

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение

высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЯТШ

\_\_\_\_\_ О.Ю. Долматов  
« \_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**В.А. Карелин**

**ВЫДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПА ТОРИЯ  $Ux_1$  И ЕГО ИДЕНТИФИКАЦИЯ  
ПО ПЕРИОДУ ПОЛУРАСПАДА**

Учебное пособие по учебной дисциплине «Радиохимия»  
для студентов IV курса, обучающихся по направлению 18.05.02  
«Химическая технология материалов  
современной энергетики»

Издательство  
Томского политехнического университета  
2021

УДК 543.52:546.791

ББК 00000

А00

**Карелин В.А.**

А00 Выделение изотопа тория  $Ux_1$  и его идентификация по периоду полураспада. Описание лабораторной работы по Радиохимии для студентов IV курса, обучающихся по направлению 18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики» / В.А. Карелин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2021. – 43 с.

**УДК 543.52:546.791**

**ББК 00000**

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано  
к изданию методическим семинаром отделения  
ядерно-топливного цикла ИЯТШ  
«\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2021 г.

Руководитель отделения на правах кафедры  
доктор технических наук, доцент

\_\_\_\_\_ *А.Г. Горюнов*

© ФГАОУ  
ВПО НИ  
ТПУ, 2021  
© Карелин  
В.А., 2021

## Содержание

Введение .....	4
1 Физико-химические особенности процесса отделения U от Th .....	5
1.1 Семейства радиоактивных изотопов $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ и $^{235}\text{U}$ .....	6
1.2 Зависимости образования дочерних изотопов в процессе распада радиоактивных элементов .....	11
1.3 Вычисление периода времени, при котором происходит образование максимального количества радиоактивного продукта деления .....	15
1.4 Условия равновесия в системе, когда период полураспада продукта значительно меньше периода полураспада исходного вещества .....	16
1.5 Условия равновесия в системе, когда период полураспада продукта сопоставим с периодом полураспада исходного вещества .....	17
1.6 Условия равновесия в системе, когда период полураспада продукта больше или равен периоду полураспада исходного вещества .....	19
1.7 Особенности радиоактивного распада в ряду, состоящих из $n$ разлагающихся взаимосвязанных радионуклидов .....	21
2 Выделение находящегося в радиоактивном равновесии с $^{238}\text{U}$ изотопа $^{234}\text{Th}$ из солей урана .....	23
3 Методика проведения исследований .....	25
3.1 Приборы и материалы .....	25
3.2 Стеклоанное оборудование .....	26
3.3 Химические препараты .....	26
3.4 Радиоактивные препараты .....	26
3.5 Последовательность выполнения исследований .....	27
4 Вопросы (для самоконтроля) .....	29
Список литературы .....	31

## **Введение**

Создание промышленных предприятий по переработке облученного ядерного топлива в России создает необходимость интенсификации исследований процессов, связанных с переработкой многокомпонентных систем. Для решения таких задач необходимо более детальное изучение процессов выделения очень малых (так называемых «радиохимических») количеств радиоактивных веществ в присутствии макрокомпонентов, имеющих на несколько порядков меньший радиоактивный фон и находящихся в непропорционально больших количествах по сравнению с целевым (выделяемым) элементом. Поэтому в учебных заведениях проведение цикла лабораторных работ по исследованию вышеуказанных процессов становится актуальной задачей.

Лабораторные работы, представленные в предлагаемом читателю учебном пособии, позволяют получить представление об основных положениях разделения и исследования свойств урана, тория и других радиоактивных элементов их методов разделения при проведении исследований.

Для освоения методов радиохимии в химических исследованиях могут быть использованы и другие практические работы, уже опубликованные в учебных пособиях и монографиях.

Однако автор считает, основываясь на многолетнем опыте, что химику предлагаемые работы более удобны в освоении современной аппаратуры, предназначенной для изучения свойств радиоактивных элементов и ознакомления с наиболее часто встречающимися практическими приемами работы с радиоактивными веществами.

Все работы посвящены методам выделения, разделения и исследования свойств радиоактивных элементов, и, в первую очередь, методам разделения урана и тория – двух целевых компонентов, наиболее часто встречающихся в радиоактивных природных рудах, а также концентратах.

Для получения студентом целостного представления о методах радиохимии в лабораторном практикуме представлены лабораторные работы по осадительному, сорбционному (ионообменному) и экстракционному методам разделения элементов. Поскольку в современной практике экстракционный метод вытеснив все остальные, этому методу посвящено несколько лабораторных работ с применением как нейтрального (трибутилфосфат, ТБФ), так анионообменного (триоктиламин) экстрагентов.

Для получения более полного представления о свойствах не только тяжелых радиоактивных элементов, в лабораторном практикуме представлена работа по исследованию свойств изотопов методом  $\gamma$ -спектрометрии где в качестве источника излучения выбран изотоп  $^{60}\text{Co}$ .

## **1. Физико-химические особенности процесса отделения U от Th**

Радиоактивные свойства минералов а также элементов, входящих в их состав, космическое излучение и активность, исходящая от техногенных объектов определяют уровень содержания радиоактивных компонентов в земной коре. В состав этих элементов входят изотопы тория и урана, которые в периодической системе элементов Д.И. Менделеева находятся в группе актинидов. Уран и торий за счет процесса радиоактивного распада образуют несколько радиоактивных семейств. В результате их деления получают элементы, имеющие среднюю массу и очень большие периоды полураспада.

Радиоактивные элементы, обладающие большим периодом полураспада  $^{238}\text{U}$  ( $T_{1/2} = 4,51 \cdot 10^9$  лет),  $^{235}\text{U}$  ( $T_{1/2} = 7,13 \cdot 10^8$  лет), и  $^{232}\text{Th}$  ( $T_{1/2} = 1,39 \cdot 10^{10}$  лет) являются родоначальниками трех радиоактивных семейств, которые находятся в земной коре, а также являются «строительным материалом» спутников Земли и планет солнечной системы.

Наиболее часто встречающиеся радионуклиды, которые не находятся в вышеописанных радиоактивных семействах, но обладающие значительными величинами периода полураспада приведены в табл. 1.

Таблица 1. Наиболее часто встречающиеся радионуклиды, которые не находятся в радиоактивных семействах урана, тория, актиноурана

Наименование изотопа	Характеристика распада	$T_{1/2}$ , лет	Содержание изотопа в природе, %
Калий-40	$\beta$ , Э.З.*, Э.З.	$1,27 \cdot 10^9$	0,012
Ванадий-50	$\beta$ , Э.З.	$6 \cdot 10^{15}$	0,24
Рубидий-87	$\beta$	$5,7 \cdot 10^{10}$	27,8
Индий-115п	$\beta$	$5 \cdot 10^{14}$	95,7
Теллур-123	Э.З.	$1,2 \cdot 10^{13}$	0,87
Лантан-138	Э.З., $\beta$	$1,1 \cdot 10^{11}$	0,089
Церий-142	$\alpha$	$\sim 5 \cdot 10^{15}$	11,07
Неодим-144	$\alpha$	$2,4 \cdot 10^{15}$	23,85
Самарий-147	$\alpha$	$1,1 \cdot 10^{11}$	14,97
Гадолиний-152	$\alpha$	$1,1 \cdot 10^{14}$	0,20
Лютеций-176	$\beta$	$3 \cdot 10^{10}$	2,59
Гафний-174	$\alpha$	$2 \cdot 10^{15}$	0,18
Рений-187	$\beta$	$6 \cdot 10^{10}$	62,9
Платина-190	$\alpha$	$7 \cdot 10^{11}$	0,013

\* Э.З. – взаимодействие (захват) электрона, находящегося на орбитали, ядром атома – электронный захват

Среди радиоактивных семейств наиболее часто встречающиеся – семейства урана и тория, в которых образуются такие продукты деления (ПД), как Ra, Ra, Po, а также изотоп калия  $^{40}\text{K}$ .

### 1.1. Семейства радиоактивных изотопов $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ и $^{235}\text{U}$

Радиоактивностью обладают элементы, заряд ядра (атомный номер) которых больше 83 ( $^{234}\text{Bi}_{83}$ ). Изотопы этих элементов

образуют радиоактивные семейства и являются «строительным материалом» для получения более легких элементов. Таким образом, изотопы радиоактивных элементов, входящие в общую цепь радиоактивных превращений составляют **радиоактивное семейство**, или **радиоактивный ряд**.

Семейство  $^{238}\text{U}$  ( $4n+2$ ) является наиболее широко распространенным. В нем исходный изотоп урана-238 за счет 8-ми  $\alpha$ -распадов и 6-ти  $\beta$ -распадов превращается в стабильный изотоп свинец-206 (радий-G). Данное радиоактивное семейство за счет наличия в нем целого ряда радиоактивных изотопов **называется семейством (рядом) урана**. Поскольку этот ряд включает изотоп Ra и продукты его деления, то этот ряд называют **семейством радия**.

Если масса изотопа уменьшается на четыре атомных единицы массы (а.е.м), то происходит  $\alpha$ -распад. Если масса изотопа не изменяется, а возрастает заряд ядра, то мы имеем дело с  $\beta$ -распадом.

По этой причине массу изотопов **семейства урана** находят используя выражение  $4n+2$ , где  $n$  – целое число. **Семейство урана** в литературе получило широко распространенное название **( $4n+2$ )-семейство**. На рис. 1 показаны элементы, образующиеся при протекании радиоактивных превращений в **семействе урана**.

Еще одно широко распространенное радиоактивное семейство – семейство тория или **( $4n$ )-семейство**. В нем исходный изотоп тория-232 в результате ряда радиоактивных превращений переходит в стабильный изотоп свинец-208. На рис. 2 представлено радиоактивное тория-232.

В природном уране имеется еще один изотоп – уран-235 (актино-уран, AcU), который образует ( $4n+3$ )-семейство, схема распада которого приведена на рис. 3. Конечным продуктом распада в этом семействе является стабильный изотоп – свинец-207.

$^{238}\text{U}_{92}$	$^{238}\text{U}, \text{U}_I$ (уран – I) $4,51 \cdot 10^9$ лет		$^{234}\text{U}, \text{U}_{II}$ (уран – II) $2,48 \cdot 10^5$ лет				
$^{231}\text{Pa}_{91}$	$\alpha$ $\beta$	$^{234}\text{Pa}, \text{UX}_2$ 1,18 мин $^{234}\text{Pa}, \text{UZ}$ 6,7 час	$\beta$ (99,85%) $\beta$ ИТ (0,15%) $\alpha$				
$^{232}\text{Th}_{90}$	$^{234}\text{Th}, \text{UX}_1$ (уран – XI) 24,1 дня		$^{230}\text{Th}, \text{Io}$ (ионий) $7,52 \cdot 10^4$ лет				
$^{227}\text{Ac}_{89}$			$\alpha$				
$^{226}\text{Ra}_{88}$			$^{226}\text{Ra}, \text{Ra}$ (радий) 1622 лет				
$^{223}\text{Fr}_{87}$			$\alpha$				
$^{222}\text{Rn}_{86}$			$^{222}\text{Rn}, \text{Rn}$ (радон) 3,825 дня				
$^{219}\text{At}_{85}$			$\alpha$	$^{219}\text{At}$ 1,3 с			
$^{218}\text{Po}_{84}$			$^{218}\text{Po}, \text{RaA}$ (радий–А) 3,05 мин	$\alpha$ 0,02 %	$^{214}\text{Po}, \text{RaC}'$ (радий–С') $1,6 \cdot 10^{-4}$ с	$^{210}\text{Po}, \text{RaF}$ (полоний) 138,8 дня	
$^{214}\text{Bi}_{83}$			$\alpha$ 99,98 % $\beta$	$^{214}\text{Bi}, \text{RaC}$ (радий–С) 19,7 мин	$\beta$	$^{210}\text{Bi}, \text{RaE}$ (радий–Е) 5,01 дня	$\alpha$
$^{214}\text{Pb}_{82}$			$^{214}\text{Pb}, \text{RaB}$ (радий–В) 26,8 мин	$\alpha$ (0,04 %)	$^{210}\text{Pb}, \text{RaD}$ (радий–D) 22 года	$\alpha$ ( $5 \cdot 10^{-5}$ %)	$^{206}\text{Pb}, \text{RaG}$ (радий–G) стабильный изотоп свинца
$^{210}\text{Tl}_{81}$			$^{210}\text{Tl}, \text{RaC}''$ (радий–С'') 1,32 мин	$\beta$	$\alpha$ ( $1,8 \cdot 10^{-4}$ %)	$^{206}\text{Tl}, \text{RaE}''$ (радий–Е'') 4,3 мин	
$^{206}\text{Hg}_{80}$					$\beta$	$^{206}\text{Hg}$ 8,5 мин	

Рис. 1. Семейство  $^{238}\text{U}$  ( $4n+2$ )



$^{232}\text{Th}_{90}$	$^{232}\text{Th}$ , Th (торий) $1,39 \cdot 10^{10}$ лет		$^{228}\text{Th}$ , RdTh (радиоторий) 1,90 лет		
$^{228}\text{Ac}_{89}$	$\downarrow \alpha$	$^{228}\text{Ac}$ , MsTh <sub>2</sub> (мезаторий-2) 6,13 час	$\downarrow \alpha$		
$^{228}\text{Ra}_{88}$	$^{228}\text{Ra}$ , MsTh <sub>1</sub> (мезаторий-1) 6,7 лет	$\nearrow \beta$	$^{224}\text{Ra}$ , ThX (торий-X) 3,64 дня		
$^{223}\text{Fr}_{87}$			$\downarrow \alpha$		
$^{220}\text{Rn}_{86}$			$^{220}\text{Rn}$ , Tn (торон) 54,5 с		
$^{210}\text{At}_{85}$			$\downarrow \alpha$		
$^{209}\text{Po}_{84}$			$^{216}\text{Po}$ , ThA (торий-A) 0,158 с		$^{212}\text{Po}$ , ThC' (торий-C') $3,0 \cdot 10^{-7}$ с
$^{209}\text{Bi}_{83}$			$\downarrow \alpha$ (~100 %)	$^{212}\text{Bi}$ , ThC (торий-C) 60,6 мин	$\downarrow \alpha$ (66,3 %)
$^{207}\text{Pb}_{82}$			$\nearrow \beta$	$\downarrow \alpha$ (33,7 %)	$^{208}\text{Pb}$ , ThD (стабильный изотоп свинца)
$^{204}\text{Tl}_{81}$				$^{208}\text{Tl}$ , ThC'' (торий-C'') 3,1 мин	$\nearrow \beta$

Рис. 2. Семейство  $^{232}\text{Th}$  (4n)

В вышеописанных радиоактивных семействах имеются разветвления, т.е. один и тот же продукт распада можно синтезировать двумя различными способами. Число разветвлений возрастает при увеличении количества методов определения излучений низкой интенсивности.

$^{235}\text{U}_{92}$	$^{235}\text{U}$ , AcU (актиноуран) $7,13 \cdot 10^8$ лет				
$^{231}\text{Pa}_{91}$	$\alpha$	$^{231}\text{Pa}$ , Pa (протактиний) $3,48 \cdot 10^4$ лет			
$^{232}\text{Th}_{90}$	$^{232}\text{Th}$ , UY (уран–Y) 25,6 час	$\beta$	$\alpha$	$^{227}\text{Th}$ , RdAc (радиоактиний) 18,17 дня	
$^{227}\text{Ac}_{89}$		$^{227}\text{Ac}$ , Ac (актиний) 22,0 лет	$\beta$	$\alpha$ (98,8 %)	
$^{226}\text{Ra}_{88}$		$\alpha$ (1,2 %)		$^{223}\text{Ra}$ , AcX (актиний–X) 11,7 дня	
$^{223}\text{Fr}_{87}$		$^{223}\text{Fr}$ , AcK (актиний–K) 22 мин	$\alpha$		
$^{222}\text{Rn}_{86}$		$\alpha$ ( $4 \cdot 10^{-3}$ %)		$^{219}\text{Rn}$ , An (актинон) 3,92 с	
$^{210}\text{At}_{86}$		$^{219}\text{At}$ 0,9 мин	$\beta$	$\alpha$ (3 %)	$^{215}\text{At}$ $10^{-4}$ с
$^{209}\text{Po}_{84}$		$\alpha$ (97 %)		$^{215}\text{Po}$ , AcA (актиний–A) $1,83 \cdot 10^{-3}$ с	$\beta$
$^{209}\text{Bi}_{83}$		$^{215}\text{Bi}$ 8 мин	$\beta$	$\alpha$ (~100 %)	$^{211}\text{Po}$ , AcC/ (актиний–C') 0,52 с
$^{207}\text{Pb}_{82}$			$\beta$	$^{211}\text{Bi}$ , AcC (актиний–C) 2,15 мин	$\alpha$ (0,32 %)
$^{204}\text{Tl}_{81}$				$^{211}\text{Pb}$ , AcB (актиний–B) 36,1 мин	$\beta$
				$\alpha$	$^{207}\text{Pb}$ , AcD (стабильный изотоп свинца)
				$^{207}\text{Tl}$ , AcC' (актиний–C'') 4,79 мин	$\beta$

Рис. 3. Семейство  $^{235}\text{U}$  ( $4n+3$ )

Количество разветвлений будет возрастать по мере создания более совершенной и чувствительной аппаратуры, с помощью которой можно измерять излучения, обладающие низкой интенсивностью. Так, изотоп  $^{219}\text{At}$  (астат), синтезирующийся в радиоактивном семействе  $^{235}\text{U}$  в количестве  $5 \cdot 10^{-3} \%$ , найден гораздо позднее других изотопов, образующихся в этом радиоактивном семействе. Поэтому в процессе модернизации измерительных устройств при более подробном исследовании радиоактивного семейства возможно обнаружение новых изотопов в данном ряду.

В процессе изучения радиоактивных веществ в 1910 г. Английским радиохимиком Ф. Содди показано, что разные радиоактивные элементы, имеющие различные массы атомов могут обладать одинаковыми химическими свойствами. Так были открыты **изотопы, представляющие собой различные виды одного элемента, но различающиеся массами.** При этом сам термин изотоп уже использовался, например для обозначения изотопов  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  и др.

Каждое из трех рассмотренных радиоактивных семейств содержит элемент, имеющий заряд ядра, равный 86, который получил название радон Rn или эманация. Из-за того, что Rn при нормальных условиях является газом, то продукты его распада (дочерние вещества) в рассмотренных радиоактивных семействах отделить от более тяжелых элементов, находящихся в головной части ряда, не представляет сложности. Продукты радиоактивного распада обычно называют радиоактивными осадками. Такие осадки легко собрать на поверхности твердого вещества, а наиболее просто их осадить на электроде, имеющем отрицательный заряд.

## **1.2. Зависимости образования дочерних изотопов в процессе распада радиоактивных элементов**

Процессы деления радиоактивных изотопов, составляющих радиоактивные семейства, приводят к

возрастанию и уменьшению количества получающихся дочерних элементов. Так, в процессе деления Ra получается He и продукт деления, обладающий радиоактивным излучением – Ra (эманация), или Rn.

При проведении исследований показано, что He сначала выделяется с высокой интенсивностью, но через месяц скорость его выделения падает и его количество становится полностью зависит от времени процесса. Масса выделяющегося Rn в начале проведения процесса быстро возрастает и доходит до предельного уровня. В связи с тем, что основной источник синтеза **Rn – Ra**, то эти элементы **будут находиться в радиоактивном равновесии**. Однако данное равновесие не является термодинамическим, поэтому устанавливается равновесие обладающее специфическими свойствами. Установление равновесия говорит о том, что скорость образования атомов Rn равна скорости его распада и скорости образования нового продукта деления –  $^{218}\text{Po}$ .

Выведена зависимость, с помощью которой можно определить массу продукта деления, получающегося из исходного элемента в любой момент времени, наступивший после начала распада исходного элемента.

Пусть в начальный момент происходит процесс деления атомов только одного изотопа. Обозначим  $N_1$  – количество атомов этого изотопа;  $N_2$  – количество атомов образующегося элемента в период времени  $t$ ;  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – постоянные радиоактивного распада исходного и конечного элементов.

Скорость распада исходного изотопа можно определить по уравнению:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 \cdot N_1. \quad (1)$$

После преобразований получим:

$$N_1 = -N_{1,0} \cdot e^{-\lambda_1 t}, \quad (2)$$

где  $N_{1,0}$  – количество атомов исходного изотопа в начальный момент времени.

Аналогично вычислим количество атомов образующегося элемента:

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 \cdot N_1 - \lambda_2 \cdot N_2. \quad (3)$$

где  $\lambda_1 \cdot N_1$  – скорость образования атомов образующегося элемента из исходного и  $\lambda_2 \cdot N_2$  – скорость распада образующегося элемента.

Следовательно

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 \cdot N_{1,0} \cdot e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 \cdot N_2. \quad (4)$$

Полученная зависимость (1.4) носит название уравнения Лейбница. После преобразований этого уравнения получим:

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 \cdot N_2 = \lambda_1 \cdot N_{1,0} \cdot e^{-\lambda_1 t} \quad (5)$$

и временно приравняем его левую часть нулю:

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 \cdot N_2 = 0. \quad (6)$$

Разделим переменные:

$$\frac{dN_2}{N_2} = -\lambda_2 dt, \quad (7)$$

затем решив дифференциальное уравнение (1.7) получим:

$$\ln N_2 = -\lambda \cdot t + \ln E \quad \text{или} \quad N_2 = E \cdot e^{-\lambda_2 t}, \quad (8)$$

где  $K$  – постоянная, полученная в результате решения уравнения (1.7). Поскольку правая часть решаемого уравнения не равна нулю, а зависит от  $t$ , то постоянная  $K$  будет также зависеть от  $t$ .

После дифференцирования выражения (1.8) по  $t$  зависимость примет вид:

$$\frac{dN_2}{dt} = -\lambda_2 \cdot E \cdot e^{-\lambda_2 t} + e^{-\lambda_2 t} \cdot \frac{dE}{dt}. \quad (9)$$

После внесения величин, полученных при решении уравнений (1.8) и (1.9) в зависимость (1.4) будем иметь:

$$-\lambda_2 \cdot E \cdot e^{-\lambda_2 t} + e^{-\lambda_2 t} \cdot \frac{dE}{dt} + \lambda_2 \cdot E \cdot e^{-\lambda_2 t} = \lambda_1 \cdot N_{1,0} \cdot e^{-\lambda t}, \quad (10)$$

сократив соответствующие величины в левой и правой частях этого уравнения, получим:

$$e^{-\lambda_2 t} \cdot \frac{dE}{dt} = \lambda_1 \cdot N_{1,0} \cdot e^{-\lambda t}, \quad (11)$$

или

$$\frac{dE}{dt} = \lambda_1 \cdot N_{1,0} \cdot e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}, \quad (12)$$

тогда

$$dE = \lambda_1 \cdot N_{1,0} \cdot e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} dt, \quad (13)$$

После интегрирования зависимость (13) примет вид:

$$E = \frac{\lambda_1 \cdot N_{1,0} \cdot e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}}{\lambda_2 - \lambda_1} + \text{const}, \quad (14)$$

По вычисленному значению E, являющемуся функцией от времени, определим количество продукта деления:

$$N_2 = \frac{\lambda_1 \cdot N_{1,0} \cdot e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot e^{-\lambda_2 t} + \text{const} \cdot e^{-\lambda_2 t}, \quad (15)$$

или

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot N_{1,0} \cdot e^{-\lambda_1 t} + \text{const} \cdot e^{-\lambda_2 t}, \quad (16)$$

В начальный момент при  $t = 0$  и  $N_2 = 0$  вычислим постоянную интегрирования. Следовательно,

$$\text{const} = -\frac{\lambda_1 \cdot N_{1,0}}{\lambda_2 - \lambda_1}, \quad (17)$$

в результате

$$N_2 = \frac{\lambda_1 \cdot N_{1,0}}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}), \quad (18)$$

где  $N_2$  – количество атомов образующегося элемента, полученное к моменту времени  $t$ .

Пусть в начальный момент времени количество образующегося вещества составляло  $N_{2,0}$ , тогда зависимость (18) можно записать в более общем виде. При этом к моменту времени  $t$  останется количество образующегося вещества:

$$N_2 = N_{2,0} \cdot e^{-\lambda_2 t}.$$

Учитывая, что продукт деления образуется из исходного вещества, то суммарное количество продукта деления будет определяться уравнением:

$$N_2 = N_{2,0} \cdot e^{-\lambda_2 t} + \frac{\lambda_1 \cdot N_{1,0}}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}). \quad (19)$$

Правая часть уравнения (1.19) состоит из двух слагаемых. Первое слагаемое определяет процесс распада образующегося продукта деления за время  $t$ , если его количество в начале эксперимента не было равным нулю. С помощью второго слагаемого определяют количество продукта деления, полученного в процессе с одновременным распадом продукта деления к моменту времени  $t$  за счет распада исходного радиоактивного элемента.

### **1.3. Вычисление периода времени, при котором происходит образование максимального количества радиоактивного продукта деления**

Период времени, при котором максимальное количество продукта деления образуется из делящегося нуклида, определяют

используя зависимость роста количества продукта деления от времени:

$$N_2 = \frac{\lambda_1 \cdot N_{1,0}}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}).$$

Чтобы определить время, при котором величина  $N_2$  будет максимальной, вычислим производную  $dN_2/dt$ , предварительно приравняв ее значение к нулю:

$$\frac{dN_2}{dt} = \frac{\lambda_1 \cdot N_{1,0}}{\lambda_2 - \lambda_1} (-\lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}) = 0. \quad (20)$$

Из уравнения (1.20) получим:

$$\lambda_1 e^{-\lambda_1 t} = \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}. \quad (21)$$

Прологарифмировав выражения (1.21) будем иметь:

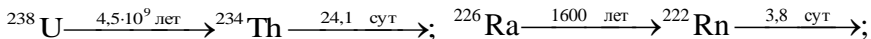
$$\ln \lambda_1 - \lambda_1 t = \ln \lambda_2 - \lambda_2 t, \quad (22)$$

тогда

$$t_{\max} = \frac{\ln \lambda_2 - \ln \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{\ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1}}{\lambda_2 - \lambda_1}. \quad (23)$$

#### 1.4. Условия равновесия в системе, когда период полураспада продукта значительно меньше периода полураспада исходного вещества

В этих условиях  $T_1 \gg T_2$  и, поэтому,  $\lambda_2 \gg \lambda_1$ . Такие требования выполняются в системе:



При этом зависимость роста количества продукта деления от времени при  $N_{2,0} = 0$ :

$$N_2 = \frac{\lambda_1 \cdot N_{1,0}}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}),$$

при больших значениях  $t$  принимает вид:



$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1 \quad \text{или} \quad N_1 \cdot \lambda_1 = N_2 \cdot \lambda_2. \quad (24)$$

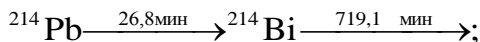
В нашем случае **и исходное вещество, и продукт распада будут находиться совместно, пока исходное вещество не распадется полностью.** Соотношение количеств этих веществ будет постоянным и будет обратно пропорционально отношению их радиоактивных постоянных:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \text{const},$$

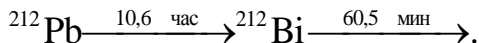
а активности (скорости распада) будут определяться соотношением (1.24). При выполнении этих условий возникает состояние **векового радиоактивного равновесия** (рис. 4). На практике это состояние образуется через 8-10 периодов полураспада вещества, имеющего короткий период полураспада.

### 1.5. Условия равновесия в системе, когда период полураспада продукта сопоставим с периодом полураспада исходного вещества

В этом случае  $T_1 > T_2$ , следовательно  $\lambda_2 > \lambda_1$ . Эти требования выполняются в системе



и

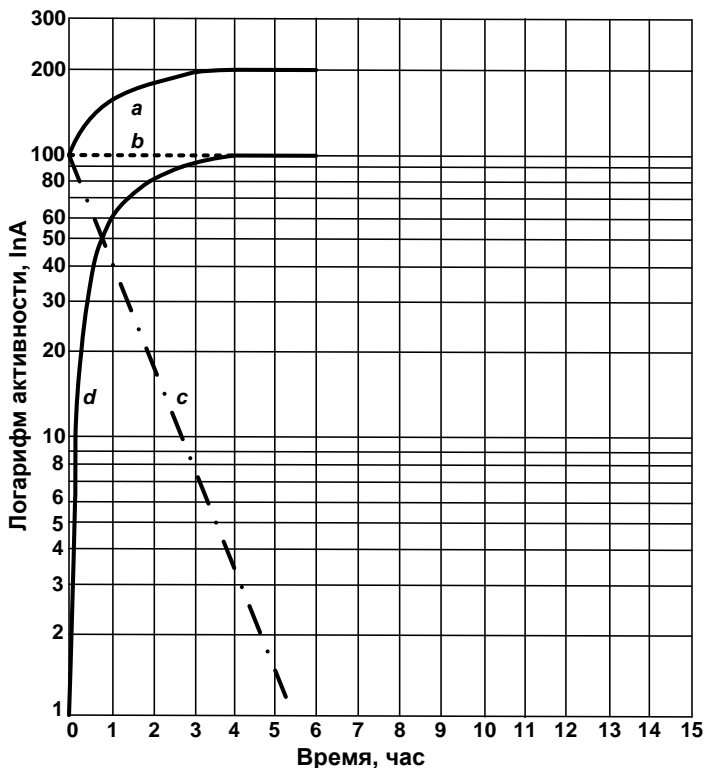


В соотношении, связывающем массу продукта деления с массой исходного вещества

$$N_2 = \frac{\lambda_1 \cdot N_{1,0}}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}),$$

по истечение продолжительного периода времени при  $e^{-\lambda_1 t} \gg e^{-\lambda_2 t}$  получим:

$$N_2 = \frac{\lambda_1 \cdot N_{1,0}}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t}. \quad (25)$$



*a* – общая активность образца; *b* – активность исходного вещества ( $T_{1/2} \sim \infty$ ); *c* – распад полученной изолированной дочерней фракции ( $T_{1/2} = 0,80$  час); *d* – увеличение активности полученного продукта деления в исходной фракции после очистки

Рис. 4. Состояние векового равновесия

Анализ уравнения (1.25) показывает, что **количество образующегося продукта деления полностью зависит от постоянной радиоактивного распада исходного вещества.**

Поскольку

$$N_1 = N_{1,0} e^{-\lambda_1 t}$$

то

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = \text{const} \quad \text{и} \quad N_2 = N_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}. \quad (26)$$

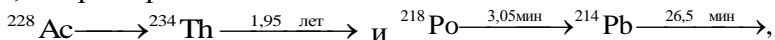
Таким образом, между продуктом деления и исходным веществом установится радиоактивное равновесие, при котором соотношение этих веществ будет оставаться постоянным, но их количества с течением времени будут уменьшаться в соответствии с законом распада исходного вещества.

Это состояние подвижного равновесия (рис. 5).

### 1.6. Условия равновесия в системе, когда период полураспада продукта больше или равен периоду полураспада исходного вещества

Это случай, когда равновесие отсутствует.

При этом  $T_1 < T_2$  (следовательно  $\lambda_1 > \lambda_2$ ), или  $T_1 \leq T_2$  (тогда  $\lambda_1 \geq \lambda_2$ ). Такая зависимость наблюдается, если имеется цепочка распада, например:



тогда, используя зависимость

$$N_2 = \frac{\lambda_1 \cdot N_{1,0}}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t})$$

получают, что количество получаемого продукта деления возрастает по мере течения процесса распада исходного вещества. На рис. 6 показано, что такая зависимость достигает максимума, и затем медленно убывает. По истечении сравнительно большого времени исследований получим:

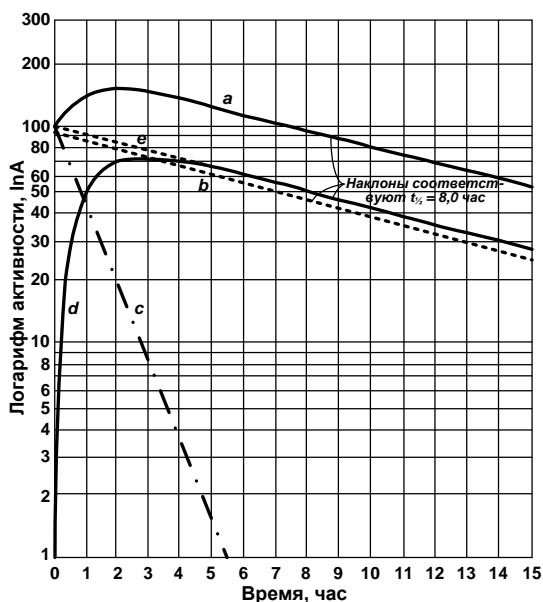
$$e^{-\lambda_1 t} \ll e^{-\lambda_2 t}.$$

Поэтому при  $\lambda_1 < \lambda_2$

$$N_2 = \frac{\lambda_1 \cdot N_{1,0}}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t}, \quad (27)$$

а при  $\lambda_1 \ll \lambda_2$

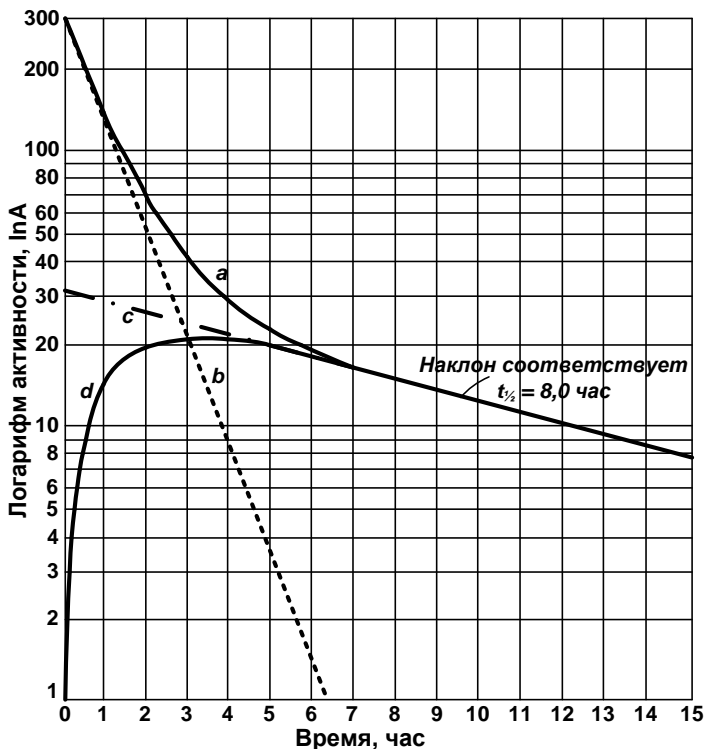
$$N_2 = \frac{\lambda_1 \cdot N_{1,0}}{\lambda_2} e^{-\lambda_2 t}, \quad (28)$$



*a* – общая активность образца; *b* – активность исходного радионуклида ( $T_{1/2}=8,0$  час); *c* – распад полученной изолированной дочерней фракции ( $T_{1/2}=0,8$  час); *d* – увеличение активности полученного продукта деления в исходной фракции после очистки; *e* – общая активность продукта деления вместе с исходным веществом и продуктом деления

Рис. 5. Состояние подвижного равновесия

Анализ уравнений (27) и (28) показывает, что количество образующегося продукта деления полностью зависит от  $\lambda_2$  ( $e^{-\lambda_2 t}$ ).

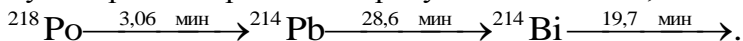


*a* – общая активность образца; *b* – активность исходного вещества ( $T_{1/2}=0,8$  час); *c* – завершающая часть графика распада (экстраполяция при  $t=0$ ); *d* – увеличение активности продукта деления в исходно веществе, не содержащем продуктов деления

Рис. 6. Состояние отсутствия равновесия

### 1.7. Особенности радиоактивного распада в ряду, состоящих из $n$ разлагающихся взаимосвязанных радионуклидов

Пусть процесс протекает в ряду из 3-х веществ, т.е.:



Скорость распада изотопа  $^{218}\text{Po}$  можно определить по дифференциальному уравнению:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$$

Зависимость изменения массы  $^{218}\text{Po}$  описывается соотношением:

$$N_1 = N_{1,0} \cdot e^{-\lambda_1 t},$$

для следующего изотопа в радиоактивном семействе –  $^{214}\text{Pb}$ , учитывая процессы его распада и накопления можно записать:

$$\frac{dN_2}{dt} = -\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2,$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1 \cdot N_{1,0}}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}),$$

$$N_2 = \lambda_1 \cdot N_{1,0} \left( \frac{e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_2 - \lambda_1} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_1 - \lambda_2} \right).$$

Для третьего изотопа –  $^{214}\text{Bi}$  можно записать следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3.$$

Полученная зависимость представляет собой выражение, относящееся к уравнениям Лейбница. В результате решения этого уравнения получим:

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_1 \lambda_2 N_{1,0} \left[ \frac{e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_3 - \lambda_2} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_1 - \lambda_2} \right] - \lambda_3 N_3.$$

$$N_3 = \lambda_1 \lambda_2 N_{1,0} \left[ \frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_3 - \lambda_1)(\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_1 - \lambda_2)} + \frac{e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_2 - \lambda_3)(\lambda_1 - \lambda_3)} \right].$$

Эти зависимости можно использовать для расчетов в радиоактивном семействе, состоящем из  $n$  радионуклидов:

$$\frac{dN_n}{dt} = \lambda_{n-1} N_{n-1} - \lambda_n N_n;$$

$$N_n = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1} N_{1,0} \left[ \frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} + \dots + \frac{e^{-\lambda_n t}}{(\lambda_1 - \lambda_n)(\lambda_2 - \lambda_n) \dots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)} \right].$$

Если  $\lambda_1 < \lambda_2, \lambda_1 < \lambda_3 \dots \lambda_1 < \lambda_n$  а, поэтому  $T_1 > T_2, T_1 > T_3, \dots T_1 > T_n$ , то при значительном промежутке времени  $t$  величина  $N_n$  будет определяться в основном только первым слагаемым, поэтому остальными членами последнего уравнения можно пренебречь. Количество образующегося продукта деления подчиняется закону радиоактивного распада, протекающего при распаде веществ, имеющих большой  $T_{1/2}$ . В результате такая зависимость будет выглядеть следующим образом:

$$N_n = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1} N_{1,0} \left[ \frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_1)} \right].$$

Поэтому соотношение масс исходного вещества и продукта деления не изменяется:

$$\frac{N_n}{N_1} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_2 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_1)} = \text{const.}$$

Если  $\lambda_1 \ll \lambda_2 \dots \lambda_n$  и значение постоянной величине радиоактивного распада исходного вещества  $\lambda_1$  этой величиной можно пренебречь, тогда:

$$\frac{N_n}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_n},$$

$$N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2 = N_3 \lambda_3 = \dots = N_n \lambda_n.$$

Таким образом получаем **кинетическое уравнение векового равновесия для определения количества исходных веществ и продуктов распада в радиоактивных семействах радионуклидов.**

## 2. Выделение находящегося в радиоактивном равновесии с $^{238}\text{U}$ изотопа $^{234}\text{Th}$ из солей урана

При проведении исследований необходимо отделить изотоп тория –  $^{234}\text{Th}_{90}$  (UX1) от соли урана и определить его период полураспада.

Период полураспада выделяемого изотопа  $^{234}\text{Th}$  (UX<sub>1</sub>) составляет 24,1 сут. Этот изотоп является продуктом распада  $^{238}\text{U}$

и находится с ним в состоянии радиоактивного равновесия. Изотоп  $^{234}\text{Th}_{90}$  обладает  $\beta$ -активностью,  $E_{\beta,\text{max}} = 0,19$  (65 %),  $0,10$  (35 %) МэВ. Поскольку  $^{234}\text{Th}_{90}$  входит в радиоактивное семейство урана, он вместе с остальными дочерними изотопами и исходным ураном создает естественный радиоактивный фон. В связи с тем, что уран в земной коре находится как в составе минералов, имеющих промышленное значение, но и во множестве месторождений полезных ископаемых в виде микропримеси, то значение радиоактивного семейства урана трудно переоценить.

Отделение и определение количества изотопа  $^{234}\text{Th}_{90}$  в радиоактивном ряду  $^{238}\text{U}_{92}$  из его соли –  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  – является **целью** предлагаемой к выполнению **работы**.

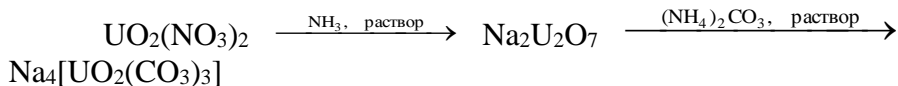
Для определения активности радионуклидов, в состав которых входит  $^{234}\text{Th}$  ( $\text{UX}_1$ ), измеряют активность образующегося из него компонента –  $^{234}\text{Pa}$  ( $\text{UX}_2$ ), который находится сразу за  $\text{UX}_1$  в радиоактивном семействе  $^{238}\text{U}$ . Радионуклид  $^{234}\text{Pa}$  ( $\text{UX}_2$ ) обладает  $\beta$ -активностью ( $T_{1/2}=1,18$  мин), максимальная энергия его  $\beta$ -частиц составляет  $E_{\beta,\text{max}} = 2,31$  (96 %) МэВ. Эта величина энергии больше, чем у  $^{234}\text{Th}$  ( $\text{UX}_1$ ).

Процесс отделения  $\text{UX}_1$  от урановых солей, которые перед этим должны храниться не менее 1 года, основывается на резком отличии химических свойств U и Th. Разделить их можно несколькими способами. Необходимо обратить внимание на то, что концентрация тория ничтожно мала по сравнению с концентрацией урана, т.е. торий является микропримесью. Количество тория можно вычислить используя вышеприведенные уравнения.

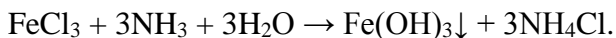
Процесс отделения  $^{234}\text{Th}$  от  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  в выполняемой работе проводят используя различия в их свойствах.

Для этого раствор карбоната натрия, находящийся в избытке, приливают к раствору  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ . В результате происходит образование осадка диураната натрия, который в процессе взаимодействия с избытком  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , образует растворимый комплекс – натрий уранил трикарбонат (НУТК):





Изотоп  $^{234}\text{Th}$  ( $\text{UX}_1$ ) при этом переходит в гидроксид  $\text{Th}(\text{OH})_4$ , который из-за низкой растворимости должен выпадать в осадок. В связи с тем, что его концентрация очень мала, он не выделяется в осадок. Для извлечения тория в осадок необходимо добавить в раствор вещество, концентрация которого должна быть гораздо больше концентрации  $\text{Th}(\text{OH})_4$ , которое должно находиться в виде нерастворимого соединения, например гидроксид железа. Чтобы образовалось это соединение, в исходный раствор добавляют соединение железа, имеющее хорошую растворимость. При взаимодействии с карбонатом натрия происходит образование труднорастворимого гидроксида железа:



На полученном осадке  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  происходит процесс сорбции изотопа тория  $^{234}\text{Th}$ .

В результате в процессе взаимодействия с избытком карбоната натрия происходит образование комплексного соединения  $\text{UO}_2(\text{CO}_3) \cdot 2\text{Na}_2\text{CO}_3$ , имеющего хорошую растворимость. Торий в этих условиях адсорбируется на образующемся осадке гидроксида железа и вместе с ним выпадает в осадок.

### 3. Методика проведения исследований

#### 3.1. Приборы и материалы:

- прибор со счетчиком для измерения  $\beta$ -излучения;
- устройство для измерения времени;
- бюретка с краном;
- нагреватель для сушки образцов;
- баня с водой для проведения процесса упаривания;
- для приготовления мишеней: фильтровальная бумага и калька;
- фильтрующий материал.

### **3.2. Стеклоянное оборудование:**

- колбы с делениями объемом 25 мл – 2 шт.;
- цилиндры с делениями объемом 10 мл;
- конические колбы со шлифом объемом 100 мл - 2 шт.;
- воронка для переливания растворов;
- устройство для промывки осадка с подкисленной водой;
- емкость для сбора радиоактивных отходов;
- пакет для сбора твердых радиоактивных отходов.

### **3.3. Химические препараты:**

растворы:

- натрия карбонат – 1,0 М раствор;
- аммония хлорид – 1 N раствор;
- железа (3+) хлорид – 0,5 N раствор;
- натрия гидроксид – 25 %-ный раствор;
- вода дистиллированная, с добавлением соляной

кислоты.

### **3.4. Радиоактивные препараты:**

Растворенные соли:

– 100 г/л и 10 г/л растворы  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ , приготовленный из уранилнитрата, срок хранения которого не менее 1 года.

На рабочем месте должен находиться уранил-нитрат в количестве, не превышающем 0,06 г, активность препарата не должна превышать 750 Бк.

При выполнении работы получают 3 образца:

1. Очищенный от урана  $^{234}\text{Th}$  ( $\text{UX}_1$ ).
2. Не содержащий на начальном этапе исследований  $\text{UX}_1$ .
3. Исходный U, находящийся в радиоактивном равновесии

с  $\text{UX}_1$ .

Образцы получают упариванием полученный растворов на мишенях из алюминиевой фольги. Объем растворов – 0,5 мл.

### 3.5. Последовательность выполнения исследований

В раствор уранил-нитрата с концентрацией 100 г/л объемом 2,5 мл, который отбирают с помощью микробюретки переносят в колбу объемом 25 мл, приливают 8-10 мл (в избытке) раствор карбоната натрия с концентрацией 1 М и растворяют первоначально образовавшийся осадок диураната натрия. В полученный раствор добавляют 2,5 мл хлорида железа (3+) с концентрацией 0,5 N, 2,5 мл раствора хлорида натрия с концентрацией 1,0 N, 1 мл раствора аммиака концентрированного. Полученный в колбе раствор нагревают используя водяную баню для того, чтобы провести процесс коагуляции осадка гидроксида железа (3+), в котором будет находиться изотоп торий-234 ( $UX_1$ ).

Раствор с колбой охлаждают и разбавляют дистиллированной водой до метки, тщательно перемешивают и закрывают пробкой. Содержимое колбы вместе с осадком фильтруют используя воронку с фильтром. Из полученного фильтрата приготавливают образец № 2.

Полученный на фильтре осадок промывают раствором гидроксида и хлорида аммония в объеме 25-30 мл. Для определения полноты отмывки осадка от урана полученный фильтрат взаимодействуют с желтой кровяной солью  $K_4Fe(CN)_6$  проводя качественную реакцию. Для этого 1 мл исследуемого раствора наливают в стаканчик объемом 50 мл, приливают 1 мл раствора  $HCl$  с концентрацией 0,01 N и проводят взаимодействие с 1 мл желтой кровяной соли. В присутствии урана промывной раствор после окрашивается в бурый цвет. Промывку продолжают до тех пор, пока проба промывной воды не будет окрашиваться в бурый цвет.

К полученному после промывки осадку добавляют 7-10 мл  $HCl$  с концентрацией 10 %, фильтр ополаскивают дистиллированной водой, а образовавшийся раствор собирают в мерной колбе объемом 25 мл. К раствору в колбе приливают дистиллированную воду до метки. Приготовленный раствор

многократно перемешивают, закрывают пробкой и приготавливают из него образец № 1.

Растворы, оставшиеся после приготовления образцов № 1 и № 2, удаляют в емкость для использованных радиоактивных растворов, использованную посуду промывают подкисленной водой и хранят в специальном поддоне.

Для приготовления образца № 3 используют раствор с концентрацией уранил-нитрата, равной 10 г/л. 0,5 мл этого раствора помещают на алюминиевую фольгу и упаривают на плитке.

Полученные образцы № 1, 2 и 3 заворачивают в кальку и измеряют их активность используя счетчик Гейгера-Мюллера через несколько равных промежутков времени. Хранят образцы во время между измерениями в специальных свинцовых контейнерах.

Продолжительность измерений составляет 1 месяц с периодичностью 4-5 дней. Перед проведением измерений определяют фон в течение 5 минут, затем измеряют активность образцов № 1 и № 3 (точность измерений 3 %). Образец № 2 измеряют также в течение 5 минут.

В табл. 2 записывают результаты измерений.

Таблица 2. Результаты измерений количества импульсов образцов

№	Время измерения	Значение фона, имп/мин	Активность образца (средняя величина), с учетом фона фон, имп/мин		
			1	2	3

Строят графические зависимости, используя определенные активности образцов № 1, 2 и 3 во времени.

Для образца №1 получают полулогарифмическую зависимость  $\ln A_{\text{изп}} - f(t)$ , а для образцов № 2 и 3 строят зависимости в координатах активность–время  $A_{\text{изп}} - f(t)$ .

Используя полученные зависимости графически определяют период полураспада  $UX_1$ .

Значения периода полураспада, полученное при проведении измерений, сравнивают с табличным значением. Изучая форму построенных зависимостей делают вывод о степени разделения тория и урана.

#### **4. Вопросы (для самоконтроля)**

1. Закон радиоактивного распада, радиоактивная постоянная, период полураспада. Доказательство статистического характера закона радиоактивных превращений. Графическая интерпретация закона.

2. Понятие активности и единицы ее измерения.

3. Определение массы радионуклида используя результаты измерения активности и определение активности радионуклида по его массе.

4. Накопление образующегося радионуклида из исходного. Уравнение, описывающее процесс.

5. Понятие и виды радиоактивного равновесия. Вывод зависимостей и графическое представление. Примеры. Время максимального накопления.

6. Расчет количества образующегося (или исходного) нуклида по заданной активности исходного (или образующегося).

7. Радиоактивные ряды. Равновесие в рядах. Понятие эманации.

8. Цель выполнения работы.

9. Химические особенности процессов, протекающих при выполнении работы.

10. Зачем в исходный раствор добавляют хлорид железа?

11. Перечислите радиоактивные нуклиды, присутствующие в исходном растворе.

12. Методика расчета концентраций  $UX_1$  и  $UX_2$  в полученных растворах?

13. Из каких компонентов состоят образцы 1, 2, 3 в момент их измерения?

14. На какой установке измеряют активность образцов?

15. Какой метод используют для расчета периода полураспада в настоящей работе?

### **Охрана труда при выполнении работы "Выделение изотопа тория $Ux_1$ и его идентификации по периоду полураспада"**

В процессе выполнения работы имеют место операции осаждения радиоактивных веществ, разделения твердой фазы и маточного раствора фильтрованием, промывания осадка на фильтре и его растворения. Из исходного раствора, раствора после осаждения (фильтрата) и раствора после растворения осадка готовят радиоактивные образцы. Все операции выполняют на поддоне.

Необходимо соблюдать осторожность при выполнении всех операций с радиоактивными растворами, не допускать их разлива и попадания их на руки и одежду.

В случае попадания радиоактивного раствора на руки, одежду и т.п. необходимо сообщить об этом лаборанту или преподавателю и далее действовать в соответствии с имеющейся инструкцией.

Приготовленные образцы следует сушить в вытяжном шкафу под лампой.

Нельзя использованные радиоактивные растворы и растворы после дезактивации сливать в общую канализацию.

Жидкие и твердые отходы, в том числе приготовленные образцы, по окончании работы сдают лаборанту.

Проверяют чистоту рук и одежды на дозиметрическом приборе.

### **Список литературы**

1. Жерин И.И., Амелина Г.Н. Основы радиохимии, методы выделения и разделения радиоактивных элементов: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 196 с.

2. Практические работы по курсу «Основы радиохимии и радиоэкологии» / Под ред. М.И. Афанасова. – М.: Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2006. – 80 с.

3. Радиоактивные индикаторы в химии. Основы метода. Под ред. В.Б. Лукьянова. – М.: Высшая школа, 1985.

4. Мухин К.Н. Введение в ядерную физику. – М.: Атомиздат, 1965.

5. Краткий курс радиохимии. / Под ред. А.В. Николаева. – М.: Высшая школа, 1969.

6. Лабораторные работы по радиохимии. / Под ред. И.А. Коршунова. – М.: Высшая школа, 1970. – 264 с.

7. Баранов В.И., Сердюкова А.С., Горбушина Л.В. Лабораторные работы и задачи по радиометрии. – М.: Атомиздат, 1964. – 308 с.

Учебное издание

КАРЕЛИН Владимир Александрович

**ВЫДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПА ТОРИЯ  $Ux_1$  И ЕГО  
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПО ПЕРИОДУ ПОЛУРАСПАДА**

Учебно-методическое пособие

Корректурa *Д.В. Заремба*  
Компьютерная верстка *О.Ю. Аршинова*  
Дизайн обложки *Т.В. Буланова*

Подписано к печати \_\_\_\_\_.  
Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать CANON. Усл. печ. л. \_\_\_\_\_. Уч.-изд. л. \_\_\_\_\_.  
Заказ xxx-19. Тираж \_\_\_ экз.



**Издательство**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ