

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

кандидатского экзамена по специальности

**02.00.14 «Радиохимия»**

по химическим и техническим наукам

Программа-минимум  
содержит 12 стр.

2007

## Введение

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

Программа разработана экспертным советом по химии (по неорганической химии) Высшей аттестационной комиссии Минобразования России при участии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, С.-Петербургского государственного университета, Института физической химии РАН, Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, РНЦ "Курчатовский институт" и НПО "Радиевый институт" им. В.Г. Хлопина.

### І. 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 ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $E$  - 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 радионуклидов между 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 потенциал-образующая 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 псевдордиоколлоиды, 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 физико-химических 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  $\beta$  - распада.* Процессы, происходящие при  $\beta$  - превращениях атомов (изменение зарядового состояния, радиоактивная отдача, ионизация и возбуждение электронных оболочек вследствие внезапного изменения заряда ядра).

Процессы  $\beta$  - распада атомов в составе молекулярных систем как основа метода синтеза новых химических форм радиоактивных элементов и меченых соединений. Особенности последствий процессов  $\beta$  - 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 реакции этих частиц для развития кинетики химических реакций в органической и неорганической химии.

## **2. Химические изменения при искусственно вызываемых ядерных превращениях**

*Реакция ( $\eta$ ,  $\gamma$ ).* Ее особенности. Энергия связи нейтрона с ядром и  $\gamma$ -кванты захвата. Энергия отдачи при эмиссии  $\gamma$ -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 рациональном 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.

## **VII. Прикладная радиохимия**

### **1. Меченые соединения**

Получение и идентификация меченых соединений. Химические, физико-химические, ядерно-химические и биохимические методы синтеза. Процессы автордиолиза. Химия ультра-короткоживущих биогенных радионуклидов. Радиохимические аспекты позитронно-эмиссионной томографии.

### **2. Радиоактивные индикаторы в науке и технологии**

Основы метода радиоактивных индикаторов. Применение радиоактивных изотопов в аналитической, органической и физической химии. Исследование структуры и структурных изменений химических соединений. Определение давления пара труднолетучих веществ. Исследование равновесий. Изучение кинетики и катализа. Исследование процессов миграции (диффузии, электролитической проводимости,

термической диффузии и т.п.). Корреляционный и изотопный эффекты. Химические аспекты использования радионуклидов в биологии и медицине.

### **Основная литература**

1. Ан. Н. Несмеянов. Радиохимия. Издание второе, М.: Химия, 1978 г.
2. В.Д. Нефедов, Е.Н. Текстер, М.А. Торопова. Радиохимия. М.: Высшая школа, 1987 г.
3. В.М. Вдовенко. Современная радиохимия. М.: Атомиздат, 1969 г.
4. И.Е. Старик. Основы радиохимии. Л.: Наука, 1969 г.
5. К. Келлер. Радиохимия. М.: Атомиздат, 1969. О. Ган. Прикладная радиохимия. М.: Атомиздат, 1969 г.
6. Химия актиноидов. Редакторы Дж. Кац, Г. Сиборг и Л. Морсс. Том 1. Перевод с английского. Под. ред. член-корр. АН СССР Б.Ф. Мясоедова и д-ра хим. наук Н.Н. Крота.
7. Химия актиноидов. Редакторы Дж. Кац, Г. Сиборг и Л. Морсс. Том 2. Перевод с английского. Под редакцией академика РАН Б.Ф. Мясоедова.
8. В.М. Николаев, Е.А. Карелин, Р.А. Кузнецов, Ю.Г. Топоров. Технология трансплутониевых элементов. Димитровград. ГНЦ РФ НИИАР, 2000 г.

### **Дополнительная литература**

1. В.Б. Лукьянов, С.С. Бердоносков и др. Радиоактивные индикаторы в химии. Основы метода. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1985 г.
2. Б.Ф. Мясоедов и др. Аналитическая химия трансплутониевых элементов. М.: Наука, 1972 г.
3. Б.В. Громов, В.И. Савельева, В.Б. Шевченко. Химическая технология облученного ядерного топлива. М.: Энергоатомиздат, 1983 г.

4. В.В. Громов, А.И. Москвин, Ю.А. Сапожников. Техногенная радиоактивность мирового океана. М.: ИздАТ, 2000 г.
5. Изотопы. Свойства, получение, применение. Под редакцией член-корр. РАН В.Ю. Баранова. М.: ИздАТ, 2000 г.