η, γ). Ее особенности. Энергия связи нейтрона с ядром и γ - кванты захвата. Энергия отдачи при эмиссии γ- квантов захвата. Эффект Сцилларда-Чалмерса. Возникновение «горячих» атомов. Удержание, его причины и виды. Реакции «горячих» атомов. Основные идеи теории упругих и неупругих соударений и теории «горячей» зоны. Химические изменения при рационном захвате нейтрона как основа метода обогащения искусственных радионуклидов и синтеза меченых соединений.

V. Научные основы технологии ядерного горючего

Переработка урановых руд и их комплексное использование. Физические и химические методы обогащения, вскрытие урановых руд. Сорбционно-экстракционные методы извлечения урана из растворов и пульп. Промышленное получение металлического урана, его сплавов, оксидов, тетрафторида и гексафторида.

Основные химические реакции, используемые при разделении урана, нептуния, плутония и продуктов деления. Главнейшие окислители и восстановители, применяемые в технологии урана, нептуния и плутония.

Основы ядерно-энергетического цикла. Типы ядерных реакций. Нейтронные реакции. Замедление нейтронов. Особенности реакций с медленными и быстрыми нейтронами. Деление ядер тяжелых элементов. Распределение продуктов деления по массам и зарядам. Цепные реакции. Принцип действия ядерного реактора. Ядерное горючее, замедлители, теплоносители.

Реакторы. Конструкционные особенности реакторов на быстрых и

тепловых нейтронах. Вещества и материалы, применяемые в качестве замедлителей, теплоносителей, отражателей и деталей конструкций.

Тепловыделяющие элементы на основе металлов: урана, тория. Керамические твэлы, оболочки твэлов из алюминия, магния, циркония и их сплавов. Конструкция твэлов.

Переработка облученного ядерного горючего. Подготовительные процессы при переработке ядерного горючего, «охлаждение», механическая обработка, растворение оболочек твэлов из различных материалов и сплавов. Общие принципы построения технологических схем при переработке ядерного горючего.

Осадительные процессы переработки горючего с целью получения плутония: лантансульфатный, фторидный, висмутфосфатный. Поведение осколков деления на отдельных стадиях процесса осаждения.

Общие принципы построения технологических схем при переработке ядерного горючего.

Экстракционно-хроматографические методы – основа технологических процессов безотходных производств. Химия процессов экстракции урана и трансурановых элементов кислородсодержащими органическими растворителями, фосфорорганическими соединениями и аминами. Экстракция хелатов. Разделение урана и трансурановых элементов ионообменными методами.

Переработка облученного ядерного горючего сухими методами.

Процессы разделения, основанные на различной летучести фторидов, экстракция из расплавов жидкими металлами и солями. Окислительное шлакование. Электрорафинирование.

VI. Проблемы обращения с радиоактивными отходами

Формы существования и миграции радионуклидов в природных средах. Естественные и техногенные радионуклиды в биосфере. Продукты деления, методы их выделения, переработка и использование. Источники образования жидких, твердых и газообразных отходов. Хранение и переработка высокоактивных жидких отходов. Очистка жидких отходов низкого и среднего уровня активности. Определение радионуклидов в объектах окружающей среды. Радиоактивное загрязнение окружающей среды и возможности современной радиохимии в области мониторинга. Реабилитация территорий, загрязненных радионуклидами.

Радиохимические аспекты ядерной трансмутации.

I. Критерии оценивания

Критерии и показатели оценивания ответа на экзамене			
Не-удовлетворительно	**Удовлетворительно**	**Хорошо**	**Отлично**
2 балла	**3 балла**	**4 балла**	**5 баллов**
Фрагментарные знания актуальных проблем и тенденций в развитии современной радиохимии	Неполные знания актуальных проблем и тенденций в развитии современной радиохимии	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания актуальных проблем и тенденций в развитии современной радиохимии	Сформированные и систематические знания актуальных проблем и тенденций в развитии современной радиохимии

II. Рекомендуемая основная литература:

1. Бекман И.Н. Радиохимия в 2-х т. Т.1 Фундаментальная радиохимия М.: Юрайт, 2014, 473 с.
2. Бекман И.Н. Радиохимия в 2-х т. Т.2 Прикладная радиохимия и радиационная безопасность М.: Юрайт, 2014, 386 с.
3. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. Бином, 2006, 268 с.
4. Ан.Н.Несмеянов. Радиохимия. М.: Химия. 1985.
5. Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков Радиоактивность. М.: Лань. 2013, 304 с.
6. И.Хала, Дж. Навратил. Радиоактивность, ионизирующее излучение и ядерная энергетика. Пер. с англ./под ред. Б.Ф. Мясоедова, С.Н. Калмыкова. М.: ЛКИ, 2013. 432 с.

III. Дополнительная литература:

1. Ядерная энциклопедия Автор: Ярошинская А.А. Издательство: Благотворительный фонд Ярошинской Год: 1996 Страниц: 656
2. Химическая энциклопедия, Изд. БРЭ, т.т. 1-5, 1988-1998
3. Modelling in Aquatic Chemistry. OECD Publications, 1997, 724 pp.
4. The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements (Set Vol.1-6), Ed.: L.R. Morss, N. Edelstein, J. Fuger, J.J. Katz. Springer Netherlands, 2011.

Периодическая литература

Журналы «Радиохимия», "Radiochemical and radioanalytical letters", 9 "Radiochemical and nuclear methods of analysis", "Radiochemical and nuclear chemistry", “Radiochimica Acta”

Интернет-ресурсы

http://profbeckman.narod.ru/
http://beckuniver.ucoz.ru/
http://radiochemistry-msu.ru
https://thereda.com/en/
http://www.oecd-nea.org/dbtdb/