

**Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования Московской области «Международный университет природы,
общества и человека «Дубна»
(университет «Дубна»)
Факультет естественных и инженерных наук
Кафедра «Ядерная физика»**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

«РАДИОХИМИЯ»

направления 011700 «Физика»

Магистерская программа «Физика ядра и элементарных частиц»

г. Дубна, 2011 г.

УМК разработан _____ к.х.н., доцентом Зайцевой Н.Г. _____
(ученая степень, ученое звание, фамилия, имя, отчество разработчиков)

Протокол заседания кафедры **ядерной физики** № _____ от “ _____ ” _____ 20____ г.

Заведующий кафедрой д. ф-м. н. профессор / _____ / Оганесян Ю.Ц.

Декан факультета естественных и инженерных наук _____ / А.С. Деникин /
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

“ _____ ” _____ 20____ г.

Проректор по учебной работе

к.х.н., доцент С.В. Моржухина

“ _____ ” _____ 20____ г.

Оглавление

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	4
КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН (РАБОЧАЯ ПРОГРАММА)	5
1. Выписка из ГОС ВПО	10
2. Аннотация	10
3. Цели и задачи дисциплины.	11
4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.	11
5. Объём дисциплины и виды учебной работы (час):	11
6. Разделы (темы) дисциплины.	12
Содержание разделов дисциплины	12
7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.	13
Основная литература	13
Дополнительная литература:	13
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины.	14
9. Формы контроля и оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины	14
Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы:	14
Темы научных докладов для получения зачета (по выбору):	17
10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины	17
Методические рекомендации преподавателю	17
Методические указания студентам	18
ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ:	19

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина изучается на 6 курсе в 11 семестре

Целью курса «Радиохимия» является освоение магистрантами по направлению «Физика» теоретических основ и фундаментальных экспериментальных данных в области радиохимии, включающей также разделы, относящиеся к ядерной химии, радиационной химии, радиоэкологии, технологии ядерных материалов. Фундаментальные основы всех этих направлений служат для решения целого ряда задач в различных областях науки и техники (атомная энергетика, ядерная медицина, радиоэкология окружающей среды).

При разработке программы особое внимание уделялось тому, чтобы ее содержание было ориентировано на получение и использование знаний в научно-исследовательской работе в области современной радиохимии, для решения теоретических и практических задач, в частности, в исследованиях при получении новых элементов, в области ядерно-топливного цикла, в науках о жизни).

. В ходе освоения данного курса студент (магистрант) должен получить базу знаний, необходимую при подготовке его как специалиста, получить навыки работы с литературой при поиске необходимой справочной и научно-технической информации как на бумажных носителях (монографии, научные журналы), так и в сети Интернет.

Курс «Радиохимия» является необходимым для эффективной работы студентов над задачами, возникающими перед ними в ходе выполнения дипломных работ.

Номера и даты недель	Виды и содержание учебных занятий												
	Лекции (2 час. в неделю)*						Практические занятия (час. в неделю)	№	Лабораторные работы	Самостоятельная работа студентов			
	В аудитоии			Самостоятельное изучение						Вид задан.	Содержание	Часы	Форма контроля
	Даты лекций	Часы	Содержание	Использ. ТСО**	Содержание и раздел учебника (глава, параграф)	Форма контроля							
1 нед.		2	Радиоактивность		5, гл. 9, § 71,72	К			А				
2 нед.		2	Радиоактивность		5, гл. 9, § 73,75	К			А	Радиоактивность	2	К	
3 нед.		2	Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом		1, гл. 6 § 2 5, гл. 11, § 79-81	К			А	Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом	2	К	
4 нед.		2	Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом		1, гл. 6 § 2 5, гл. 11, § 82, 83.	2			А	Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом	2	К	
5 нед.		2	Химия естественных и искусственных радиоактивных элементов		1, гл. 5 § 1-8, гл. 3 § 1-6	К			А	Химия естественных и искусственных радиоактивных элементов	2	К	
6 нед.		2	Химия естественных и искусственных радиоактивных элементов		1, гл. 7 § 1-12	К			А	Химия естественных и искусственных радиоактивных элементов	2	К	
7 нед.		2	Применение явления радиоактивности		5, гл. 11, § 71-76	К			А	Применение явления радиоактивности	2	К	
8 нед.		2	Применение явления радиоактивности. Основы радиоэкологии		1, гл. 6 § 3-9 2,3,4	К			А	Применение явления радиоактивности. Основы радиоэкологии	4	К	
9 нед.		2	Основы радиоэкологии		2,3,4	К			А	Основы радиоэкологии	2	К	
10 нед.		2	Безопасность работ с радиоактивными веществами.		4, дополнительная литература	К			Р	Индивидуальная расчетная работа	2	К	
11 нед.		2	Безопасность работ с радиоактивными веществами.		4, дополнительная литература	К			Р	Подготовка доклада к зачету	3	К	

УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА (ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ)			А	20	
			Р	5	За- чет

№	Название, автор, год издания	Примечания
1	Несмеянов А.Н. Радиохимия: - М.: Химия, 1972	
2	Барсуков О.А., Барсуков К.А. Радиационная экология. - М.: Научный мир, 2003.	
3	Белозерский Г.Н. Радиационная экология. - М.: Академия, 2009	
4	Игнатов П.А. Радиоэкология и проблемы радиационной безопасности: - Волгоград: Ин-Фолио, 2010.	
5	Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 5, Атомная и ядерная физика. М.- ФИЗМАТЛИТ, 2002	

Виды заданий:

- А – задание к практич. занятиям
- Л – задание к лабор. занятиям
- Р – расчетное задание
- Т – типовый расчет
- П – курсовой проект
- К – контрольная или проверочная работа

"Утверждаю"

Дата 01.09.2011 г. Лектор _____ Зайцева Н.Г. __ Зав. кафедрой _____ Оганесян Ю.Ц.
подпись, фамилия, и., о.

**Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования Московской области «Международный
университет природы, общества и человека «Дубна»
(университет «Дубна»)
Факультет естественных и инженерных наук
Кафедра «Ядерная физика»**

УТВЕРЖДАЮ

проректор по учебной работе

_____ С.В. Моржухина

«_____» _____ 20 г.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«РАДИОХИМИЯ»

направления 011700.68 Физика

Магистерская программа «Физика ядра и элементарных частиц»

Форма обучения: очная

Уровень подготовки: _____ *магистр* _____

Курс (семестр): 6 курс, 11 семестр

г. Дубна, 2011 г.

Автор программы:

Зайцева Н.Г.

кандидат химических наук,

доцент кафедры «Химия, геохимия и космохимия» _____

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и учебным планом по направлению подготовки 011200.68 Физика

Программа рассмотрена на заседании кафедры «Ядерная физика»

Протокол заседания № _____ от « ____ » _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой _____ / Оганесян Ю.Ц. /

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета естественных и инженерных наук _____ / Деникин А.С. /

« ____ » _____ 20__ г.

Рецензент

(Фамилия, имя, отчество)

(ученая степень, ученое звание)

(должность, кафедра или иное подразделение, организация)

Руководитель библиотечной системы _____ / Черепанова В.Г. /
(подпись) (ФИО)

Содержание

1. Выписка из ГОС ВПО	10
2. Аннотация	10
3. Цели и задачи дисциплины	11
4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.....	11
5. Объём дисциплины и виды учебной работы (час):	11
6. Разделы (темы) дисциплины	12
Содержание разделов дисциплины.....	12
7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины	13
Основная литература	13
Дополнительная литература:.....	13
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины	14
9. Формы контроля и оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.....	14
Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы:	14
Темы научных докладов для получения зачета (по выбору):.....	17
10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины	17
Методические рекомендации преподавателю.....	17
Методические указания студентам	18
ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ:.....	19

1. Выписка из ГОС ВПО

Выписка из государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования. Специальность 010700 Физика. Квалификация – физик. Регистрационный N 177 ен/маг (утв. Минобразованием РФ 17.03.2000г.).

1.5 Аннотированный перечень магистерских программ:

510401 - Физика ядра и элементарных частиц

Источники, методы регистрации и измерения физических характеристик ядер и элементарных частиц. Взаимодействия частиц. Ядерные реакции и реакторы. Ускорители. Экспериментальное изучение фундаментальных явлений физики микромира. Современные теоретические представления и математические методы исследований в физике ядра и элементарных частиц. Практика научной работы.

Требования к обязательному минимуму содержания специализированной подготовки

СДМ.00	Специальные дисциплины	800	
СДМ.01	Специальный физический практикум	160	
	Лабораторные работы, связанные с изучением экспериментальными методами фундаментальных эффектов и явлений по областям физики в соответствии с перечнем магистерских программ.		
СДМ.02 и т.д.	Состав и содержание специальных дисциплин определяется требованиями специализации магистра физики при реализации конкретной магистерской программы	500	

2. Аннотация

Место курса в профессиональной подготовке магистров

Курс опирается на знания магистрантов, приобретенные ранее при изучении всех разделов курса “Общая физика” и ряда специальных дисциплин.

Курс обеспечивает студентов теоретическими знаниями и знакомит с методикой решения типовых расчетных задач на основе использования современных методов обработки, анализа и представления данных в области всех разделов радиохимии.

Методы обучения (в т.ч. инновационные)

Преподавание дисциплины «Радиохимия» предусматривает активное использование следующих методов обучения: мультимедийных презентаций, в т.ч. инновационных методов: использованием образовательных Интернет-ресурсов.

Требования к студентам

В качестве входных знаний студенты должны владеть основными законами общей и квантовой физики, иметь базовые знания по ядерной физике.

Виды контроля и формы работ студентов:

краткий опрос на лекционных занятиях, проверка выполнения расчетного задания, проверка доклада при итоговом контроле – зачете.

Самостоятельная работа студентов, предусмотренная учебным планом в объеме 25 часов, предусматривает изучение литературы и образовательных ресурсов Интернет, выполнение расчетной работы по индивидуальному заданию, а также подготовку доклада к зачету.

Методика формирования результирующей оценки.

Для оценки результатов деятельности студента по изучению дисциплины используется четыре показателя:

- участие в аудиторной работе ответы при кратких опросах на лекционных занятиях,
- посещение занятий,
- выполнение расчетной работы,
- уровень подготовки доклада на зачете.

3. Цели и задачи дисциплины.

Цели освоения дисциплины:

- освоение фундаментальных основ и современных проблем радиохимии для использования их в научно-исследовательской работе;
- ознакомление с основными направлениями научного и прикладного применения радионуклидов;

Задачи освоения дисциплины:

- обучение по разделам: ядерно-физические основы радиохимии, радиохимия радиоактивных элементов, методы анализа в радиохимии, прикладная радиохимия;
- формирование системы знаний и навыков выполнения заданий в области радиохимии;
- практическое ознакомление с технологиями работы с радионуклидами.

4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: основы химии радиоактивных элементов, нормативы и основы законодательства РФ по радиационной безопасности (РБ).

Уметь: идентифицировать химические формы стабилизации радионуклидов в окружающей среде при различных условиях.

Владеть навыками: проведения качественных и количественных оценок радионуклидного состава образцов, а также наработки радионуклидов для решения прикладных задач.

Приобрести опыт деятельности: анализа и применения радионуклидов.

5. Объём дисциплины и виды учебной работы (час):

Вид занятий	Всего часов	Семестр
		11
Общая трудоемкость	47	47
Аудиторные занятия:	22	22
Лекции	22	22
Практические занятия (ПЗ)		
Самостоятельная работа:	25	25
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	зачет	зачет

6. Разделы (темы) дисциплины.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины, содержание	Лк	СР
1	Радиоактивность	4	4
2	Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом	4	4
3	Химия естественных и искусственных радиоактивных элементов	4	4
4	Применение явления радиоактивности	3	4
5	Основы радиозологии	3	4
6	Безопасность работ с радиоактивными веществами. Анализ выполнения расчетного задания и подготовки доклада.	4	5
Всего		22	25

Содержание разделов дисциплины

1. Радиоактивность

- 1.1 Предмет и задачи радиохимии
- 1.2 Строение и свойства атомных ядер
- 1.3 Типы радиоактивного распада
- 1.4 Законы радиоактивного распада
- 1.5 Ядерные реакции, функции возбуждения, выход радионуклидов (РН)
- 1.6 Методы регистрации излучений
- 1.7 Естественные и искусственные радиоактивные элементы

2. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом

- 2.1 Альфа-частицы.
- 2.2 Бета-частицы
- 2.3 Гамма-кванты (фотоэффект, эффект Комптона, образование позитрон-электронных пар).
- 2.4 Химические эффекты ионизирующих излучений

3. Химия естественных и искусственных радиоактивных элементов

- 3.1 Особенности поведения ультрамикрочастиц радиоактивных элементов.
- 3.2. Валентные состояния, реакции, соединения.
- 3.3. Естественные радиоактивные элементы: уран, протактиний, торий, актиний, радий, франций, радон, полоний (элементы радиоактивных семейств).
- 3.4. Искусственные радиоактивные элементы: технеций, прометий, астат, трансураниевые элементы.
- 3.5 Сверхтяжелые элементы (СТЭ, $Z \geq 104$). Синтез и свойства. Методы исследования. Химия СТЭ. Идентификация.
- 3.6 Методы радиохимии. Осаждение. Экстракция.. Хроматография. Дистилляция . Электрохимические методы. Методы, основанные на эффекте отдачи ядра..
- 3.7 Радионуклидная, радиохимическая и химическая характеристика препаратов.

4. Применение явления радиоактивности

- 4.1 Получение новых элементов. Современная Таблица элементов Д.И.Менделеева. СТЭ и дальний остров стабильности.
- 4.2. Исследование свойств атомных ядер. Ядерная спектроскопия.
- 4.3.Ядерная энергия. Цепная реакция деления урана. Ядерно-топливный цикл (ЯТЦ).

4.4 Ядерная медицина. РН для диагностики и терапии.

4.5. Получение аналитической информации.

5. Основы радиоэкологии

5.1. Предмет и задачи радиоэкологии (РЭ). Основные понятия и термины.

5.2 Источники радиоактивности в окружающей среде (ОС). Радиационный фон.

5.3 Поступление радиоактивных веществ в геосферу. Особенности поведения РН в экосистемах. Миграция.

5.4 Отдельные РН в ОС. Тритий, радиоуглерод, продукты деления урана, РН радиоактивных семейств, актиноиды

6. Техника безопасности работ с радиоактивными веществами

6.1 Радиационная безопасность. Основные понятия и термины.

6.2 Группы радионуклидов и классификация работ .

7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.

Основная литература

1. Несмеянов А.Н. Радиохимия: Учебник для студентов химических специальностей вузов / Несмеянов Андрей Николаевич. - М.: Химия, 1972. - 592с.
2. О.А.Барсуков, К.А.Барсуков. Радиационная экология. - М.: Научный мир, 2003. - 253с.:
3. Белозерский Г.Н. Радиационная экология: Учебник для вузов / Белозерский Геннадий Николаевич; Рец. К.А.Гриднев, Е.И.Голубева. - М.: Академия, 2009. - 384с.:
4. Игнатов П.А. Радиоэкология и проблемы радиационной безопасности: Учебное пособие / Игнатов Петр Алексеевич, Верчеба Александр Александрович; Рец. Е.Н.Камнев. - Волгоград: Ин-Фолио, 2010. - 256с.:
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 5, Атомная и ядерная физика. М.-ФИЗМАТЛИТ, 2002- 784 с.

Дополнительная литература:

1. Изотопы: свойства, получение, применение Т.1 - М.: Физматлит, 2005. - 600с. /. Т.2 / Под ред. В.Ю.Баранова. - М.: Физматлит, 2005. - 728с.:
2. Игнатов П.А. Общая радиогеоэкология: Учебное пособие для вузов / Игнатов Петр Алексеевич, Верчеба Александр Александрович; Рец. Г.В.Демура; Ред.А.Н.Шабашова; Международный университет природы, общества и человека "Дубна". Кафедра экологии и наук о Земле. - Дубна: Международный университет природы, общества и человека "Дубна", 2005. - 184с.: П.А.Игнатов, А.А.Верчеба. Общая радиоэкология. Дубна, Международный Университет «Дубна», 2005
3. Современное естествознание: Энциклопедия: В 10 т. Т.4 : Физика элементарных частиц. Астрофизика / ISSEP. Междунар.соросовская программа образования в области точных наук; Гл.ред. В.Н.Сойфер; Ред.тома Б.И.Садовников и др. - М.: Магистр-Пресс, 2000. - 280с.:
4. Усманов С.М. Радиация : Справочные материалы / Усманов Салават Мударисович. - М.: Владос, 2001. - 176с.
5. Белоус Д.А. Радиация, биосфера, технология / Белоус Д.А. - СПб.: ДЕАН, 2004. - 448с.
6. Коровин Н.В. Общая химия: Учебник для технических вузов / Коровин Николай Васильевич. - 10-е изд., доп. - М.: Высшая школа, 2008. - 557с.
7. Краткая химическая энциклопедия. Т.1 : А - Е / Ред.кол. И.Л.Кнунянц и др. - М.: Советская энциклопедия, 1961. – 1262 с.. - Т.5 : Т - Я, 1967. - 1184с
8. Химия и общество / Американское химическое общество; Под ред. М.Г.Гольдфельда; Пер.с англ. М.Ю.Гололобова. - М.: Мир, 1995. - 560с.:

9. Трифонов К.И. Физико-химические процессы в техносфере: Учебник / Трифонов Константин Иванович, Девисилов Владимир Аркадьевич; Рец. В.М.Киселев и др. - М.: ИНФРА-М: Форум, 2007. - 240с.
10. Концепция радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации населения Российской Федерации, подвергшегося аварийному облучению :[Электронный ресурс] . - Электронная версия; www.ibrae.ac.ru.
11. Гагаринский А.Ю. Ядерная энергетика: мировые тенденции / Гагаринский А.Ю., Гагаринская И.В. // Энергия: экономика, техника, экология. - 2002. - № 5. - С. 2 - 8:

Справочные ресурсы и материалы в Интернет:

1. <http://www.chemport.ru/radiochemistry.shtml>
2. http://www.khlopin.ru/journal_radiochemistry.php

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. мультимедийный проектор;
иллюстративный материал в форме компьютерных презентаций и образовательных

9. Формы контроля и оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы:

1. Радиоактивность. Радиоактивный распад. Взаимодействие излучения с веществом

ЗАДАНИЕ 1

1. Карта нуклидов. Что она позволяет узнать о приведенных в ней нуклидах? Показать на примерах.
2. Продукты превращения радиоактивных ядер в зависимости от типа распада. Привести примеры
3. Написать цепочку распада ^{99}Mo . Привести формулу определения радиоактивности дочернего ядра.

ЗАДАНИЕ 2

1. Понятие радиоактивность . Историческое значение этого явления.
2. Поведение различных типов ионизирующего излучения в электромагнитном поле. Отличие пробегов различных частиц в веществе.
3. Как уменьшится активность 1 Ки нуклидов ^{95}Zr , ^{90}Sr , ^{144}Ce за время 1сут., 10 сут., 1 год?

ЗАДАНИЕ 3

1. Какие ядра имеют тип распада «спонтанное деление», их место в таблице элементов Менделеева. Привести примеры.
2. Что определяет понятие «пробег частиц в веществе». Привести формулы для расчета энергии, пути пробега

альфа- и бета-частиц.

3. В паспорте готового препарата ^{24}Na указано, что его радиоактивность составляет 10 мКи. Определить

активность препарата через 15 час, 1 сутки, 2 суток. Через какое время останется в препарате 1 мКи?

ЗАДАНИЕ 4

1. Привести примеры ядер, испытывающих только α -распад, только β^- -распад, β^+ -распад.

2. Какой формулой описывается поглощение β^- -частиц? Какие величины она позволяет определять?

3. Потребителю необходимо иметь 50 мКи ^{111}In . Время транспортировки препарата составляет 12 часов.

Рассчитать активность изотопа на момент отправки его из лаборатории потребителю.

ЗАДАНИЕ 5

1. Дать определение радиоактивного ядра. Перечислить основные характеристики (свойства)

радиоактивных ядер. Изотопы, изомеры изобары, изотоны (привести примеры).

Единицы радиоактивности.

2. Как рассчитать E_{α} , если известен пробег альфа-частицы в воздухе?

3. Сколько атомов распадается за сутки в 1 г плутония-237 и в 1 г трития?

ЗАДАНИЕ 6

1. Какие типы радиоактивного распада известны? Привести их характеристики.

2. Как рассчитать пробег альфа-частицы с известной энергией в любом веществе?

3. В каком количестве КС1 содержится 1 мКи ^{40}K ?

ЗАДАНИЕ 7

1. Какими будут N и Z дочернего ядра по сравнению с материнским ядром, если материнское ядро

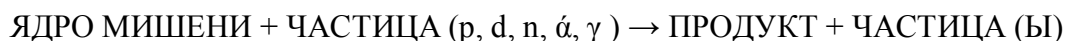
испускает: α -частицу, β^- -частицу, β^+ -частицу, γ -квант? Привести примеры.

2. Какие величины характеризуют взаимодействие β^- -излучения с веществом?

3. Определить период полураспада радионуклида с $A=100$, если в 0,1 г его происходит $1,4 \cdot 10^7$ распадов в секунду?

2 Ядерные реакции

Написать ядерные реакции по указанной схеме:



Пример (сокращенная форма записи):				
$^{76}\text{Ge} (p,n) ^{76}\text{As}$	$^{76}\text{Ge} (d,n) ^{77}\text{As}$	$^{76}\text{Ge} (n, \gamma) ^{77}\text{Ge}$	$^{76}\text{Ge} (\gamma,n) ^{75}\text{Ge}$	^{76}Ge
$(\alpha,n) ^{79}\text{Se}$	$(p,xn) ^{77-x}\text{As}$	$(d,p) ^{77}\text{Ge}$	$(n,2n) ^{75}\text{Ge}$	$(\gamma,pn) ^{74}\text{Ga}$
$(\alpha,3n) ^{77}\text{Se}$	$(p, \gamma) ^{77}\text{As}$	$(d,\alpha) ^{74}\text{Ga}$	$(n,p) ^{76}\text{Ga}$	$(\gamma,p) ^{75}\text{Ga}$
$(\alpha,np) ^{78}\text{As}$				$(n,pn) ^{75}\text{Ga}$

(n, α) ^{73}Zn							
Ядра мишеней (выбрать из каждого ряда по ядру):							
^{12}C	^{14}N	^{16}O	^{20}Ne	^{40}Ar	^{84}Kr	^{136}Xe	
^{169}Tm	^{65}Cu	^{85}Rb	^{124}Xe	^{181}Ta	^{100}Mo	^{85}Sr	
^{103}Rh	^{89}Y	^{133}Cs	^{203}Tl	^{232}Th	^{235}U	^{137}Np	
15							

3 Химия радиоактивных элементов

Естественные радиоактивные элементы ($Z=84-92$). Уран. Протактиний. Торий. Актиний. Радий. Франций. Радон. Полоний. Радиоактивные семейства.

Искусственные радиоактивные элементы. Технеций. Прометий. Астат. Трансурановые элементы (ТУЭ, $Z=93-103$).

Сверхтяжелые элементы (СТЭ, $Z \geq 104$).

Свойства, способы получения, химические реакции. Особенности поведения ультрамалых количеств элементов. Релятивистские эффекты.

4. Радионуклиды в окружающей среде (ОС)

.Источники поступления РН в ОС. Поведение в различных экосистемах (атмосфера, литосфера, гидросфера, биосфера)...Миграция, факторы влияния, кинетика. Химическое поведение РН в ОС. Физико-химические формы стабилизации РН. Процессы гидратации, гидролиза, комплексообразования. Модельные представления о механизме химического поведения радиоактивных загрязнений в ОС. Отдельные РН в ОС – тритий, радиоуглерод, инертные газы, стронций, цезий, актиниды. Физико-химические и биологические характеристики. Особое внимание на радон. Поступление РН в организм человека, накопление в отдельных органах. Биологический период полураспада, эффективный период полураспада. Метаболизм.

5. Ядерная энергия.

Основа ядерной энергетики – регулируемая цепная реакция деления. Деление урана. Ядерный реактор. Ядерно-топливный цикл (ЯТЦ). Проблемы и перспективы развития ядерной энергетики. Переработка отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Трансмутация ОЯТ. Ядерные отходы (ЯО): источники поступления, классификация (типы, радионуклидный и химический состав, уровень радиоактивности). Переработка и захоронение ЯО. Задачи радиохимии.

6. Радиационная безопасность.

Источники радиационного воздействия излучения на живые организмы. Внешнее и внутренне облучение. Пути поступления радиоактивных веществ в организм и характер распределения. Радиочувствительность органов. Скорость выведения РН из организма. Биологические последствия воздействия ионизирующих излучений. Основные понятия и термины радиационной безопасности. Техника безопасности.

7. Ядерная медицина

Радионуклиды в ядерной медицине. Классификация РН. Значение данных о свойствах ядер. Выбор РН.

Основы получения РН в ядерных реакциях (функции возбуждения, энергетический интервал, выходы).. Радиохимические методы выделения радиоактивных изотопов из сложной смеси продуктов ядерных реакций. Чистота радионуклидных препаратов. Методы контроля. Современное состояние получения и применения РН.

Темы расчетных заданий

Темы расчетных заданий выдаются с краткой формулировкой исходных условий. Каждое задание выполняется одним студентом. Темы расчетных работ могут быть также предложены самими студентами.

Каждая расчетная работа нацелена на исследование конкретной задачи. В предложенных в данном курсе задачах требуется: (1) выполнить расчеты удельной активности РН (по предложенному списку), (2) представить в графическом виде результаты распада заданного РН, (3) представить расчеты эффективного периода полураспада РН (третий, радиоуглерод, стронций, йод, цезий и др.), (4) представить ядерные реакции получения СТЭ, определить по Таблице элементов их химические аналоги и представить модель химического поведения.

Темы научных докладов для получения зачета (по выбору):

1. Сверхтяжелые элементы Периодической системы Д.И.Менделеева (*физические аспекты*)
2. Сверхтяжелые элементы Периодической системы Д.И.Менделеева (*химические аспекты*)
3. Возможное существование хассия (Hs, $Z=108$) в природе с геохимической точки зрения
4. Технеций: поведение в процессах переработки облученного ядерного топлива и в объектах ОС
5. Синтез нового элемента с $Z = 117$
6. Гидролиз и коллоидообразование тория в воде. Пути миграции в ОС
7. Свойства, поведение и мониторинг радона и торона и их дочерних продуктов в ОС.
8. Радионуклиды для радиотерапии. Актиний-225: свойства, получение, применение
9. Регенерация урана и плутония из отработавших твэлов ядерных реакторов
10. Определение актиноидов в природной воде
11. Международная шкала ядерных событий. Характеристика уровней опасности. Известные ядерные события в мире, их уровни опасности. Последующая многолетняя динамика поведения загрязнений в ОС.

10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Методические рекомендации преподавателю

В рамках данного курса студенту (магистранту) необходимо дать знания и навыки работы:

- с современной Таблицей элементов Д.И.Менделеева и современной Картой нуклидов,
- с фундаментальными пособиями, относящимися к данному курсу,
- вычислений, графической обработки данных,
- умения подготовки докладов и текста научных публикаций.

Объем курса не предполагает глубокого изучения предмета, поэтому работу со студентами необходимо построить на примере разбора двух-трех тестовых заданий в течение семестра, подобных тем, которые студенты должны выполнить в качестве расчетной или описательной работы. Перед изучением нового задания дается вводная лекция, на которой кратко рассматриваются основные детали. Время разбора для заданий - по одному занятию. Лекционные и практические занятия следует проводить в аудитории, оборудованной персональными компьютерами и снабженной проектором для демонстраций. Преподаватель, объясняя материал, должен иллюстрировать его, выполняя действия на демонстрационном компьютере. Формулировка расчетных заданий должна быть выполнена подробно. Объем литературы по рассматриваемым в курсе разделам

большой. Однако универсального учебного пособия по данному курсу в настоящий момент нет. Поэтому следует разрешить студентам максимально свободное использование доступной литературы и интернет ресурсов, а также консультировать их по возникающим проблемам. Контроль работы студента проводить в виде опроса по выполненным расчетным заданиям в конце семестра.

Методические указания студентам

Из-за достаточно большого объема изучаемого материала и малого количества занятий работа студента над заданиями во многом должна быть самостоятельной. Допускается использование различной литературы и Интернет-ресурсов. Одобряется обращаться к преподавателю за консультациями. В ряде случаев выбор индивидуального задания может быть определен самостоятельно, например, на основе стоящей перед студентом задачи в рамках дипломной работы.

Программой дисциплины предусмотрено выполнение индивидуальных заданий. Каждое задание после выполнения работы необходимо защитить. Последовательность всех контрольных мероприятий изложена в календарном плане, который доводится до сведения каждого студента в начале семестра, а также размещен на сайте кафедры.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого для изучения настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе.

Для самостоятельного изучения по каждой из тем, приведенных в рабочей программе данной дисциплины, следует сначала прочитать рекомендованную литературу и при необходимости составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме и для освоения последующих разделов курса.

Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах и использовать материалы, рекомендованные преподавателем на лекционных занятиях.

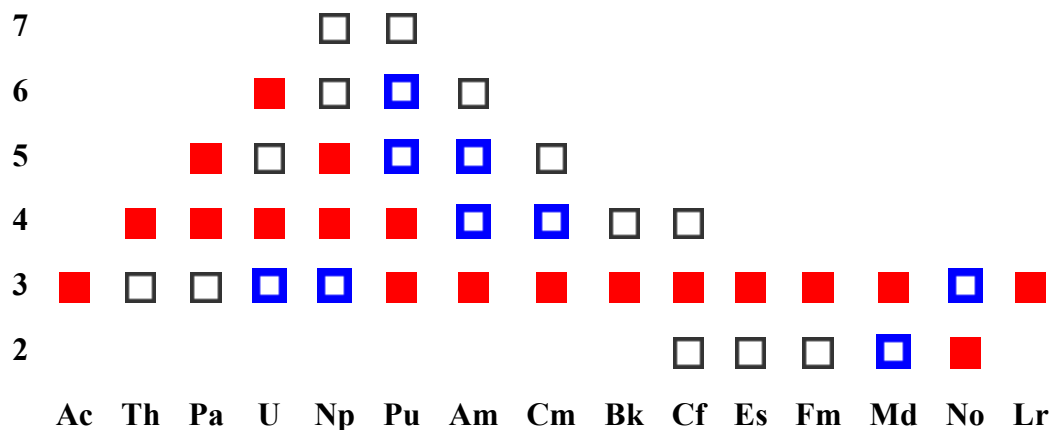
ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ:

Задание: Дать краткое описание химических свойств актинидов (An, Z =89-103)

Окисленные (Ох) состояния актинидов

Краткий обзор

значимость: ■ > ■ >



+2

- необычное Ох состояние
- обычное только для самых тяжелых элементов
- No^{2+} & Md^{2+} стабильнее Eu^{2+}
- An^{2+} ионы имеют свойства подобные ионам Ln^{2+} и Ba^{2+}

+3

- наиболее обычное Ох состояние
- наиболее обычное Ох состояние для всех trans-**Am** элементов (**No?**)
- менее стабильное состояние для **Th, Pa, U** (**Ac** исключение)
- общие свойства аналогичны Ln^{3+}
 - константы стабильности (комплексобразование) подобны для An^{3+} & Ln^{3+}
 - подобие в изоморфизме
 - разделение An^{3+} & Ln^{3+} возможно ионно-обменной хроматографией, экстракцией
- легко образуют двойные галоиды, MX_3 & легко гидролизуются до **MOX**
- бинарные оксиды M_2O_3 известны для **Ac, Th** и trans-**Am** элементов

+4

- окисленное состояние для **Th**
- химия Th^{4+} аналогична Zr^{4+} / Hf^{4+}
- очень важное стабильное состояние для **Pa, U, Pu**

- **Am, Cm, Bk & Cf** легко восстанавливаются, стабильны только в обычных комплексах
- **MO₂** известны от **Th** до **Cf** (структура флюоритов)
- **MF₄** изоструктурны с тетрафторидами лантанидов
- **MCl₄** известны только для **Th, Pa, U & Np**
- Гидролиз, комплексообразование, диспропорционирование - все имеет место в водной среде

+5

- принципиальное состояние для **Pa**

химия **Pa⁵⁺** аналогична **Nb⁵⁺ / Ta⁵⁺**

для **U, Np, Pu** и **Am** известен **AnO₂⁺** ион (отличие от **Nb/Ta**)

- известны несколько других **An^V** образцов

например, фториды **PaF₅, NbF₅, UF₅**; фтор-анионы **AnF₆⁻, AnF₇²⁻, AnF₈³⁻**

например, оксихлориды, **PaOCl₃, UOCl₃**; уранаты, **NaUO₃**

+6

- **AnO₂²⁺** ионы важны для **U, Np, Pu, Am**

UO₂²⁺ наиболее стабильный ион

- некоторые соединения, например, **AnF₆ (An = U, Np, Pu), UCl₆, UOF₄...**, **U(OR)₆**

+7

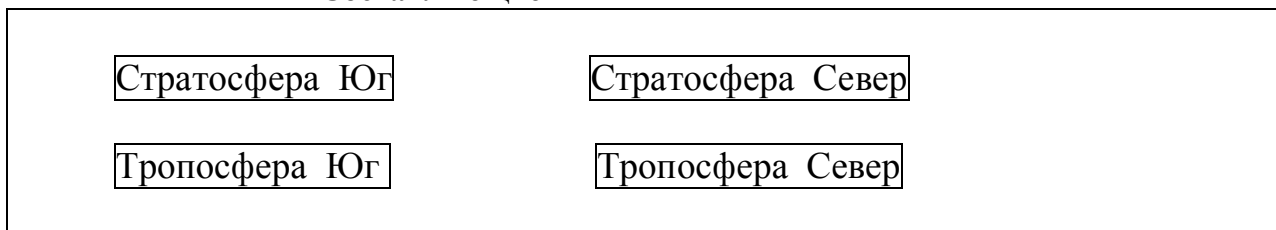
- только некоторые стабильные окси-анионы **Np** и **Pu**, (**AnO₅³⁻**)

Задание: Описать миграцию РН в экосферах, пользуясь приведенной схемой и учитывая факторы влияния (РН по выбору: тритий, углерод, йод, радон, стронций, цезий, уран, плутоний и др.)

СХЕМА БЛОКОВ И ИХ ОТДЕЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ, РАССМАТРИВАЕМЫХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

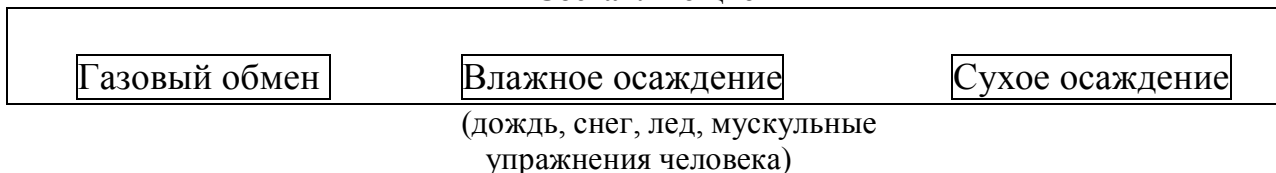
Блоки атмосферы

Составляющие



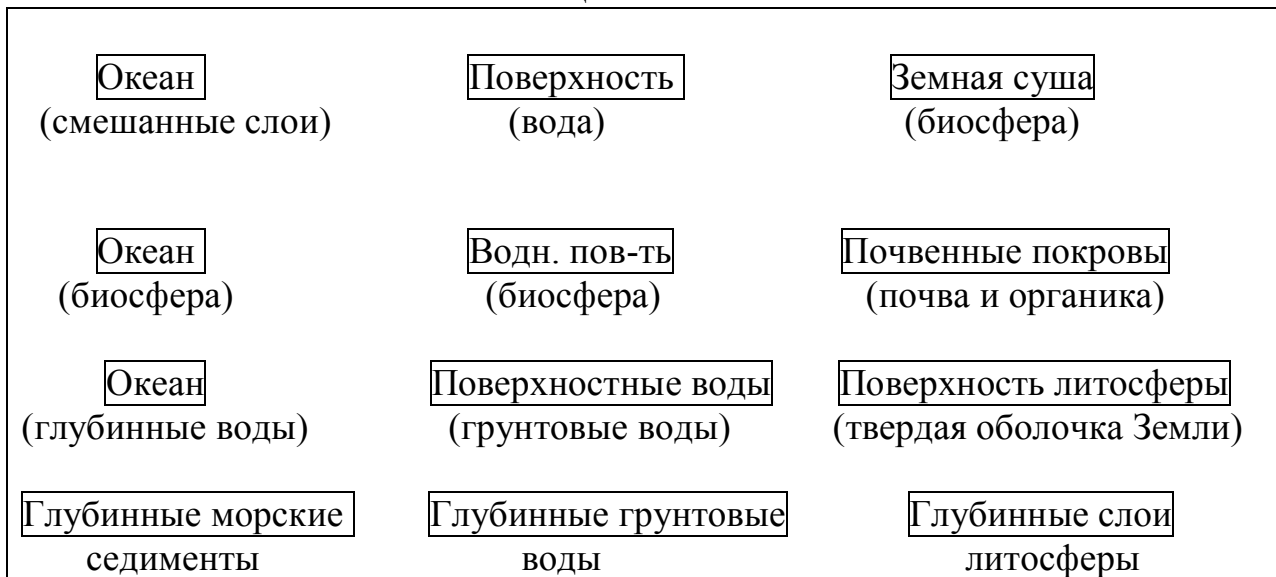
Блоки переноса

Составляющие



Блоки компонентов Земли (гидро-, био-, почво-, лито- сферы)

Составляющие



Задание: Дать краткое описание ядерно-топливного цикла

ЯДЕРНО-ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ (ЯТЦ) - совокупность способов добычи и производства топлива для ядерных реакторов, подготовки его к использованию и утилизации.

Термин «топливный цикл» указывает на то, что отработавшее (облученное) ядерное топливо (ОЯТ) после специальной переработки может использоваться повторно.

Длительность ЯТЦ, включая окончательное захоронение высокоактивных отходов (ВАО), составляет от 50 до 100 лет.

ЯТЦ атомной энергетики можно разделить на три стадии:

1. Начальная стадия – операции от добычи урановой руды до поставки изготовленных сборок ТВЭ (ТВЭЛов- тепловыделяющих элементов) на АЭС;
2. Использование ядерного топлива в реакторе для выработки электрической энергии, включая временное хранение ОЯТ на площадке АЭС;
3. Заключительная стадия может включать несколько операций, от отправки ОЯТ в специальное хранилище или на завод по переработке ОЯТ до захоронения высокоактивных отходов (ВАО), остеклованных после переработки.

ЯТЦ атомной энергетики может быть открытым и замкнутым. Открытый ТЦ включает транспортировку ОЯТ к месту утилизации и захоронению, замкнутый ТЦ включает транспортировку облученных ТВС (тепловыделяющие сборки) на РХ заводы для извлечения урана, плутония, продуктов деления. «Невыгоревший» уран проходит опять подготовку для получения ТВЭ.

ОТЦ (схема): ШАХТА → (концентрат)

→ ПОЛУЧЕНИЕ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА

→ ОБОГАЩЕНИЕ УРАНА → ПРОИЗВОДСТВО ТОПЛИВА (ТВЭЛЫ)

→ РЕАКТОР → ОЯТ → ВРЕМЕННОЕ ХРАНИЛИЩЕ

→ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ХРАНИЛИЩЕ ОТХОДОВ

ЗТЦ (схема): ОЯТ → ПЕРЕРАБОТКА

→ ФРАКЦИИ:

→ ОТХОДЫ

→ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ХРАНИЛИЩЕ

ФРАКЦИИ: а) выделенный уран → хранилище → изготовление топлива

б) выделенные актиниды → изготовление топлива (МОХ)

в) выделенные продукты деления → выделение отдельных РН

РАЗЛИЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ:

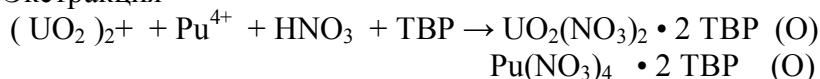
1. Хранение на площадке при реакторе (до определенного спада радиоактивности и тепла)
2. Перевозка на РХЗ
3. Разрушение ТВЭ (рубка, резка), направление в аппарат растворения
4. Аппарат растворения – вымывают из металлической оболочки топливный композит азотной кислотой (в растворе – уран, плутоний и др. ТУЭ, продукты деления)
5. Фильтрация
6. Экстракция урана и плутония с ТБФ (ПУРЕКС процесс)
7. Радиоактивные отходы (РО) – переработка для извлечения РН
8. РО – переработка для захоронения – кальцинация (высушивание, прокаливание, 500-9000 С, кальцинат (смесь окислов металлов), создание защитной матрицы (остекловывание), перевод массы (стеклоблоки) в стальные контейнеры, направление в хранилище.

Переработка топлива

1. Растворение



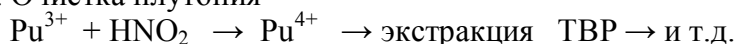
2. Экстракция



Разделение U \ Pu (окислительно-восстановительные реакции)

орг.ф.: уран, плутоний - реэкстракция разб. кислотой → в.ф. плутоний
→ восстановление до Pu³⁺ → реэкстракция разб. кислотой
→ в.ф. (дальнейшая очистка)

3. Очистка плутония



Задание: Радионуклиды для терапии. Бета- и альфа-излучатели (дать краткое описание)

В связи с ростом онкологических заболеваний активно ведется поиск и исследование РН, которые обладали бы оптимальными для радиотерапии свойствами. Биологическое поведение РН, а именно, особенности распределения и накопления нуклидов в организме, скорость захвата и время жизни в отдельных органах, антигенные проявления, а также характеристики опухолевых образований (радиочувствительность; размер, близость расположения к здоровым тканям и органам); служат основой для выбора РН. Наиболее эффективной считают радиоиммунотерапию (РИТ) с мечеными моноклональными антителами (МКАТ), особенно на начальной стадии появления опухолевых клеток, как дополнение к другим формам воздействия (химиотерапия, хирургическое вмешательство).

Одной из важных характеристик РН должно быть испускание частиц с высокой линейной передачей энергии (ЛПЭ) при ограниченной длине пробега. Для РИТ выбирают РН с определенными свойствами, а именно,

альфа-излучатели с высокой ЛПЭ (~80 кэВ/мкм) и коротким пробегом частиц (50-90 мкм): ²¹¹At, ²¹²Bi, ²¹³Bi;

бета-излучатели с относительно коротким пробегом частиц (<200 мкм): ³²P, ¹⁷⁷Lu, ¹⁹¹Os, ¹⁹⁹Au;

бета-излучатели со средним пробегом частиц (≥200 мкм при средней величине ~1 мм): ⁴⁷Sc, ⁶⁷Cu, ⁷⁷As, ¹⁰⁵Rh, ¹⁰⁹Pd, ¹¹¹Ag, ¹³¹I, ¹⁸⁶Re;

бета-излучатели с относительно большим пробегом частиц (в среднем ≥1 мм): ³²P, ⁹⁰Y, ¹⁸⁸Re;

радионуклиды, распадающиеся электронным захватом (ЭЗ) или внутренней конверсией: ⁷¹Ge, ¹⁰³Pd, ¹¹⁹Sb, ¹³¹Cs, ¹⁹⁷Hg.

Перспективными для радиотерапии считаются α-излучатели из-за более высокого значения ЛПЭ по сравнению с "мягкими" β-излучателями.

В качестве примера следует привести генераторную пару: Актиний-225/Висмут-213 с их ядерно-физическими свойствами, которые отвечают требованиям, предъявляемым к РН в радиотерапии.

^{225}Ac , $T_{1/2}=10,0$ сут; α (100%); основные α -частицы с энергией $E\alpha=5830,02$ кэВ (50,72%); 5792,52 (18,12%); 5790,62 (8,60%); 5732,02 (8,00%); γ -кванты с энергией $E\gamma=62,95$ кэВ (0,45%); 99,64 кэВ (0,62%); 99,92 кэВ (1,01%); 150,04 кэВ (0,80%).

^{225}Ac , распадаясь, служит источником для получения относительно короткоживущего ^{213}Bi , который также "работает" как терапевтический нуклид и усиливает воздействие на опухоли одновременно с материнским ^{225}Ac .

^{213}Bi , $T_{1/2}=45,59$ мин; β - (97,91%), α (2,09%); основные γ -кванты с $E\gamma=292,8$ кэВ (0,43%); 440,46 кэВ (26,10%); макс. $E\beta=1422$ кэВ. $E\alpha=5869,10$.

Существует несколько способов получения ^{225}Ac при облучении мишеней Th, U и Ra заряженными частицами, преимущественно протонами. Было показано, что в реакции $^{226}\text{Ra}(p,2n)$ при облучении 1 г радия в течение дня можно получить кюриевые количества ^{225}Ac .

Другой способ - генераторное получение ^{225}Ac из ^{229}Th ($T_{1/2}=7340$ лет) используется относительно редко только из-за ограниченной доступности тория-229. Из 1 мКи ^{229}Th при распаде в течение 30 суток образуется 0,74 мКи ^{225}Ra и 0,53 мКи ^{225}Ac . Кроме этого еще через 15 дней в препарате ^{225}Ra накапливается дополнительно 0,32 мКи ^{225}Ac . Кинетика накопления этих двух изотопов в первоначально очищенном от них ^{229}Th описывается уравнениями:

$$ARa = ATh[\exp(-2,59 \cdot 10^{-7}t) - \exp(-4,68 \cdot 10^{-2}t)],$$

$$AAc = ATh[\exp(-2,59 \cdot 10^{-7}t) - 3,09\exp(-4,68 \cdot 10^{-2}t)] + 2,08\exp(-6,93 \cdot 10^{-2}t),$$

где A - активность нуклида, t-время (сут).

Важнейшим требованием к генераторной системе $^{229}\text{Th}/^{225}\text{Ra}/^{225}\text{Ac}$ считается воспроизводимость параметров работы генератора при многократном периодическом повторении выделения дочерних продуктов. Наиболее предпочтительны в этом случае оказываются методы ионообменной и экстракционной хроматографии, а осаждение и жидкостная экстракция используются преимущественно для отделения основной массы Th (несколько граммов). Экспериментальные результаты показали, что различие коэффициентов распределения Th и Ac при соответствующей кислотности промывного раствора ($\text{pH} \sim 2$) позволяет добиться практически полной очистки актиния от ^{229}Th (10-5) за один цикл разделения. В процессе работы такого жидкостного генератора было показано, что из 5 мг ^{229}Th можно ежемесячно получать около 700 мКи ^{225}Ac на протяжении неограниченного времени при потерях материнского изотопа менее 0,1%. Методика включает постоянное хранение материнского ^{229}Th в растворе, а не на сорбенте, что исключает радиолитическое разрушение последнего. Выделение накопившихся в растворе дочерних продуктов проводят однократным катионообменным разделением, не требующим никаких промежуточных операций с Th-содержащим раствором и исключающим его потери. Все эти преимущества важны для генератора, поскольку он предназначен для длительного использования