

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н.И. Черкашина

**П Р А К Т И Ч Е С К И Е О С Н О В Ы
Р А Д И О Х И М И И.
Практическое руководство
по подготовке и проведению
радиохимического и радиометрического анализа**

Учебное пособие



Севастополь
СевГУ
2023

УДК 544.58(075.8)
ББК 24.13я73
Ч-483

Рецензент:
Л.И. Лукина – канд. хим. наук, доцент

Черкашина Н.И.

Ч-483 Практические основы радиохимии. Практическое руководство по подготовке и проведению радиохимического анализа : учебное пособие / Н. И. Черкашина ; Севастопольский государственный университет, Институт ядерной энергии и промышленности. – Севастополь : СевГУ, 2023. – 149 с.

Приведены общие положения по организации подготовки и проведению радиохимического анализа, в соответствии с требованиями нормативных документов в части обеспечения радиационной безопасности персонала предприятий, населения и окружающей среды.

Кратко освещены теоретические вопросы по основам и методам радиохимического анализа, в соответствии которых представлен комплекс лабораторных работ, составляющих основу лабораторного практикума по радиохимии.

Предназначено для студентов дневной и заочной формы подготовки по специальности 18.03.01 «Химическая технология», а также может быть использовано для подготовки специалистов других специальностей, изучающих дисциплину «Радиохимия», «Радиационная безопасность» и «Аппаратура дозиметрического и радиационно-технологического контроля». Данное учебное пособие содержит материалы предыдущих учебных пособий специалистов в области радиохимии канд. техн. наук доцента В.А. Ерофеева и старшего преподавателя Г.А. Мюсельмяна.

Может быть использовано в производственных условиях на предприятиях ядерно-топливного цикла, а также в лабораториях, работающих с источниками ионизирующих излучений и контролирующими воздействие ионизирующих излучений на окружающую среду.

УДК 544.58(075.8)
ББК 24.13я73

Рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании Ученого совета Института ядерной энергии и промышленности, протокол № 8 от 26 апреля 2022 г.

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2023
© Черкашина Н. И., 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1. Общая организация, требования по подготовке и проведению практических и лабораторных работ по радиохимии	8
1.1 Основные понятия, термины и определения радиохимии	8
1.2 Требования, предъявляемые при работе с ИИИ	11
1.3 Основные лабораторные процессы и связанная с ними опасность	13
1.4 Особенности проведения работ с ИИИ	15
1.5 Средства индивидуальной защиты и порядок их использования	17
1.6 Работа в радиохимической лаборатории и техника безопасности	19
1.6.1. Порядок работы в лаборатории	19
1.6.2 Меры предосторожности при работе в лаборатории	20
1.6.3 Оказание первой помощи пострадавшим	21
2 Радиохимическая лаборатория, приборы и оборудование	23
2.1 Назначение и классификация радиохимических лабораторий	23
2.2 Основное оборудование радиохимических лабораторий	24
2.2.1 Специальное оборудование и устройства	24
2.2.2 Оборудование и лабораторная посуда для проведения химических анализов	25
2.3 Системы и приборы для измерения ИИ в радиохимическом анализе	31
2.3.1 Лабораторное оборудование	31
2.3.2 Устройство и принцип работы КРК-1	34
2.3.3 Устройство и принцип работы КРВП-3В	37
3. Практические работы по радиохимии	40
3.1 Определение разрешающего времени радиометрической установки	40
3.2 Определение разрешающего времени методом двух препаратов. Проверка стабильности работы	42
3.3 Методы санитарно-дозиметрического контроля при проведении работ с применением закрытых источников ионизирующего излучения	48
3.4 Определение абсолютной активности препаратов β -излучения методом фиксированного телесного угла	52
3.5 Относительный метод определения активности препарата	64
3.6 Определение активности методом полного телесного угла	67
3.7 Задачи для проверки знаний по радиохимии	71
4. Лабораторные работы по радиохимии	75
4.1 Методы соосаждения	75
Работа № 1. Выделения радионуклидов цезия осаждением в виде фосформолибдата цезия	75
Работа № 2. Выделение радионуклидов цезия осаждением в виде висмутйодида цезия	76
Работа № 3. Осаждение радиоизотопов редкоземельных элементов осаждением в виде гидроксидов	78
Работа № 4. Определение стронция и бария в сложных смесях хроматным методом	80

Работа № 5. Разделение бария-140 и лантана-140 соосаждением неизотопным носителем	81
Работа № 6. Разделения ниобия-95 и циркония-95 адсорбционным методом	82
Работа № 7. Определение бария-137 и цезия-137 соосаждением с носителем	83
Работа № 8. Отделение стронция-90 от иттрия-90 соосаждением с изотопным носителем	84
Работа № 9. Выделение протактиния-137 соосаждением на неизотопных носителях	86
4.2 Методы экстракции	87
Работа № 10. Выделение радиоизотопов йода методом экстракции	87
Работа № 11. Выделение железа-59 экстракцией диизопропиловым эфиром	89
Работа № 12. Разделение стронция-90 и иттрия-90 экстракцией 8-оксихинолином	90
Работа № 13. Разделение ниобия-95 и циркония-95 экстракцией ацетилацетоном	92
Работа № 14. Разделение урана и тория экстракцией трибутилфосфатом	93
Работа № 15. Экстракционное выделение кобальта-60 в виде роданидного комплекса	94
4.3 Метод хроматографии	95
Работа № 16. Хроматографическое разделение железа-59 и фосфора-32 на катионите	95
Работа № 17. Хроматографическое разделение железа-59 и кобальта-60 на катионите	96
Работа № 18. Хроматографическое разделение бария-140 и лантана-140 на катионите	98
Работа № 19. Хроматографическое разделение стронция-90 и иттрия-90	99
Работа № 20. Хроматографическое разделение рубидия и цезия	101
Работа № 21. Выделение радионуклидов цезия сорбцией на ферроцианиде титана КНТЖ-1	102
Работа № 22. Выделение натрия сорбцией на пятиокиси сурьмы	103
Работа № 23. Разделение катионов методы осадительной хроматографии	104
4.4 Изотопное разбавление и радиометрическое титрование	106
Работа № 24. Гомогенный изотопный обмен йодом между йодистым этилом и йодистым натрием	106
Работа № 25. Радиометрическое титрование гидрофосфата натрия хлористым магнием	108
Работа № 26. Определение количества стронция в растворе методом изотопного разбавления	109
4.5 Методы определения радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды	111
4.5.1 Виды радиоактивных препаратов и методики их приготовления	111

4.5.2 Отбор и подготовка проб для измерения радиационных параметров окружающей среды	112
Работа №1 Контроль объемной радиоактивности атмосферного воздуха	112
Работа №2 Контроль радиоактивных выпадений из атмосферы	114
Работа №3 Контроль объемной радиоактивности природных сбросовых и подземных вод	115
Работа №4 Контроль удельной радиоактивности почвы	115
Работа №5 Контроль удельной радиоактивности донных отложений	115
Работа №6 Контроль удельной радиоактивности растительности	116
Работа №7 Контроль удельной радиоактивности водорослей	116
Работа №8 Контроль удельной радиоактивности молока, рыбы и сельскохозяйственной продукции	117
4.5.3 Определение объемной (удельной) радиоактивности образцов	117
4.5.4 Расчеты объемной (удельной) радиоактивности измеряемой пробы	119
А. Расчет объемной радиоактивности атмосферного воздуха по β -излучению	119
Б. Расчет объемной радиоактивности атмосферных выпадений по β -излучению	119
В. Расчет объемной радиоактивности воды по β -излучению	119
Г. Расчет удельной (объемной) радиоактивности почвы по β -излучению	120
Д. Расчет удельной радиоактивности донных отложений, растительности, водорослей по β -излучению	120
Е. Расчет удельной (объемной) радиоактивности сельскохозяйственных продуктов, рыбы, молока по β -излучению	120
4.5.5 Оценка погрешности измерений. Определение минимальной измеряемой радиоактивности	120
4.5.6 Требования к препаратам для измерения радиоактивности	122
4.5.7 Определение загрязненности радиоактивными веществами рабочих поверхностей при работе с радиоактивностью	122
Вопросы для самоконтроля	124
Приложения	131
Литература	149

ВВЕДЕНИЕ

Радиохимический анализ — это комплекс методов выделения радионуклидов в радиохимически чистом состоянии из сложных по составу анализируемых сред, с последующим измерением альфа, бета и гамма-излучения с помощью соответствующей радиохимической аппаратуры (интегральных счетчиков, спектрометров, радиометров и т. п.), которые позволяют регистрировать отдельные акты распада радиоактивных атомов. Радиохимические методы анализа являются самыми чувствительными из всех существующих способов количественного определения элементов, так как они позволяют регистрировать схемы распада отдельных атомов, определять до 10^{-12} – 10^{-15} , элемента в 1 г анализируемого вещества.

Радиохимический анализ основан на принципах и методах аналитической химии (соосаждения, экстракции, хроматографии, электрохимическом осаждении и т. п.), но имеет свои специфические особенности, связанные с выделением следовых количеств вещества и применением экспрессных методик при определении радионуклидов с периодом полураспада до 20 мин., а также использования специфических методик радиометрических измерений.

Целью радиохимического анализа является нахождение содержания радиоактивных изотопов в исследуемых объектах с применением химических методов отделения и очистки.

В радиохимическом анализе исследователи имеют дело со сложными физико-химическими системами, состояние и валентность отдельных компонентов может изменяться во времени под действием собственного радиоактивного излучения. В связи с этим обстоятельством в радиохимическом анализе главное внимание обращается на специфичность применяемых методов, а не на полноту выделения элементов. Это в известной мере является преимуществом радиохимического анализа, так как в значительной степени расширяет круг методов и реагентов по сравнению с аналитической химией.

Впервые радиохимический метод анализа был применен Пьером и Марией Кюри при выделении и определении полония, радона, радия и актиния в отходах урановой руды. Большая роль принадлежит радиохимическому анализу в открытии и изучении искусственной радиоактивности и различных типов ядерных реакций.

Развитие атомной техники и энергетики, а также ускорителей, позволяющих получать различные частицы и многозарядные ионы с очень высокой энергией, потребовало разработки новых радиохимических методов для анализа высокорadioактивных смесей большого числа радиоэлементов. В настоящее время радиохимический анализ широко используется на предприятиях ядерно-топливного цикла с целью дозиметрического и радиационно-технологического контроля персонала и технологического оборудования; при выделении и исследовании свойств радиоактивных

элементов и изотопов; определении содержания и установлении закономерностей поведения искусственных и естественных радионуклидов в окружающей среде; в радиогеологии, геохимии, а также при нейтронно-активационном определении следовых количеств элементов в сверхчистых материалах, минералах и концентратах микроэлементов в атмосфере; природных водах; почвах, растениях и биологических объектах, донных осадках.

Радиохимический анализ широко используется для обнаружения на поверхности Земли радиоактивных продуктов ядерных взрывов, для изучения индуцированной космическим излучением радиоактивности метеоритов, поверхностных слоев Луны и околоземных объектов.

В настоящем учебном пособии приведены наиболее характерные и часто используемые в лабораторной и производственной практике методики радиохимического анализа и радиометрических измерений, в целях радиационного контроля на объектах атомной энергетики и окружающей среды.

1. Общая организация и требования по подготовке и проведению практических и лабораторных работ по радиохимии

1.1. Основные понятия, термины и определения

Радиохимия – наука, изучающая химические свойства и физико-химические закономерности радиоактивных элементов, химию ядерных превращений и сопутствующие им реакции. Прикладная радиохимия занимается разработкой методов применения радионуклидов в химических исследованиях.

Радиоактивный элемент – совокупность радиоактивных атомов с одинаковым зарядом ядра и различной массы (т.е. совокупность радиоактивных изотопов одного и того же элемента – например: уран, радий, актиний, плутоний и т. п.).

Радионуклиды – радиоактивные атомы с данным числом протонов и нейтронов, т. е. с определенным атомным номером (место в таблице Д.И. Менделеева указывает на число протонов).

Радиоактивность – самопроизвольное превращение одних ядер в другие, сопровождаемые ионизирующим излучением и изменением физико-химических свойств.

Радиоактивность нуклида в источнике A – отношение числа спонтанных ядерных переходов dN из определенного энергетического состояния ядра радионуклида в источнике за интервал времени dt к этому интервалу

$$A = dN/dt. \quad (1.1)$$

Единица измерения Бк (беккерель), $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп/с}$.

Удельная активность радионуклида в источнике A_m – отношение активности радионуклида A в источнике к массе источника m

$$A_m = A/m, [\text{Бк/кг}]. \quad (1.2)$$

Объемная активность радионуклида в источнике A_v – отношение активности радионуклида A в источнике к объему источника V

$$A_v = A/V, [\text{Бк/м}^3]. \quad (1.3)$$

Поверхностная активность радионуклида в источнике A_s – отношение активности радионуклида A в плоском источнике к площади источника S

$$A_s = A/S, [\text{Бк/м}^2]. \quad (1.4)$$

Единицы измерения радиоактивности. Количество радионуклида в веществе определяется скоростью распада – количеством распадающихся в единицу времени ядер (активностью).

В качестве единицы измерения радиоактивности принят Беккерель (Бк)

Производные единицы радиоактивности:

$1 \text{ кБк (килобеккерель)} = 10^3 \text{ Бк}$

$1 \text{ МБк (мегабеккерель)} = 10^6 \text{ Бк}$

$1 \text{ ГБк (гигабеккерель)} = 10^9 \text{ Бк}$

Внесистемная единица радиоактивности кюри (Ки)

$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$

$$1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$$

Для радионуклида радиоактивность является мерой его количества. Массу радионуклида m , радиоактивность которого равна A (Бк) можно выразить формулой

$$m = 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot A_{\text{в}} \cdot T_{1/2} \cdot A \quad (1.5)$$

где m – масса радионуклида, г;

$A_{\text{в}}$ – атомный вес;

$T_{1/2}$ – период полураспада, с;

A – радиоактивность радионуклида, Бк.

На практике обычно абсолютную активность непосредственно не измеряют, а измеряют с помощью радиометрической аппаратуры пропорциональную величину – регистрируемую радиоактивность, например, имп/с (имп/мин), которую с помощью поправок измерительного радиометрического прибора переводят в абсолютную радиоактивность.

Радионуклидный источник – радиоактивное вещество в определенном конструкционном оформлении (на подложке, в капсуле, ампуле, кювете).

Радионуклидный радиометрический источник – радионуклидный источник, предназначенный для использования в качестве меры активности, потока или плотности потока частиц или фотонов.

Радионуклидный закрытый источник – радионуклидный источник, конструкция которого гарантирует отсутствие загрязнения окружающей среды и оборудования при использовании его в предусмотренных эксплуатационных условиях.

Радионуклидный открытый источник – радионуклидный источник, конструкция которого не исключает возможности загрязнения оборудования и окружающей среды.

Радионуклидный точечный источник – радионуклидный источник, линейными размерами активной части которого можно пренебречь по сравнению с расстоянием до устройства, с помощью которого производят измерения.

Радиоактивный эталонный источник – радиоактивный источник унифицированной конструкции, являющийся мерой одной или нескольких физических величин, предназначенных для передачи размера единиц однотипным источникам или для градуировки и проверки приборов.

Эталонный раствор радионуклидов – раствор радионуклидов, применяемый как мера удельной активности радионуклида, унифицированный по номиналу, химическому составу, кислотности для обеспечения хранения и передачи размера единицы удельной активности.

Радиометрический эталонный источник альфа-; бета-излучения – закрытый радиоактивный источник, унифицированной конструкции на металлической подложке с стойким герметизирующим покрытием, являющийся мерой внешнего альфа-; бета-излучения, а в отдельных случаях мерой активности радионуклидов, предназначенный для проверки средств измерения альфа-; бета-излучения.

Контрольный источник – радионуклидный источник, служащий для контроля работы и проверки работоспособности радиометрических приборов и установок на местах их эксплуатации.

Образцовый источник – радионуклидный источник, предназначенный для калибровки радиометрической аппаратуры и определения радиоактивности относительным методом.

Типовой источник – это условное название радионуклидного источника $d = 8,0$ мм и $m = 40 \pm 0,1$ мг (толщина типового источника определяется весом химического соединения, из которого готовится типовой источник, и примерно равен 80 мг/см^2).

Толстый источник – радионуклидный источник, для которого увеличение толщины не приводит к увеличению скорости счета от источника. Это возможно в том случае, когда толщина источника превосходит максимальный пробег альфа- или бета-частиц в материале источника.

Тонкий источник – радионуклидный источник, для которого можно пренебречь самопоглощением и саморассеянием излучения в собственном веществе источника. Готовятся тонкие источники из растворов с высокой удельной активностью и малым содержанием.

Спектрометрический эталонный источник гамма-излучения – закрытый радионуклидный точечный источник унифицированной конструкции, предназначенный для использования в качестве меры активности радионуклидов, а с использованием табличных данных схем распада нуклида – в качестве меры потока фотонов определенной энергии.

Объемный источник (проба, образец) – переработанная проба промышленной или окружающей среды или источник, имитирующий пробу среды.

Радионуклидный дозиметрический источник фотонного излучения – закрытый радионуклидный источник, предназначенный для использования в качестве меры мощности экспозиционной дозы рентгеновского и/или гамма-излучения в установленной геометрии.

Радионуклидный дозиметрический источник бета-излучения – закрытый радионуклидный источник, предназначенный для использования в качестве меры мощности поглощенной дозы бета-излучения в установленной геометрии.

Радионуклидный источник нейтронов – источник, в котором нейтроны образуются в результате ядерных реакций взаимодействия альфа-излучения радиоактивного препарата с нерадиоактивным материалом мишени.

Метод счета ионизирующих частиц – метод, основанный на измерении числа отдельных актов взаимодействия ионизирующих частиц с веществом чувствительного объема детектора.

Метод 4π -счета – метод измерения активности альфа-излучающих нуклидов в источнике, при котором источник альфа-излучения на тонкой электропроводящей пленке-подложке помещают внутрь чувствительного объема пропорционального газоразрядного 4π -счетчика.

Метод $4\pi\beta$ -счета – метод измерения активности бета-излучающих нуклидов в источнике, при котором источник бета-излучения на тонкой электропроводящей пленке-подложке помещают внутрь чувствительного объема пропорционального газоразрядного 4π -счетчика.

Сцинтилляционный метод – метод измерений, основанный на регистрации световых вспышек – сцинтилляций, возникающих в сцинтилляционном детекторе под воздействием ионизирующего излучения.

Спектрометрический метод – метод, основанный на измерении распределения измеряемой характеристики ионизирующего излучения, обычно энергии частиц или фотонов по заданному параметру.

Химический метод – метод, основанный на измерении концентрации продуктов радиационно-химических реакций в химическом детекторе под воздействием ионизирующего излучения.

Калориметрический метод – метод измерения активности нуклида в образце, ампуле, основанный на измерении в калориметре тепловой энергии полного поглощения частиц и фотонов с использованием табличного значения энергии на распад для измеряемого радионуклида.

Метод активации – метод измерения плотности потока нейтронов, основанный на измерении активности радионуклида, образовавшегося в результате взаимодействия нейтронов с материалом детектора.

1.2. Требования, предъявляемые при работе с источниками ионизирующих излучений

1.2.1. Общие положения и требования к организации работ с источниками ионизирующих излучений

Общая организация проведения работ с использованием источников ионизирующих излучений, и контроль за обеспечением радиационной безопасности персонала и населения, должна соответствовать требованиям нормативных документов: «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99) и «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ-99). Эти требования излагаются в инструкциях по обеспечению радиационной безопасности, которые должны быть согласованы с государственной санитарно-эпидемиологической службой Министерства здравоохранения.

В инструкциях должны быть определены и согласованы:

- порядок проведения работ, учета, хранения, выдачи и транспортирования источников ионизирующих излучений, сбора и удаления радиоактивных отходов;
- мероприятия по радиационной безопасности во время работ с источниками ионизирующих излучений;
- организация радиационного контроля;
- средства индивидуальной защиты и порядок их использования.

А. Порядок проведения работ

Работы с радиоактивными веществами производятся в соответствии с инструкциями: по выдаче, учету и хранению источников ионизирующих излучений, сбору радиоактивных отходов, ликвидации аварий и аварийных ситуаций, типовой инструкцией на рабочем месте, методике выполнения работ (исследований).

К работам связанным с использованием источников ионизирующих излучений (ИИИ) допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр (периодичность медицинского осмотра не реже 1 раза в год), не имеющих медицинских противопоказаний, ознакомившиеся с правилами работы и сдавшие техминимум по технике безопасности.

После получения задания на выполнение работ, исполнитель оценивает сложность возможных операций с ИИИ и, в соответствии с классом работ готовит на рабочем месте необходимое защитное оборудование и спецодежду.

Лабораторная посуда и приборы проверяются на пригодность к работе, отсутствие радиоактивного загрязнения, наличие которого может внести ошибки в результаты исследований.

Радиоактивный источник (препарат) получают согласно действующим правилам. При перемещении с радиоактивным препаратом внутри, и вне лаборатории используют транспортные контейнеры, чашки «Петри» и другие приспособления; разрешенные санитарными нормами и обеспечивающие защиту от воздействия ИИ и исключаяющие случайные потери радиоактивных веществ.

При необходимости (работа с высокоактивными препаратами) рабочее место оборудуется дополнительными защитными экранами для снижения интегральной дозы облучения работающего персонала до допустимых значений.

При получении радиоактивных материалов контейнеры ставят в бокс или вытяжной шкаф за защитным экраном. Отбор необходимого количества жидких радиоактивных препаратов производят пипеткой, пробпоотборником, а больших количеств мензуркой. В лаборатории должны находиться только те радиоактивные препараты, которые необходимы для работы в данное время.

При работе с радиоактивными препаратами следует обращать внимание на возможность облучения рук и глаз, а также загрязнение радионуклидами перчаток. В связи с этим радиоактивные препараты следует брать пинцетом и манипуляторами, а чистоту рук (перчаток) контролировать на радиометрической установке. Персонал, работающий в лаборатории, должен соблюдать меры предосторожности, исключая возможность загрязнения лаборатории радиоактивными веществами, не производить резких движений, соблюдать максимальный порядок, что уменьшит вероятность возникновения аварийных ситуаций, связанных с миграцией радиоактивных веществ.

Лабораторная посуда и аппаратура, содержащие или загрязненные радиоактивными веществами должны находиться на отдельных подложках,

чтобы в случае аварии все радиоактивные вещества оказались на подложке (подносе).

Спецодежду, поверхности столов, вытяжных шкафов, пол и стены лаборатории необходимо систематически, а по окончании работ в обязательном порядке, проверять на наличие поверхностного загрязнения радиоактивными веществами радиометрическими приборами. При необходимости проводятся дезактивационные работы и санитарная обработка.

Все операции с открытыми радиоактивными источниками (препаратами) должны выполняться в вытяжных шкафах или боксах, снабженных фильтрами для очистки удаляемого воздуха.

По окончании работ все радиоактивные вещества удаляют в установленные места, рабочее место приводится в порядок. Жидкие среды, содержащие радионуклиды сливают в емкости для сбора жидких радиоактивных отходов, твердые радиоактивные отходы (бумага, ветошь, отработанные подложки после радиометрических измерений, битая лабораторная посуда, загрязненная радионуклидами и т. п.) собирается в контейнер твердых радиоактивных отходов (КТО).

Лабораторная посуда, после проведения радиометрического анализа, направляется на дезактивацию. В случае достижения допустимых уровней загрязнения она используется повторно, в иных случаях, при недостижении допустимых уровней загрязнения после дезактивации, лабораторная посуда направляется к месту сбора твердых радиоактивных отходов. После окончания всех работ персонал проходит дозиметрический контроль до и после санитарной обработки.

Все работы с радиоактивными веществами с ИИ должны проводиться в условиях строгого соблюдения правил радиационной безопасности.

Б. В помещениях радиохимической лаборатории, где проводятся работы с радиоактивными веществами, запрещается:

- пребывание персонала и других лиц без необходимых СИЗ;
- хранение пищевых продуктов, табачных изделий, косметики, домашней одежды, и других предметов, не имеющих прямого отношения к выполняемым работам;
- прием пищи, курение, пользование косметикой;
- заполнение пипеток путем всасывания растворов ртом;
- сливать РАО в канализацию;
- работать в лаборатории с открытыми ранами и порезами лица и рук, при ранении необходимо тщательно промыть порез струей воды.

1.3. Основные лабораторные процессы и связанная с ними опасность

Основные лабораторные операции с открытыми ИИИ по степени опасности делятся на пять групп:

1 группа – хранение радиоактивных веществ;

2 группа – простые операции с растворами (переливание, разбавление, отбор проб, вскрытие ампул с радиоактивной жидкостью);

3 группа – растворение, осаждение, фильтрование, промывание осадков, титрование, экстрагирование, центрифугирование и другие обычные химические операции;

4 группа – сложные операции с растворами, связанные с нагреванием (выпаривание, перегонка, горячее экстрагирование и фильтрование, реакции с газовыделением);

5 группа – операции с сухими пылеобразующими и порошкообразными веществами (отбор проб, измельчение, смешивание и прессования порошков, взвешивание, проведение процессов прокаливания и возгонки твердых веществ).

Первичные три группы операций включают в себя проведение процессов, связанных с опасностью механических, в основном случайных потерь радиоактивного вещества.

Четвертая и пятая группы операций объединяют процессы, при выполнении которых велика опасность непосредственного перехода радиоактивного вещества в воздух рабочих помещений и соответственно в атмосферу. Переход радиоактивных веществ в воздух рабочих помещений закономерен, он определяется природой этих процессов. При выполнении операций этого типа требует использования специального оборудования.

В основе операции первого типа нет таких процессов, которые неотвратимо приводили бы к переходу в атмосферу радиоактивного вещества. Потери радиоактивного вещества при проведении процессов первого типа могут быть частично уменьшены за счет аккуратности, внимательного выполнения и применения простых приспособлений, а при выполнении процессов второго типа даже аккуратная работа не уменьшит степени перехода радиоактивного вещества в окружающую атмосферу.

Хранение реактивов – при длительном хранении открытых растворов радиоактивных веществ возможно загрязнение окружающих предметов и попадание радиоактивных нуклидов в воздух. При хранении растворов или твердых препаратов тория, радия, урана и др., в результате α -распада которых образуются дочерние радиоактивные продукты, возможно попадание радиоактивных атомов в воздух за счет энергии отдачи.

Для концентрированных растворов или твердых соединений Po-210; Pu-234; Ra-226 и др. α -излучателей явление агрегатной отдачи может привести также к переходу активности в воздух. Такие препараты необходимо хранить в закрытых сосудах из пластмассы или металла.

Выпаривание, перегонка, кипячение и операции с газовыделением – переход в пар радиоактивных нелетучих продуктов при выпаривании растворов происходит за счет механизма захвата и уноса паром мельчайших капель раствора. Объемная активность радиоактивного вещества при парообразовании во многих случаях может значительно превышать ПДК, установленные для воздуха рабочих помещений, поэтому все операции, связанные с выпариванием, перегонкой, кипячением и т. п. должны

осуществляться в вытяжных шкафах снабженные газо-аэрозольными фильтрами.

Высушивание осадков – радиоактивные осадки при высушивании выделяют большое количество влаги более 50 %, с которыми возможен унос капель раствора. Кроме того, высушивание осадков может быть опасным из-за выбрасывания частиц осадка.

Прокаливание осадка – в отличие от сушки при прокаливании возможна возгонка. Из-за высокой температуры прокаливания скорость отделяющих газов более высока, чем при сушке и выпаривании, поэтому существует опасность захвата довольно больших частиц. Такие летучие вещества, как ряд галогенидов, соединения мышьяка, элементарный йод и др. могут представлять большую опасность при нагревании. При нагревании раствора соединений Ru-106 с окислителями в воздух может перейти до 97% радиоактивности.

Все этапы радиохимического анализа, связанные с термическими процессами, должны осуществляться в вытяжных шкафах или боксах, оборудованных вентиляцией с газо-аэрозольными фильтрами.

1.4 Особенности проведения работ с источниками ионизирующих излучений

Препараты, в составе которых входят радиоактивные вещества, являются радионуклидными источниками, которые подразделяются на закрытые и открытые.

Открытые радионуклидные источники являются источниками радиоактивного загрязнения, поэтому при работе с ними подразделяются особые требования при работе с открытыми источниками возможно как внешнее, так и внутреннее облучения, в результате попадания радионуклидов в организм человека или животных. При работе с закрытыми радионуклидными источниками присутствует только внешнее облучение.

При работе с закрытыми радионуклидными источниками специальных требований к помещениям и оборудованию не предъявляется. При работе с такими препаратами необходимо знать и учитывать их радиоактивные свойства: общую радиоактивность источника, тип и энергию излучения, и период полураспада, которые используются для реагента текущих и прогнозируемых уровней облучения, работающих с источниками персонала, а также оперативное и долгосрочное планирование этих уровней для контроля неперевышения пределов дозы и/или контрольных уровней. В этом случае защита от воздействия радиации от радионуклидов в закрытом виде сводится к защите от излучения.

При работе с открытыми радионуклидными источниками существует опасность как внешнего, так и внутреннего облучения. В данном случае для оценки степени возможности опасности при работах с такими источниками необходимо знать не только величину их радиоактивности, но и тип, энергию излучения, период полураспада, но также и среднегодовое потребление

радиоактивных препаратов в лаборатории, его физическое состояние, характер и особенность операций, производимых с этим веществом. При работе с открытыми радионуклидными источниками предусматривается комплекс мер безопасности, предотвращающих загрязнения воздушного пространства рабочей зоны, поверхности рабочих помещений и оборудования, спецодежды персонала и объектов окружающей среды.

Открытые радионуклидные источники, как потенциальные источники внутреннего облучения в зависимости от величины минимально значимой активности на рабочем месте (МЗА) подразделяются на четыре группы радиационной опасности:

группа А – радионуклиды с минимально значимой активностью 1 кБк;
группа Б – радионуклиды с минимально значимой активностью 10 кБк;
группа В – радионуклиды с минимально значимой активностью 1000 кБк;

группа Г – радионуклиды с минимально значимой активностью 1000 кБк и более.

Принадлежность радионуклидов к той или иной группе определяется в зависимости от предельно-допустимых концентраций (ПДК) в воздухе рабочих помещений исходя из радиотоксичности радионуклидов при поступлении их в организм через дыхательные пути.

Группа А – радионуклиды особо высокой токсичности (ПДК в воздухе не более $3,7 \cdot 10^{-3}$ Бк/л;

Группа Б – радионуклиды высокой токсичности (ПДК в воздухе от $3,7 \cdot 10^{-3}$ - $3,7 \cdot 10^{-1}$ Бк/л;

Группа В - радионуклиды средней токсичности $3,7 \cdot 10^{-1}$ - $3,7$ Бк/л;

Группа Г – радионуклиды наименьшей токсичности (ПДК в воздухе от $3,7$ Бк/л и выше).

Радионуклиды, соответствующие определенным группам радиационной опасности приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Минимально-значимые активности радионуклидов на рабочем месте

Группа радиационной опасности радионуклида	Минимально-значимая активность (МЗА) на рабочем месте, кБк	Радионуклид
1	2	3
А	1	Po-210, Pb-210, At-211, Ra-226, Ra-228, Th-228, Th-229, Th-230, Th-232, Pa-231, Pu-240, Pu-242, Pu-244, Am-241, Am-243, Cm-242, Cm-243, Cm-244, Cm-246, Cf-249, Cf-250, Es-253, Fm-254
Б	10	Kr-85, Sr-90, Ru-106, Sb-122, Sb-124, I-125, I-126, I-129, I-131, Xe-133, Cs-134, Cs-137, Cs-138, Ce-144, Eu-152, Eu-154, Tm-170, Ta-182, Tl-204, Bi-210, Ra-223, Ra-224, Ac-228, Th-227, Pa-230, U-230, U-233, U-234, U-235, U-236, U-238, Pu-236,

		Pu-241, Pu-243, Bk-249, Cf-248
В	100	Na-22, Na-22, P-32, S-35, Cl-36, Cl-38, K-42, Ca-47, Sc-46, Sc-47, Sc-48, V-48, Mn-51, Mn-52, Mn-54, Mn-56, Fe-59, Co-56, Co-57, Co-58, Co-60, Ni-59, Ni-63, Ni-65, Zn-65, Ga-72, As-73, As-74, As-76, Se-75, Br-82, Kr-79, Rb-86, Sr-89, Sr-91, Sr-92, Y-90, Y-91, Y-92, Y-93, Zr-93, Zr-95, Zr-97, Nb-95, Nb-98, Mo-93, Mo-99, Tc-99, Ru-94, Ru-103, Ru-105, Rh-105, Pd-103, Pd-109, Ag-105, Ag-111, Cd-109, Cd-115, Sn-113, Sn-125, Sb-125, Te-127, Te-131, Te-132, Te-133, I-132, I-133, I-134, I-135, Cs-129, Cs-132, Cs-135, Cs-136, Ba-131, Ba-140, Ce-139, Ce-141, Pr-142, Pr-143, Nd-147, Pm-147, Pm-149, Sm-151, Sm-153, Eu-155, Cd-153, Cd-159, Tb-160, Dy-165, Dy-166, Er-169, Er-171, Tm-171, Lu-177, Hf-181
Г	1000	H-3, Be-7, C-14, F-18, Si-31, P-33, K-40, K-43, Fe-52, Fe-55, Co-55, Co-61, Cu-64, Zn-69, Ge-71, Nb-94, Nb-97, Mo-90, Mo-101, Tc-96, In-111, Te-129, Te-134, I-123, I-130, Cs-131, Nd-149
	10000	Tc-96m, Tc-97m, Te-123m, Rn-220, Th-226, U-231, Pu-234, Pu-235, Pu-237
	100000	Ar-37, Tc-97
	1000000	O-15, Ar-41, Mn-53, Kr-74, Kr-76, Kr-77, Kr-87, Kr-88
	10000000	Kr-85m, Xe-135
	100000000	Kr-83m

Примечание: Группа радиационной опасности радионуклидов, не вошедших в табл. 1.1 определяется в соответствии с нормативными документами (ОСПОРБ-2010).

В случаях, когда на рабочем месте используется открытые радионуклидные источники, принадлежащие к разным группам радиационной опасности, их активность приводится к группе А радиационной опасности по формуле

$$a = a_A + 0,1a_B + 0,01a_V + 0,001a_\Gamma \quad (1.6)$$

где, а – суммарная активность, приведенная к группе А, Бк;

a_A, a_B, a_V, a_Γ – активность на рабочем месте радионуклидов групп А, Б, В, Г соответственно, Бк.

1.5. Средства индивидуальной защиты и порядок их использования

Персонал радиохимической лаборатории, а также временно привлекаемые для работы с радиоактивными веществами и открытыми радионуклидными источниками специалисты, посетители во время посещения производственных помещений, в которых используются радиоактивные вещества, должны обеспечиваться на время работы и пребывания в помещениях, спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты.

При невозможности дезактивации спецодежды и средств индивидуальной защиты они заменяются новыми вне зависимости от сроков носки. При нарушении целостности спецодежды и средств индивидуальной защиты, они заменяются на новые.

Спецодежда, спецобувь и средства индивидуальной защиты должны иметь специальные опознавательные знаки.

К средствам индивидуальной защиты относят защитные средства сугубо индивидуального пользования – к ним относят спецодежду и другие атрибуты для защиты различных органов человека.

Основное назначение средств индивидуальной защиты – предотвращение попадания радиоактивных веществ внутрь организма. Кроме того, средства индивидуальной защиты обеспечивают чаще всего частичную защиту от внешнего облучения, при работе с радионуклидами испускающее мягкое γ -излучение и полную защиту от внешнего излучения при работе с радионуклидными источниками испускающими мягкое β - и α -излучение. Кроме того, при работе с радионуклидными источниками, испускающими мягкое β -излучение (C-14, S-35 и т. п.) или α -излучение можно не применять каких-либо защитных экранов, так как посуда, одежда, перчатки уже полностью поглощают такие излучения. В других случаях, кроме средств индивидуальной защиты, необходимо применять дополнительные средства защиты от внешнего облучения (защитные экраны, дистанционный инструмент и т. д.).

К специальной одежде и средствам индивидуальной защиты относят: халаты, шапочки, нарукавники, фартуки, перчатки, спецобувь, респираторы, пневмокостюмы (обязательный комплект спецодежды и СИЗ для работы в РХЛ).

Халаты – все работы с радиоактивными веществами проводятся только в халатах. Халаты должны изготавливаться из гладкой белой ткани (сатин, молескин). Ворот у халата закрытый, завязки — на спине.

Шапочка – применяется для защиты головы и волос от радиоактивной пыли, закрепляет волосы. Изготавливается из той же ткани, что и халаты.

Нарукавники – применяются для предохранения рукавов халата от загрязнения радиоактивными веществами. Нарукавники делают из хлопчатобумажной ткани и различных пластикатов.

Фартук – применяется при работе, во время которой возможно разбрызгивание радиоактивных жидкостей (мытьё посуды, переливание радиоактивных жидкостей и т. п.). Фартуки должны быть изготовлены из пластикатов.

Перчатки – все работы с радиоактивными веществами в открытом виде нужно обязательно проводить в резиновых или пластиковых перчатках. Обычно применяются хирургические перчатки. В тех случаях, когда проводятся работы, при которых можно легко порвать хирургические перчатки (переноска и сборка оборудования и т. д.), лучше применять анатомические или другие более толстослойные перчатки. При работе в защитных шкафах и боксах применяются перчатки с длинными рукавами.

Перчатки индивидуального пользования следует подбирать строго по руке. Перед их надеванием руки посыпать тальком. При надевании перчаток следует пальцами голой руки брать только за внутреннюю сторону манжеты, а пальцами руки, одетой в перчатку, брать только за внешнюю сторону манжеты второй перчатки. Манжеты перчаток должны находить на рукава халата.

Обувь – при работе в радиоизотопных лабораториях рекомендуется надевать отдельную обувь, например, тапочки на резиновой подошве. В отдельных случаях при работах, связанных с возможностью загрязнения радиоактивными веществами ног, применяется специальная обувь — резиновые калоши, резиновые чуни, бахилы из специальной резины, ботинки, сапоги из специальной резины, болотные сапоги и др.

Респираторы – применяются для защиты дыхательных путей от попадания радиоактивной пыли и газов. Если существует какая-либо вероятность в процессе работы выделения радиоактивных газов нужно применять респираторы с химическими поглотителями радиоактивных газов.

Халаты и комбинезоны из пластика. Применяются обычно при работе с большими активностями, при монтажных и ремонтных работах в радиоизотопной лаборатории, при полевых работах с радиоактивными веществами и т. п.

Пневмококостюмы – применяются при заходе в шкафы, боксы, камеры, помещения, сильно загрязненные радиоактивной пылью или парами, при авариях, ремонтно-монтажных работах и т. д.

При работе с радиоактивными веществами очень важно соблюдать дисциплину труда, выполнять существующие защитные мероприятия, применять индивидуальные защитные средства. Самое серьезное значение должно придаваться соблюдению личной гигиены, знанию правил работы с радиоактивными веществами, правил дезактивации. В этом залог успеха обеспечения безопасного проведения работ, получения необходимых научных результатов без ущерба для здоровья.

1.6. Работа в лаборатории и техника безопасности

1.6.1. Порядок работы в лаборатории

1. Предварительно ознакомиться с методикой выполнения исследовательской работы и проработать соответствующие теоретические вопросы.

2. При работе точно соблюдать порядок и последовательность операций, указанных в инструкции (методике).

3. Сухие реактивы необходимо брать чистым шпателем или стеклянной ложечкой. При наливании растворов из склянок следует держать последние таким образом, чтобы этикетка была повернута вверх (во избежание её загрязнения).

4. Если нет указаний о дозировке реактивов для данной работы, то брать их надо в возможно меньшем количестве: сухие вещества – в количестве, закрывающие дно пробирки, а растворы – не более 1/6 объема пробирки.

5. Излишки реактивов запрещается высыпать (выливать обратно в сосуды, из которых они были взяты).

6. Крышки и пробки от банок с реактивами следует класть на поддон поверхностного, которая не прикасалась с реактивом (радиоактивным раствором). После использования реактива банку (склянку) закрыть пробкой и поставить на место.

7. Внимательно следить за ходом опыта (анализа), замечать все изменения и отмечать их в лабораторном отчете.

1.6.2. Меры предосторожности при работе в лаборатории

1. Запрещается проводить эксперименты (анализы) без разрешения руководителя (преподавателя).

2. При работе с лабораторными электроприборами соблюдать меры электробезопасности.

3. Все опыты с ядовитыми, неприятно пахнущими веществами, радиоактивными растворами, а также упаривание кислых и щелочных растворов производить в вытяжном шкафу.

4. Опыты (эксперименты) с легковоспламеняющимися веществами проводить на безопасном от огня расстоянии.

5. Для защиты работающего и обслуживающего персонала лаборатории от радиоактивных загрязнений и ИИ использовать защитную одежду, пинцеты, щипцы и т.п.

6. При нагревании растворов в пробирке, её следует держать таким образом, чтобы отверстие пробирки было направлено от работающего и соседей по столу. Особенно строго соблюдать это правило в тех случаях, когда нагреваемой жидкостью является кислоты и щелочи. Операции, связанные с нагреванием жидкостей, рекомендуется проводить в вытяжном шкафу.

7. Не наклонять лицо над нагреваемой жидкостью или сплавляемыми веществами во избежание попадания брызг на лицо.

8. Не следует вдыхать пахучие вещества, в том числе и выделяющиеся газы, близко наклоняясь к сосуду с этими веществами. Следует легким движением руки направлять струю воздуха от отверстия сосуда к себе и осторожно вдыхать.

9. При разбавлении концентрированных кислот, особенно серной, вливать кислоту в воду небольшими порциями, а не наоборот.

10. Следует иметь в виду, что азотная кислота при контакте с некоторыми органическими веществами, вызывает их воспламенение, в отдельных случаях со взрывом.

11. Использование радионуклидных источников закрытого типа и устройств, генерирующих ИИ разрешается только в условиях, предусмотренными ГОСТами и технической документацией согласованной с мин. здравоохранения РФ.

12. Устройство, в котором размещен радионуклидный источник, должен быть герметичным, устойчивым к механическим, химическим, температурным и другим воздействиям, обеспечивать радиационную защиту в соответствии с требованиями санитарных норм РФ и иметь знак «радиационная опасность».

13. Для извлечения радионуклидного источника из контейнера следует пользоваться дистанционным инструментом или специальными приспособлениями. При работе с радиоактивными источниками, извлеченными из защитных контейнеров, должны использоваться защитные экраны и манипуляторы. Запрещается прикасаться к радионуклидным источникам руками.

14. Помещения, в которых проводятся работы на стационарных установках с радионуклидными ИИИ, должны быть оборудованы независимыми друг от друга системами блокировки и сигнализации о положении источника или блока источников и о превышении заданной мощности дозы излучения.

15. При использовании приборов с закрытыми радионуклидными источниками и устройств, генерирующих ИИ, вне помещения или в общих производственных помещениях следует: обеспечить физическую защиту источника, направлять излучение предпочтительно в сторону поверхности земли, где нет людей, размещать источники как можно удаленнее от обслуживающего персонала и присутствующих лиц, ограничивать время пребывания людей вблизи источников.

16. Запрещается использование закрытых радионуклидных источников при наличии нарушений герметичности, а также по истечению паспортного срока эксплуатации.

17. Обязательное получение индивидуальных документов и периодический контроль, показаний индивидуальных дозиметров.

18. Радиационная защита должна быть направлена на ограничение до возможных минимальных значений дозы облучения. Эффективность радиационной защиты достигается комплексом санитарно-гигиенических, инженерно-технических и организационных мероприятий в зависимости от технологии и способа применения источника.

1.6.3. Оказание первой помощи пострадавшим

1. При попадании на открытые участки тела (кожу) концентрированных кислот (серной, азотной, уксусной и т.д.) следует немедленно промыть сильной струей воды обожженное место в течение 3-5 минут, после чего наложить повязку, смоченную спиртовым раствором

танина или 3%-раствором перманганата калия. При сильных ожогах после оказания первой помощи немедленно обратиться к врачу.

2. При ожоге кожи растворами щелочей промыть обожженный участок кожи до тех пор, пока она не перестанет быть скользкой на ощупь, после чего наложить повязку, смоченную спиртовым раствором или 3%-раствором перманганата калия.

3. При попадании брызг кислоты или щелочи в глаза, немедленно промыть поврежденный глаз большим количеством воды комнатной температуры, после чего немедленно обратиться к врачу.

4. При ожогах горячими предметами (стекло, металлы и т.п.) наложить сначала повязку, смоченную спиртовым раствором или 3%-раствором перманганата калия, затем повязку с мазью от ожогов.

5. При ожогах фосфором необходимо наложить на обожженное место повязку, смоченную 2%-раствором сульфата меди.

6. При отравлении хлором бором, сероводородом, окисью углерода, необходимо пострадавшего вывести из помещения на свежий воздух и обратиться к врачу.

7. В случае загорания одежды пламя гасить следует обертыванием в плотную ткань, которая должна находиться в строго определенном месте.

8. При превышении дозы облучения, во время периодического контроля индивидуальных дозиметров, работу с ИИИ прекратить и сообщить руководителю работ и обслуживающему персоналу.

9. При обнаружении нарушения герметичности оболочки закрытого радионуклидного источника, сообщить обслуживающему персоналу и руководителю работ.

2. РАДИОХИМИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ, ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

2.1. Назначение и классификация радиохимических лабораторий

Радиохимическая лаборатория – специально оборудованная лаборатория, предназначенная для проведения химических операций с радиоактивными веществами (исследования с использованием меченых атомов в различных отраслях науки и техники – металлургии, машиностроении, биологии, атомной энергетике и промышленности и т.д.), которые проводятся в специальных радиоизотопных лабораториях со специфическим оборудованием.

В зависимости от группы токсичности радионуклидов, его степени радиоактивности на рабочем месте и сложности химических операций, все работы с радиоактивными веществами, так же, как и радиохимические лаборатории подразделяются на три класса.

Класс радиохимической лаборатории определяется комплексом защитных мероприятий (КЗМ), который должен обеспечить безопасные условия работы персонала и предотвращать загрязнение объектов внешней среды, кроме того КЗМ включает рациональное решение, планировку и отделку помещений, эффективные системы вентиляции и канализации, контроль за соблюдением норм и правил радиационной безопасности, организацию системы транспортировки, получения, хранения и учета радиоактивных изотопов, сбора и удаления РАО, выбор и отработку технологических режимов, защитной техники и оборудования, разработку прогноза возможных аварийных ситуаций и мер по их ликвидации. Неконтролируемый сброс газообразных, жидких и твердых РАО из радиохимических лабораторий всех классов запрещены.

Класс работ, так же, как и класс радиохимических лабораторий устанавливается учреждениями государственной санитарно-эпидемиологической службы министерства здравоохранения в соответствии с классификацией табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Классы работ при производственном контакте с радиоактивными веществами в открытом виде

Группа радиоактивной опасности радионуклида	Минимальная значимая активность (МЗА), кБк	Радиоактивность на рабочем месте, кБк		
		Класс работ		
		1	2	3
А	1	10^5 и более	От 10^2 до 10^5	От 1,0 до 10^2
Б	10	10^6 и более	От 10^3 до 10^6	От 10 до 10^3
В	100	10^7 и более	От 10^4 до 10^7	От 10^2 до 10^4
Г	10^3 и более	10^8 и более	От 10^5 до 10^8	От 10^3 до 10^5

Радиохимические лаборатории 1-го класса – предназначены для проведения работ с высокими уровнями активности (верхний предел активности для них не устанавливается). Они оборудованы для работ по

выделению радиоактивных изотопов из продуктов деления ядерного топлива, облученных материалов и мишеней, сборки тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) ядерных реакторов и др. работ, требующих высокого уровня герметизации защитного оборудования.

Радиохимические лаборатории 2-го класса — предназначены для проведения работ со средним уровнем активности (радиохимические, физико-химические, металлофизические, физические, некоторые биологические и др. виды работ).

Радиохимические лаборатории 3-го класса — предназначены для проведения работ с наименьшими («индикаторными») активностями. В таких лабораториях осуществляется большинство аналитических, химических и биологических исследований с использованием радиоактивных изотопов в качестве изотопных индикаторов.

2.2. Основное оборудование радиохимических лабораторий

2.2.1. Специальное оборудование и устройства

В зависимости от класса радиохимическая лаборатория имеет свою планировку и оснащена оборудованием и техническими средствами, основой комплекса защитных мероприятий (КЗМ).

Радиохимические лаборатории 1-го класса размещается в отдельном здании или изолированной части здания с отдельным входом только через санпропускник. Для повышения безопасности работ радиохимические лаборатории имеют 3-зональную планировку: I зона (необслуживаемые помещения) — камеры и боксы, где размещается оборудование для работы с радиоактивными веществами, являющееся основным источником радиоактивного загрязнения; II зона — помещения (периодически обслуживаемые) для проведения ремонта оборудования, транспортировки, загрузки и выгрузки радиоактивных материалов из I зоны, хранения радиоактивных отходов; III зона — помещения постоянного пребывания персонала, операторские, пульта управления и др. Для исключения переноса загрязнения между II и III зонами оборудуется санитарный шлюз с пунктом дозиметрического контроля. Все работы с радиоактивными веществами производятся в герметичных боксах и камерах с помощью дистанционных манипуляторов. Наблюдение ведётся с помощью перископов, окон из свинцового стекла, телевизионной аппаратуры. Степень герметизации защитного оборудования и надёжная биологическая защита обеспечивают полную безопасность для персонала в помещениях III зоны. В помещениях II зоны персонал работает в герметичных изолирующих костюмах в течение безопасного (предельно допустимого) времени. Помещения I зоны могут посещаться персоналом только в аварийных ситуациях или после проведения дезактивации дистанционными средствами до предельно допустимых уровней; безопасность работ и используемые защитные меры контролируются службой радиационной безопасности.

Радиохимические лаборатории 2-го класса размещаются в отдельном здании (или изолированной части здания). Операции с радиоактивными веществами проводятся в боксах или вытяжных шкафах с применением манипуляторов и др. дистанционных приспособлений, используются также перчатки, герметично вмонтированные в фасадную стенку. В составе лаборатории должен быть санпропускник или душевая для дезактивации тела или пластиковой спецодежды, пункт радиационного (дозиметрического) контроля на выходе и хранилище радиоактивных изотопов и отходов.

Радиохимические лаборатории 3-го класса используют защитную одежду, кюветы из пластмассы или нержавеющей стали, простейшие дистанционные приспособления (пинцеты, щипцы и т.д.), защитные экраны из оргстекла, свинца и т.п. Работы с эманлирующими (образующими радиоактивные изотопы радона), летучими, порошкообразными веществами проводятся в боксах или вытяжных шкафах. Предусмотрены дополнительные средства индивидуальной защиты (респираторы или противогазы, пластиковая спецодежда). В составе радиохимической лаборатории

3-го класса рекомендуется иметь душевую и помещения для хранения и фасовки радиоактивных веществ.

2.2.2. Оборудование и лабораторная посуда для проведения химических анализов

Вытяжной шкаф — лабораторное оборудование, представляющее собой закрытую камеру с вытяжной вентиляцией для работы с летучими вредными веществами. Согласно классификации вентиляционного оборудования, является полуоткрытым местным отсосом, предназначенным для проведения технологических процессов в лабораторных условиях. Шкаф оборудуется прозрачной передней стенкой и, как правило, подводкой воды, газа и электричества. Столешница шкафа выполняется из химически стойких материалов. Удаление воздуха из шкафа в зависимости от вида проводимых в нём технологических операций может осуществляться гравитационным (естественным) или механическим способом. Количество воздуха, удаляемого из шкафа, определяется токсичностью образующихся вредных веществ и температурой внутри шкафа.

Боксы – нестандартные укрытия определенной степени герметичности, предназначенные для работ с радиоактивными веществами под разряжением с использованием манипуляторов и перчаток. Имеются различные конструкции боксов, которые определяются задачами исследования, количеством применяемого радиоактивного вещества и характером излучения.

Камеры – стационарные укрытия определенной степени герметичности. Они предназначены для работ под разрежением с γ -активными веществами высокой активности и оборудуются смотровой

системой, манипуляторами, системами приточно-вытяжной вентиляции, светильниками, транспортной системой и т. д.

Лабораторные столы – конструкция стола рассчитана на нагрузку, допускающую установку защитных экранов. Стол снабжен всеми необходимыми подводками и сливом. Работу на таких столах производят в кюветах из нержавеющей стали, пластмасс или эмалированных материалов.

Защитные экраны – материалы и конструкции определяются типом и энергией излучения используемого в работе радионуклида, продолжительностью работы и характером проводимых операций.

Контейнеры – предназначены для хранения, транспортировки и сбора радиоактивных изотопов. Тип контейнера, материал и толщина их стенок определяется количеством радиоактивного изотопа и характером его излучения.

Дистанционные приспособления – манипуляторы и механизмы, предназначенные для работы с радиоактивными веществами на расстоянии. Ручные манипуляторы отличаются разнообразием, каждый из них предназначен для выполнения одной или нескольких несложных операций. Простейшим типом манипуляторов являются различного рода щипцы и захваты, ножницы, передвижные кассеты с захватами.

Центрифуга типа ОПн-8 – предназначена для отделения осадка от жидкости.

Весы аналитические электронные AS110/C – 1 класс точности, жидкокристаллический символьный индикатор с подсветкой.

Баня БКЛ-1 водная с электроподогревом – предназначена для нагревания образцов в химических стаканах, колбах или выпарительных чашках при проведении лабораторных работ. Баня может использоваться как водяная или песчаная баня.

Лампа выпарительная типа ЛСН-1 – для сушки (удаления влаги) анализируемых проб

Муфельная печь ТУ 16-531.408-72 – для прокаливания анализируемых проб (полное удаление влаги).

Химическая посуда — специальные и специализированные ёмкости различного конструктивного исполнения, объёма, и изготавливаемые из разнообразных материалов, устойчивых в агрессивных средах. При необходимости, лабораторная посуда обладает необходимой термостойкостью, прозрачностью и другими нужными физическими свойствами.

2.3. Приборы для измерения ИИ в радиохимическом анализе

Радиометр – прибор, предназначенный для измерения радиометрических физических величин, плотности потока частиц или фотонов, объемной удельной активности радионуклидов в аэрозолях, газах, жидкостях.

Спектрометр – прибор, предназначенный для измерения энергии частиц или фотонов, испускаемыми радиоактивными веществами.

Измеритель дозы – прибор, предназначенный для измерения дозы: экспозиционной, поглощенной в воздухе, воде, ткани, эквивалентной, амбиентной, направленной, индивидуальной.

Дозиметры – приборы, объединяющие функции измерителя дозы и мощности дозы.

Радиоактивный распад имеет статистическую природу; атомные ядра превращаются независимо друг от друга. Каждый радионуклид имеет характерную для него вероятность распада. Для отдельного атома нестабильного нуклида нельзя предсказать момент времени его превращения. Определенный смысл имеют только утверждения о поведении в среднем большой совокупности атомов. Вероятность распада обуславливается свойствами данного вида ядер, т.е. она не зависит от химического и физического состояния радионуклида. На радиоактивность не оказывают влияния, внешние воздействия: электрические и магнитные поля, нагревание, давление, агрегатное состояние и т.д. Явление радиоактивности всегда сопровождается выделением энергии. Нуклид является стабильным относительно радиоактивного распада, если его масса меньше суммы масс всех продуктов, образующихся при предполагаемом распаде. Поэтому радиоактивный распад возможен только в том случае, если эта сумма масс будет меньше массы исходного нуклида.

По типу испускаемых частиц различают следующие виды радиоактивного распада:

α -распад;

β -распад, который подразделяется на β^- -распад и β^+ -распад и электронный захват (э.з.);

эмиссия γ -квантов, электронов конверсии;

спонтанное деление.

Нуклиды, находящиеся в сравнительно сильно возбужденном состоянии, могут также распадаться путем испускания так называемых запаздывающих нейтронов или протонов. Радиоактивный распад относится к ядерным превращениям. Его особенность заключается в том, что он происходит спонтанно, без внешнего воздействия.

Активность определяется как отношение числа dN спонтанных самопроизвольных ядерных превращений, происходящих в источнике (образце) за интервал времени dt , к этому интервалу.

$$A = dN/dt, \quad (2.1)$$

где dN - ожидаемое число спонтанных ядерных превращений из данного энергетического состояния, происходящих за промежуток времени dt ;

λ - постоянная радиоактивного распада.

Активность в соответствии с формулами (1) и (2) уменьшается по закону:

$$A = \lambda N = N_0 e^{-0,693t/T_{1/2}} \quad (2.2)$$

За единицу активности в системе СИ принят Беккерель (Бк). 1 Бк — это активность такого источника (образца), в котором за 1 с происходит 1 распад: $1 \text{ Бк} = 1 \text{ распад/с}$.

Используется также внесистемная единица активности - Кюри (Ки).

1 Кюри — это активность такого источника (образца) радионуклида, в котором за время 1 с происходит $3,7 \cdot 10^{10}$ спонтанных ядерных превращений.

Таким образом: $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$, или $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$.

Отношение активности радионуклида A в источнике к массе, объему (для объемных источников), или площади поверхности (для поверхностных источников) называется соответственно удельной, объемной или поверхностной активностью источника.

Выбор единиц этих величин определяется конкретной задачей. Например, допустимую среднегодовую концентрацию радионуклида в воздухе выражают в Беккерелях на кубический метр (Бк/м³), а в воде удобнее выражать в беккерелях на литр (Бк/л), так как суточное потребление воды определяется обычно в литрах.

Распад радиоактивных атомов сопровождается испусканием корпускулярных частиц (α , β^+ -, β^- - частицы, конверсионные электроны) и (или) фотонов. При этом число ядерных превращений далеко не всегда совпадает с числом испускаемых корпускулярных частиц и еще реже - с числом испускаемых фотонов. Активность характеризует лишь число ядерных превращений. Поэтому термины α -, или β^- -активность, или γ -активность недопустимы.

Связать активность радионуклида с числом испускаемых частиц или фотонов можно, зная схему распада нуклида.

Прежде чем приступить к изучению предмета радиометрии, необходимо ввести ряд терминов и понятий, используемых в этом разделе.

Радиометрия – (от радио... и ...метрия), совокупность методов измерений активности (числа распадов в единицу времени) нуклидов в радиоактивных источниках. Родоначальниками Р. можно считать Э. Резерфорда и Х. Гейгера, впервые в 1930 осуществивших с помощью искрового счётчика определение числа α -частиц, испускаемых в 1 сек 1 г Ra (удельная активность).

Активность радионуклида удельная – отношение активности радионуклида в радиоактивном образце к массе образца.

Активность радионуклида объемная – отношение активности радионуклида в радиоактивном образце к объему образца.

Дозиметр – прибор для измерения дозы и/или мощности дозы ионизирующего излучения и/или энергии, переносимой ионизирующим излучением или переданной им объекту, находящемуся в поле его действия.

Ионизирующее излучение – потоки заряженных частиц высокой энергии, которые непосредственно или косвенным путем вызывают ионизацию вещества.

Источник ионизирующего излучения – устройство или вещество, уровень ионизирующего излучения от которого требует применения по отношению к нему норм и правил обеспечения радиационной безопасности.

Контроль радиометрический – определение содержания радионуклидов на поверхности кожных покровов, одежды, обуви, предметов в воздухе, в воде, пищевых продуктах, строительных материалах, на других поверхностях и в средах. Результаты контроля используются для сопоставления с производными показателями нормирования активности.

Радиохимия – наука о качественных изменениях радиоактивных изотопов под влиянием изменения количественного состава ядра.

Единицы радиоактивности – в системе СИ единицей радиоактивности является 1 беккерель равный 1 распаду в 1 секунду $1\text{Бк} = 1 \frac{\text{расп.}}{\text{сек.}}$ внесистемная единица 1 кюри (Ки) $1\text{Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ расп/сек} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

Радиоактивный элемент – совокупность радиоактивных атомов с одинаковым зарядом ядра и различной массой (например ^{235}U , ^{238}U и т.п.).

Радиоактивный нуклид – это вид радиоактивных атомов с одинаковым зарядом ядра и одинаковой массой (^{226}Ra , ^{238}U , ^{239}Pu).

Радиохимический анализ (РХА) – это определение качественных и количественных соотношений радиоактивных нуклидов, достигаемое путем сочетания различных специфических методов выделения, разделения и идентификации радионуклидов, находящихся в различных системах.

Радиоактивность – представляет собой самопроизвольное превращение одних ядер в другие, сопровождаемые испусканием различных частиц.

Нуклидами – называют атомы или ядра с данным числом нуклонов и данным зарядом ядра.

Изотопы – нуклиды, имеющие одинаковое число протонов ($A=\text{const}$), они различаются только числом нейтронов. Поэтому все изотопы принадлежат к одному и тому же химическому элементу.

Аппаратура контроля радиационной обстановки (аппаратура КРО) – совокупность технических средств, предназначенных для контроля радиационных параметров.

Радиоактивный распад – переход неустойчивых (радиоактивных) ядерных систем в более устойчивое состояние в результате самопроизвольного (спонтанного) распада.

Грубая погрешность измерения – погрешность измерения, существенно отличающаяся от ожидаемой при данных условиях измерений.

Детектор – чувствительный элемент, предназначенный для преобразования энергии ионизирующего излучения в другой вид энергии, удобный для регистрации и/или измерения одной или нескольких величин, характеризующих воздействие излучения на детектор.

Источник радиационный – электрофизическое не радионуклидное устройство (рентгеновская трубка, ускоритель, генератор и т.д.), в котором

ионизирующее излучение возникает за счет изменения скорости заряженных частиц, их аннигиляции или ядерных реакций.

Источник радионуклидный – источник ионизирующего излучения, содержащий радионуклид или смесь радионуклидов.

Контроль дозиметрический - измерение мощностей доз излучений на производстве, определение эквивалентных и эффективных, накопленных, индивидуальных и коллективных доз облучения от различных источников ионизирующего излучения, с целью сопоставления с установленными нормативами облучения и контрольными уровнями.

Контроль с отбором проб – способ получения информации о контролируемом параметре, при котором в установленном порядке происходит предварительный отбор и(или) подготовка пробы (отбор жидкости в кювету, прокачивание воздуха через фильтр, выпаривание, концентрирование, радиохимическое выделение нуклида и т.п.).

Контролируемый радиационный параметр – физическая величина, характеризующая поля ионизирующих излучений, источники ионизирующих излучений и результаты взаимодействия ионизирующих излучений со средой, используемая для оценки состояния РО.

Метод измерений – способ решения измерительной задачи, характеризуемый его теоретическим обоснованием и разработкой основных приемов применения средств измерений (т.е. совокупность приемов использования принципов и средств измерений).

Относительная погрешность – отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины, выражается в %.

Погрешность измерения – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Промежуточные источники – считаются источники с толщиной, вызывающей заметное самопоглощение излучения в материале источника, которое следует учитывать.

Рабочее место – место (помещение) пребывания персонала для выполнения производственных функций в течение не менее половины рабочего времени или двух часов непрерывно. Если работа осуществляется в различных участках помещения, то рабочим местом считается наиболее радиационноопасный участок.

Радиоактивное загрязнение – наличие или распространение радиоактивных веществ сверх их естественного содержания в окружающей среде, на поверхности материалов или в объемах жидкостей, в теле человека и других объектах.

Радиометр – прибор для измерения ионизирующих излучений, предназначенный для получения измерительной информации об активности нуклида (нуклидов), плотности потока и о потоке ионизирующих частиц и фотонов.

Спектрометрические приборы и установки (спектрометры) – приборы для измерения распределения (спектра) величин, характеризующих поле

ионизирующего излучения по энергии, интервалам времени между импульсами.

Тонкослойные источники – считаются такие, для которых можно пренебречь самопоглощением и саморассеянием в собственном веществе источника.

Толстослойные источники – считаются такие, для которых дальнейшее увеличение толщины не приводит к увеличению скорости счета от источника.

Абсолютная погрешность измерения Δx – погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины, определяется $\Delta x = x_{изм} - x$, где $x_{изм}$ значение при измерении, x - истинное значение измеряемой величины.

Схема распада радионуклида – энергетическая диаграмма, содержащая сведения о качественных и количественных характеристиках излучений, последовательности испускания частиц или квантов и последовательных состояний ядер элементов.

Радиохимическая лаборатория – специально оборудованная лаборатория, предназначенная для проведения химических операций с радиоактивными веществами.

2.3.1. Лабораторное оборудование

В зависимости от группы токсичности изотопа, его радиоактивности (активности) на рабочем месте и сложности химических операций все работы с радиоактивными изотопами, так же, как и радиохимическая лаборатория, разделяются на три класса. Класс радиохимической лаборатории определяет комплекс защитных мероприятий (КЗМ), который должен обеспечить безопасные условия работы персонала и предотвратить загрязнение объектов внешней среды. КЗМ включает рациональное размещение, планировку и отделку помещений; эффективные системы вентиляции и канализации; контроль за соблюдением норм и правил радиационной безопасности; организацию системы транспортировки, получения, хранения и учёта радиоактивных изотопов, сбора и удаления радиоактивных отходов; выбор и отработку технологических режимов, защитной техники и оборудования; разработку прогноза возможных аварийных ситуаций и мер по их ликвидации. Неконтролируемый сброс газообразных, жидких и твёрдых радиоактивных отходов из радиохимических лабораторий всех классов запрещен.

Радиохимическая лаборатория 3-го класса предназначена для проведения работ с наименьшими («индикаторными») активностями. В таких лабораториях осуществляется большинство аналитических, химических и биологических исследований с использованием радиоактивных изотопов в качестве изотопных индикаторов. Для защиты персонала от радиоактивных загрязнений и от излучения используют защитную одежду, кюветы из пластмассы или нержавеющей стали, простейшие дистанционные

приспособления (пинцеты, щипцы и т.д.), защитные экраны из оргстекла, свинца и т.п. Работы с эманулирующими (образующими радиоактивные изотопы радона), летучими, порошкообразными веществами проводятся в боксах или вытяжных шкафах. Предусмотрены дополнительные средства индивидуальной защиты (респираторы или противогазы, пластиковая спецодежда). В составе радиохимической лаборатории 3-го класса рекомендуется иметь душевую и помещения для хранения и фасовки радиоактивных веществ.

Радиохимическая лаборатория 2-го класса предназначена для проведения работ со средним уровнем активности (радиохимические, физико-химические, металлофизические, физические, некоторые биологические и др. виды работ). Лаборатории размещают в отдельном здании (или изолированной части здания). Предусматривается возможность быстрой и эффективной дезактивации моющими растворами помещения и оборудования. Операции с радиоактивными веществами проводятся в боксах или вытяжных шкафах с применением манипуляторов и др. дистанционных приспособлений, используются также перчатки, герметично вмонтированные в фасадную стенку. В составе лаборатории должен быть санпропускник или душевая для дезактивации тела или пластиковой спецодежды, пункт радиационного (дозиметрического) контроля на выходе и хранилище радиоактивных изотопов и отходов.

Радиохимическая лаборатория 1-го класса предназначена для проведения работ с высокими уровнями активности (верхний предел активности для них не устанавливается). Они оборудованы для работ по выделению радиоактивных изотопов из продуктов деления ядерного топлива, облученных материалов и мишеней, сборки тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) ядерных реакторов и др. работ, требующих высокого уровня герметизации защитного оборудования. Радиохимическая лаборатория размещаются в отдельном здании или изолированной части здания с отдельным входом только через санпропускник. Для повышения безопасности работ Радиохимическая лаборатория имеют 3-зональную планировку: I зона (необслуживаемые помещения) - камеры и боксы, где размещается оборудование для работы с радиоактивными веществами, являющееся основным источником радиоактивного загрязнения; II зона - помещения (периодически обслуживаемые) для проведения ремонта оборудования, транспортировки, загрузки и выгрузки радиоактивных материалов из I зоны, хранения радиоактивных отходов; III зона - помещения постоянного пребывания персонала, операторские, пульта управления и др. Для исключения переноса загрязнения между II и III зонами оборудуется санитарный шлюз с пунктом дозиметрического контроля. Все работы с радиоактивными веществами производятся в герметичных боксах и камерах с помощью дистанционных манипуляторов. Наблюдение ведётся с помощью перископов, окон из свинцового стекла, телевизионной аппаратуры. Степень герметизации защитного оборудования и надёжная биологическая защита обеспечивают полную безопасность для персонала в помещениях III зоны. В

помещениях II зоны персонал работает в герметичных изолирующих костюмах в течение безопасного (предельно допустимого) времени. Помещения I зоны могут посещаться персоналом только в аварийных ситуациях или после проведения дезактивации дистанционными средствами до предельно допустимых уровней; безопасность работ и используемые защитные меры контролируются службой радиационной безопасности.

Средства измерений ионизирующего излучения (принят термин “аппаратура радиационного контроля” - АРК) весьма разнообразны по назначению, виду регистрируемого излучения, классу точности и т.д. При этом выделяют следующие группы приборов:

1. Дозиметрические приборы и установки (дозиметры) различают измерители дозы и измерители мощности дозы (дозы за единицу времени).

Из АРК к измерителям дозы относятся комплекты индивидуальных дозиметров КИД-6 и КИД-7, а к измерителям мощности дозы - корабельный γ -дозиметр КДГ-1, корабельный нейтронный дозиметр КДН-2 и ряд других.

2. Различают радиометры, позволяющие определять активность нуклида в источнике, измерять удельную или объемную активность нуклида в пробе, оценивать поверхностную активность (уровень загрязнения РВ), а также зафиксировать поток или плотность потока ионизирующих частиц.

Среди табельной АРК к радиометрам следует отнести корабельный β -радиометр КРБ-1, корабельный α -радиометр КРА-1.

3. В практике дозиметрии широко применяют спектрометры энергии. С их помощью можно определить не только общую величину активности, но и решить чрезвычайно важную практическую задачу: идентифицировать радионуклидный состав.

К подобной аппаратуре относится корабельный спектрометр КС-100.

4. Комбинированные приборы и установки, выполняющие функции как дозиметра, так и радиометра; или дозиметра и спектрометра, или радиометра и спектрометра. В эту группу входят корабельный β - γ -радиометр КРБГ-1, корабельный радиометр излучений человека КРИЧ-1.

5. Многофункциональные приборы и установки, выполняющие две и более измерительные функции дозиметра или радиометра: корабельный α - β -радиометр КРАБ-2, КРАБ-3; корабельный α -нейтронный радиометр КРАН-1, аэрозольно-газовый радиометр воздуха РВ-4, корабельные радиометры воды и пищевых продуктов КРВП-2, КРВП-3АБ, комбинированный корабельный радиометр КРК-1, измеритель мощности дозы ИМД-12 и другие.

6. Индикаторные приборы, предназначенные для обнаружения и ориентировочной оценки ионизирующего излучения.

На кораблях с ядерными энергетическими установками следует выделить еще одну группу аппаратуры радиационного контроля - универсальные установки. Это сложный (на базе ЭВМ) комплекс приборов для одновременного или последовательного измерения нескольких величин, характеризующих различные виды и параметры ИИ. Данные установки постоянно контролируют работу ЯЭУ и радиационную обстановку на

корабле по всем радиационным (последние модели - не только радиационным) факторам. К ним относятся: корабельная дозиметрическая установка стационарная КДУС-1, корабельная установка радиационного контроля КУРК-1, корабельный многоцелевой комплекс КМК-1 и другие.

2.3.2. Устройство и принцип работы КРК-1

Корабельный радиометр КРК-1 является одним из наиболее современных табельных средств и предназначен для измерения α - и β -активности проб различных объектов окружающей рабочей и природной среды (в том числе некоторых технологических вод).

Радиометр комбинированный КРК-1 предназначен для измерения концентрации альфа- и бета-активных изотопов в твердых, жидких и газообразных веществах.

Прибор состоит из измерительного пульта (счетного устройства УСЦ-02), различных блоков детектирования (БДИБ-01) и вспомогательного оборудования, предназначенного для отбора и обработки проб.

Основная погрешность измерений не превышает для α -частиц 25%, β -частиц - 20 % при времени измерения не более 1000 с в нормальных условиях. Радиометр работоспособен при наличии внешнего γ -излучения до 1 Р/ч при α -измерениях и до 0,1 мР/ч при β -измерениях. Диапазон скоростей счета при α -измерениях составляет от 0,03 до 1000; при β -измерениях от 2 до 1000 имп/с. Время установления рабочего режима не превышает 5 мин.

Измерение β -активности производится с помощью блока детектирования БДИБ-01, подключенного к счетному устройству УСЦ-02, а α -активности - с помощью блока детектирования БДИА-01.

Принцип работы блока детектирования БДИБ-01 основан на регистрации числа электрических зарядов, вызываемых β -частицами в газоразрядном счетчике СИ-14Б. Блок представляет собой единую систему из 2-х идентичных счетчиков. Основной счетчик имеет тонкое слюдяное окно, слабо поглощающее β -частицы, что позволяет ему регистрировать как β -частицы, так и γ -кванты. Компенсационный счетчик располагается над основным и отделяется от него стальным экраном, полностью поглощающим β -излучение, в результате чего этим счетчиком регистрируется только γ -излучение. Разность показаний основного и компенсационного счетчиков соответствует вкладу регистрируемой β -активности. В блок детектирования БДИБ-01 входит также свинцовый домик, в котором различают корпус, дверцу, стакан и крышку. Во внутренний объем домика устанавливается пробоотборник газов или держатель проб, который предназначен для установки проб на различном расстоянии от счетчика внутри свинцового домика. Толщина свинцовой защиты - 30 мм. В рабочем положении дверца домика закрывается и фиксируется замком.

Измерение α -активности (блок детектирования БДИА-01) основывается на регистрации сцинтилляций, вызываемых в детекторе (сернистом цинке,

активированном серебром) α -частицами. Сцинтиллятор выполнен в виде диска из органического стекла толщиной 4 мм с нанесенным покрытием - ZnS(Ag). Возникающие вспышки (сцинтилляции) благодаря фотоумножителю ФЭУ-82 преобразуются в электрические импульсы, амплитуда которых зависит от энергии, а частота - от количества α -частиц, попавших в детектор.

Конструктивно блок детектирования БДИА-01 состоит из основания и кожуха. В нижней части основания установлена кассета с выдвижной двусторонней чашкой для размещения различного вида проб, на которую надевается крышка.

Принцип работы блока обогащения основан на интенсивном перемешивании (и при необходимости нагревании) отобранной пробы в соответствующей по кислотности водной среде, в результате чего происходит осаждение радиоактивных изотопов на сорбенты - медную фольгу или сцинтиллятор для α -активных изотопов ^{210}Po и ^{239}Pu или анионо- и катионообменные фильтры - для β -радионуклидов. В конструкции блока обогащения различают кронштейн, корпус и крышку корпуса. В нижней части корпуса размещен нагревательный элемент, на который устанавливается резервуар, имеющий специальное химически- и термостойкое покрытие. Из блока обогащения резервуар извлекается с помощью откидной ручки. В рабочем положении резервуар находится в корпусе блока обогащения и плотно закрывается крышкой при помощи двух замков. На крышке корпуса укреплен патрон, внутри которого находится активный уголь для поглощения агрессивных веществ, способных из резервуара проникнуть в окружающую атмосферу. Крышка корпуса перемещается вдоль кронштейна по салазкам. Для извлечения резервуара из корпуса крышка поднимается вверх до ограничителя и автоматически фиксируется стопором.

Перемешивание отобранной пробы в процессе ее приготовления производится крыльчаткой, которую вращает электродвигатель, расположенный в корпусе. Для осаждения α -активных полония-210 и плутония-239 из отобранной пробы вещества в резервуар вставляется держатель, который имеет специальное кольцо для крепления медной фольги или сцинтиллятора-сорбента. Осаждение β -активных частиц также происходит с помощью держателя, в котором предусмотрен кронштейн для крепления кассет с расположенными в них фильтрами.

Устройство счетное УСЦ-02 работает в двух режимах: измерения скорости счета импульсов и проверки работоспособности. В режиме измерения скорости счета импульсов время экспозиции 10, 100 и 1000 с задается таймером и выбирается с помощью переключателя, имеющего три положения "10 s", "100 s" и АВТ. Кроме того, в положении АВТ производится автоматический выбор экспозиции в зависимости от частоты импульсов, поступающих на вход устройства. Если скорость счета импульсов превышает 1000 имп/с, то цифровые индикаторы начинают мигать. Максимальная экспозиция составляет 1000 с.

Нажатием кнопки ПУСК производится синхронный запуск пересчетной схемы и таймера, при этом на цифровом табло загорается светодиод. По окончании замера светодиод гаснет, а цифровые индикаторы фиксируют значение скорости счета импульсов, поступающих с блока детектирования. Повторным нажатием кнопки ПУСК показания сбрасываются и все счетчики устройства возвращаются в исходное состояние. Импульсы от блоков детектирования поступают на входное устройство УСЦ-02, которое при положении тумблера СЧЕТ-ВЫЧИТАТЕЛЬ в положении ВЫЧИТАТЕЛЬ выполняет функцию дискретного вычитателя.

Для проверки работоспособности устройства УСЦ-02 тумблер КОНТРОЛЬ-РАБОТА устанавливается в положение КОНТР, выбирается экспозиция "10 с" и кнопкой ПУСК включается пересчетная схема от внутреннего генератора. Через 10 с, после того как погаснет светодиод, табло должно зафиксировать скорость счета $190 \pm 0,1$ имп/с.

Питание установки осуществляется от сети переменного тока 220/127 В $\pm 10\%$ частотой 50 Гц. Кроме того, предусмотрена возможность питания блоков детектирования стабилизированным постоянным напряжением +12, -12, и +400 В.

Масса прибора составляет 12 кг, габариты: 380'260'180мм.

Пробоотборники радиоактивных аэрозолей ППА-2 и ППА-3 предназначены для отбора дисперсной фазы аэрозолей на аналитические фильтры типа АФА или любой другой фильтрующий материал; для отбора паров ^{131}I на фильтры типа СФЛ. Постоянная скорость прокачки воздуха не менее: ППА-2 - 80 л/мин; ППА-3 - 15 л/мин.

Измерение активности отобранной пробы может производиться при помощи радиометра КРК-1, а также на приборах и установках типа Б-2, КРВП-3, лабораторном спектрометре аэрозолей и др.

Пробоотборник позволяет производить отбор проб аэрозолей на аналитические фильтры при постоянной скорости прокачки воздуха, не зависящей от сопротивления на входе пробоотборника в диапазоне от 1960 до 13720 Па.

Анализируемый воздух микронагревателем прокачивается через фильтр, установленный в воздухозаборной воронке, и далее выбрасывается в атмосферу через выходной штуцер. По мере накопления пыли на фильтре, его сопротивление увеличивается, что должно приводить к снижению производительности микронагревателя за счет уменьшения скорости вращения электродвигателя, для компенсации этого эффекта в пробоотборнике введена дополнительная связь между перепадом давления на фильтре и питанием двигателя. Изменение давления на входе микронагревателя приводит к деформации сильфона, который через рычаг вызывает перемещение ползунка переменного сопротивления. При изменении сопротивления изменяется величина тока в базе транзистора усилителя обратной связи, что приводит к увеличению напряжения на выходе блока питания. При увеличении напряжения повышается скорость

вращения двигателя и, соответственно, производительность микронагревателя.

Таким образом, в начале отбора пробы микронагреватель работает в облегченном режиме, а затем с повышением нагрузки на входе, растет потребляемая им мощность, чем достигается оптимальный режим работы, а, следовательно, повышение надежности и экономичности.

Максимальное время отбора одной пробы не более 1 ч.

Питание пробоотборника осуществляется от однофазной сети переменного тока напряжением 127 В или 220 В, частотой 50 Гц.

Пробоотборник газов ВБ-50 предназначен для отбора проб воздуха с одновременным осаждением содержащихся в нем аэрозолей на фильтр АФА и последующего измерения β -активности пробы, обусловленной наличием в ней ИРГ. Принцип работы основан на принудительном создании вакуума в рабочем объеме пробоотборника. Диапазон измерения ИРГ- от 10^{-9} до 10^{-5} Ки/л.

Подготовка к работе радиометра заключается прежде всего в проверке работоспособности системы, в том числе пробоотборников.

Калибровка радиометра проводится по образцовому бета-источнику- $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$. Строят график зависимости коэффициента счета от положения измерительной кюветы в свинцовом домике. Определяют минимальную детектируемую активность, выполняют расчет соответствия погрешности измерения допустимым значениям.

Для измерения числа импульсов от пробы корпус пробоотборника помещают в свинцовый домик таким образом, чтобы окно пробоотборника было обращено в сторону газоразрядного счетчика.

Время непрерывной работы радиометра КРК-1 составляет 24 часа при нестабильности $\pm 15\%$

Время измерения приготовленной пробы составляет не более 1000 с.

Уровень собственного фона радиометра не превышает:

– 0,03 имп/с для альфа-измерений;

– 2 имп/с для бета-измерений

Радиометр КРК-1 работоспособен в диапазоне температур от 0 до 40°C , а также после пребывания в выключенном состоянии от минус 50 до $+65^{\circ}\text{C}$.

Дополнительная погрешность измерения в диапазоне температур от 0 до 40°C не должна превышать: $\pm 6\%$ на 10°C для альфа и бета-измерения.

Время установления рабочего режима не превышает 5 мин.

Питание радиометра осуществляется от сети переменного однофазного тока напряжением 127 и 220 В при частоте 50 Гц или напряжением 220 В при частоте 400 Гц.

2.3.3. Устройство и принцип работы КРВП-3Б

Радиометр КРВП-3Б предназначен для измерения объемной активности радионуклидов, содержащихся в твердых и жидких веществах.

Радиометр позволяет проводить измерение прямым методом или с предварительным обогащением в следующих пределах:

а) прямым методом от $5 \cdot 10^{-8}$ до $5 \cdot 10^{-6}$ Ку/л при измерении β -активности воды и от $5 \cdot 10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-6}$ Ку/кг при работе с твердыми пробами;

б) методом с предварительным обогащением от $1 \cdot 10^{-10}$ до $1 \cdot 10^{-8}$ Ку/л при измерении β -активности воды.

Радиометр КРВП-3АБ является дальнейшей модификацией КРВП-2 и предназначен для измерения как удельной β -, так и α -активности воды и пищевых продуктов в пределах:

- по α -загрязненности:

а) прямым методом при равномерном распределении α -активных веществ по объему приготовленной пробы: от $3 \cdot 10^{-9}$ до $1 \cdot 10^{-6}$ Ку/л или Ку/кг;

б) методом с предварительным обогащением: от $1 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-8}$ Ку/л или Ку/кг при измерении активности воды и пищевых продуктов;

- по β -загрязненности:

а) прямым методом от $5 \cdot 10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-6}$ Ку/кг при измерении активности воды и пищевых продуктов;

б) методом с предварительным обогащением от $1 \cdot 10^{-10}$ до $1 \cdot 10^{-8}$ Ку/л при определении активности воды.

Оценка радиоактивности образца осуществляется путем определения количества происходящих актов распада радионуклидов в его объеме за определенный интервал времени с последующей поправкой полученного значения на длительность этого временного интервала и объем пробы. Факт распада фиксируется путем регистрации испускаемых при распаде частиц и квантов, а радиоактивность образца определяется скоростью их счета.

Структурная схема радиометра включает в себя (рис.2/1.): детектор – Д, таймер - Т, устройство стандартизации и отбора - УСО, счетчик импульсов - СИ, индикатор - И.

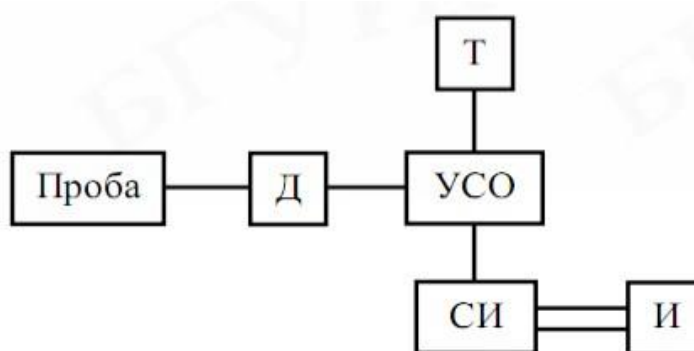


Рис.2.1. Структурная схема радиометра КРВП

Детектор обеспечивает преобразование информации об излучении пробы в электрические сигналы. В качестве детектора применяется счетчик Гейгера-Мюллера, заключенный в свинцовый домик для снижения влияния внешнего гамма-излучения. Собственный фон счетчика не превышает 2,1 распад в секунду.

Временной интервал, в течении которого производится регистрация импульсов детектора излучения, задается таймером.

Устройство стандартизации и отбора преобразует сигналы, поступающие в течении интервала времени измерения от устройства детектирования, в импульсы стандартной амплитуды и длительности, передавая их на счетчик импульсов. Полученный результат отображается на табло индикатора.

Основным информационным параметром при регистрации активности вещества в радиометре служит скорость счета электрических импульсов или интенсивность потока ионизирующего излучения.

3. Практические работы по радиохимии

3.1. Определение разрешающего времени радиометрической установки

Разрешающим временем счетной установки называется минимальный интервал времени между двумя последовательными попаданиями частиц или γ -квантов, которые могут быть зарегистрированы отдельно. Разрешающее время принято выражать в секундах или минутах.

Счетная установка после регистрации частицы или γ -кванта в течение некоторого времени остается нечувствительной к последующим частицам, попадающим в счетчик. Поэтому любое счетное устройство обладает разрешающим временем, которое ограничивает величину измеряемой активности.

Так как счетная установка состоит из нескольких элементов: счетчик, усилительное устройство, пересчетный блок и др., то вводится понятие «разрешающее время» всей установки и «разрешающее время» каждого из элементов этой установки.

Общее разрешающее время радиометрических установок является величиной переменной, так что можно рассматривать лишь среднее разрешающее время τ_p в зависимости от регистрируемой скорости счета, т.е.:

$$\tau_p = f(n_{сч}) \quad (3.1)$$

Эта зависимость может быть выведена теоретически, исходя из следующих предпосылок:

- для того, чтобы радиометрическая установка зарегистрировала ионизирующую частицу в момент времени от t до $t + dt$, необходимо, чтобы за время от $t - \tau_p$ до t через счетчик не прошла ни одна частица;

- вероятность того, что ни одна частица не попадает в счетчик за время t , определяется как R из соотношения:

$$R = e^{-nt} \quad (3.2)$$

где n - среднее число частиц (истинная скорость счета), попадающих в счетчик в единицу времени.

Значение разрешающего времени можно находить экспериментальным путем по следующему соотношению:

$$\tau_p = \frac{1}{e \cdot n_{сч \max}} \quad (3.3)$$

Для этого следует взять достаточно активный источник излучения и приближать его к счетчику до тех пор, пока число сосчитываемых в единицу времени импульсов не достигнет наибольшего значения $n_{сч \max}$. Дальнейшее приближение источника излучения будет вызывать уменьшение числа сосчитанных импульсов. Подстановкой найденного значения $n_{сч \max}$ в формулу (3.1), рассчитывается τ_p . Однако данный метод (метод подвижного источника) связан с перегрузкой радиометрической аппаратуры и применяется редко.

Более удобен для определения τ_p метод серии эталонов. Сущность его заключается в том, что готовится серия возрастающих по активности эталонов с известным количеством радиоактивного изотопа или известной абсолютной активностью. Обычно активность последующего эталона увеличивают пропорционально, т.е.:

1-й эталон - активность A_1 ;

2-й эталон - активность $A_2=2A_1$;

3-й эталон - активность $A_3=3A_1$;

n-й эталон - активность $A_n= nA_1$

Далее снимается скорость счета, соответствующая каждому эталону: $n_{сч}$; $n_{сч1}$; $n_{сч2}$; $n_{сч3}$;..... $n_{счn}$; и строится графическая зависимость (рис.3.1.).

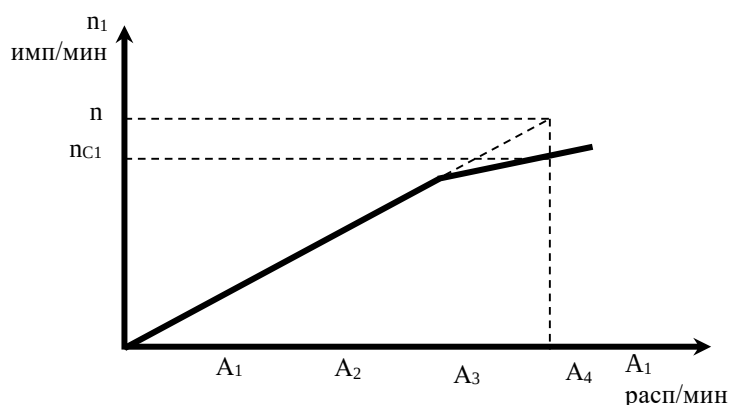


Рис.3.1. Определение τ_p методом серии эталонов

Из графика (рис.1) видно, что при малых скоростях счета, когда не наблюдается просчетов, получается прямая. При дальнейшем увеличении активности эталонов проявляются просчеты, наблюдается отклонение от линейной зависимости.

Удобен для определения P (τ_p) и τ_p метод короткоживущего изотопа $T_{1/2} = 0,5 \div 3$. Для этого источник высокой активности помещается под счетчик и через определенные интервалы времени измеряются скорости счета, а затем строится логарифмическая зависимость $\lg n_{сч} = f(t_i)$.

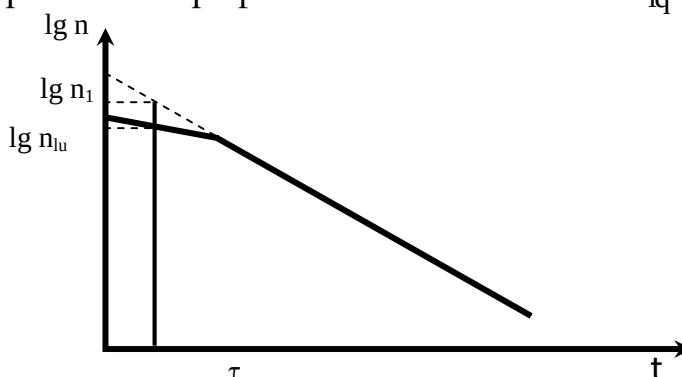


Рис.3.2. Определение τ_p по кривой распада короткоживущего изотопа

В начальный период времени наблюдаются просчеты, а когда активность источника вследствие распада изотопа уменьшится, зависимость $\lg n_{сч} = f(t_i)$ будет линейной.

Разрешающее время электронной схемы усилительных блоков обычно составляет от $5 \cdot 10^{-5}$ до 10^{-6} сек. Это значительно меньше разрешающего времени самого счетчика Гейгера-Мюллера, величина разрешающего времени которого составляет примерно $2 \cdot 10^{-4}$ сек.

Общее разрешающее время радиометрической установки связано с разрешающим временем, составляющим счетную схему блоков сложной зависимостью. Так электромеханический счетчик ввиду своей инерционности обладает максимальным значением разрешающего времени, которое должно определять общее разрешающее время τ_p установки.

Однако введение дополнительного блока (пересчетной схемы с коэффициентом пересчета K) позволяет уменьшить загрузку электромеханического счетчика и снизить, таким образом, разрешающее время в K раз.

В общем случае разрешающее время не есть постоянная величина для данного счетного устройства, при больших значениях активности оно зависит от регистрируемой скорости счета импульсов.

3.2. Метод двух препаратов. Проверка стабильности работы

Метод определения разрешающего времени с помощью двух препаратов основан на сравнении суммы скоростей счета импульсов ($n_1 + n_2$) при измерении каждого из двух препаратов со скоростью счета импульсов ($n_{1,2}$) при одновременном измерении обоих препаратов. Так как при измерении двух препаратов потери импульсов более вероятны, чем при измерении каждого в отдельности, то справедливо неравенство:

$$n_1 + n_2 > n_{1,2} \quad (3.4)$$

Исходя из вышеизложенного можно отметить, что зарегистрированное установкой число частиц можно записать соотношением:

$$n_n = \frac{n}{1 - n\tau_p} \quad (3.5)$$

или

$$n_n = ne^{-n\tau_p}, \quad (3.6)$$

что тоже самое, где n_n — полное число частиц, зарегистрированных установкой в отсутствие просчетов ($\tau_p = 0$); n — число частиц, зарегистрированных счетчиком с учетом разрешающего времени; $n\tau_p$ — доля не сосчитанной счетной установкой частиц.

Соотношения (3.4) и (3.5) совпадают, когда $n\tau_p \ll 1$, что наблюдается при сравнительно малых скоростях счета импульсов.

Для расчета полного числа частиц n_n можно пользоваться обоими уравнениями. Однако, формула (3.4) применяется, если величина

произведения $n\tau_p$ не превышает 0,06 (для счетчиков Гейгера-Мюллера это соответствует скоростям счета импульсов до 20000 имп./мин).

Исходя из (3.6) будем иметь

$$\frac{n}{n_n} = e^{n\tau_p} \quad (3.7)$$

что представляет собой поправку на разрешающее время τ_p , которая вводится при скорости счета импульсов от источника $n_n \gg 6000$ имп./мин.

Разрешающее время τ_p можно измерить несколькими методами. Наиболее простым считается метод двух препаратов, сущность которого сводится к измерению скоростей счета импульсов двух приблизительно одинаковых источников излучений: сначала вместе, затем порознь.

Поскольку метод двух препаратов основан на выявлении небольших разностей между большими величинами, то для получения достаточной точности отдельные измерения должны производиться в течение длительного времени (около 20 мин).

Пусть полное количество частиц (n_{n1} и n_{n2}), попадающих в счетчик за единицу времени от обоих образцов, будет приблизительно одинаково, т.е.

$$n_1 + n_2 = n_{1,2} \quad (3.8)$$

Измеренные скорости счета импульсов образцов n_1 и n_2 будут меньше полной активности этих препаратов. Полная и зарегистрированная скорости счета импульсов препарата с учетом разрешающего времени τ_p связана соотношением (2.4), тогда на основании этого выражение (3.8) будет иметь вид:

$$\frac{n_{1,2}}{1 - n_{1,2}\tau_p} = \frac{n_1}{1 - n_1\tau_p} + \frac{n_2}{1 - n_2\tau_p} \quad (3.9)$$

Предполагая, что τ_p мало по сравнению с единицей времени, пренебрегая членами содержащими τ_p^2 , значение которого получается при решении равенства (3.9) относительно τ_p , получим значение разрешающего времени в виде соотношения:

$$\tau_p = \frac{n_1 + n_2 - n_{1,2}}{2n_1n_2} \quad (3.10)$$

Окончательное выражение для τ_p , с учетом фона, можно представить:

$$\tau_p = \frac{n_1 + n_2 - n_{1,2} - n_\phi}{2n_1n_2} \quad (3.11)$$

Величина разрешающего τ_p времени несколько различна для счетчиков одного и того же типа и увеличивается при старении счетной установки. Поправка на разрешающее время:

$$p(\tau_p) = \frac{1}{1 - \tau_p n_i} \quad (3.12)$$

определяемая из соотношений (3.4) и (3.6) и их дальнейших преобразований, вводится при измерении радиоактивных препаратов с высокой активностью, когда потери импульсов, а, следовательно, и дополнительные погрешности, за счет этого фактора, могут быть существенны.

Истинная скорость счета импульсов, обусловленная радиоактивностью, определяется путем введения поправок в измеренную скорость счета на разрешающее время и фон:

$$n_0 = n_\Sigma p(\tau_p) - n_\phi \quad (3.11)$$

где n_Σ – измеренная скорость счета импульсов от радиоактивности и фона установки.

Величина $p(\tau_p) \geq 1$. Поправка на разрешающее время при измерении фона обычно не вводится.

Данный метод определения разрешающего времени τ_p радиометрической установки основан на выявлении небольшой разницы между большими величинами, поэтому, для достижения хорошего результата, все измерения должны быть выполнены с высокой точностью. В связи с этим время каждого измерения выбирается достаточно большим (20-30 мин).

Определение разрешающего времени τ_p и поправки на разрешающее время $p(\tau_p)$, по методу двух препаратов, следует проводить для таких скоростей счета, при которых потери активности из-за конечного разрешающего времени не превышают 10%. Для установки со счетчиками Гейгера-Мюллера это соответствует скорости счета импульсов вплоть до 20000 *имп/мин*.

При перемещениях препаратов стараться сохранить неизменной геометрию измерения.

При проверке стабильности установки необходимо выполнить не менее 8-ми измерений. Геометрию необходимо выбирать такой, чтобы скорость счета не превышала 6000 *имп/мин*.

При стабильной работе радиометрической установки, вносимые ею случайные погрешности пренебрежимо малы, поэтому результаты измерений радиоактивности должны быть распределены по закону Пуассона. Оценка степени близости наблюдаемого в опыте распределения к распределению Пуассона производится с помощью $\chi^2_{\text{эсп.}}$ - критерия:

$$\chi^2_{\text{эсп.}} = (m-1) \frac{S_N^2}{\sigma_{N_{\text{пуасс.}}}^2} = \frac{\sum_{i=1}^m (N_i - \bar{N})^2}{\bar{N}} \quad (3.12)$$

где $S_N^2 = \sum_{i=1}^m (N_i - \bar{N})^2 / (m-1)$ – выборочная дисперсия числа импульсов;
 $\sigma_{N_{пуасс.}}^2 = \bar{N}$ – дисперсия числа импульсов при пуассоновском распределении; N_i – число импульсов при i -ом измерении; $\bar{N}$ – среднее число импульсов, найденное по результатам всех измерений; m – число измерений.

Полученное экспериментальное значение $\chi_{\text{экс.}}^2$ -критерия сравнивается с табличным $\chi_{0,05}^2$ для 5% уровня значимости и при данном числе степеней свободы $(m-1)$. Если $\chi_{\text{экс.}}^2 \leq \chi_{0,05}^2$, то имеет место распределение числа импульсов по закону Пуассона. На этом основании можно заключить, что радиометрическая установка работает стабильно в длительном режиме, для этого не обходимо провести не менее 10 измерений по 20-30 минут.

При кратковременном режиме работы радиометрической установки и небольших количествах измерений стабильность её определяется по формуле

$$\alpha = \frac{n_1 - n_2}{\sqrt{\frac{n_1 - n_2}{t_{изм}}}} \quad (3.13)$$

При $\alpha > 2$ считают, что установка работает нестабильно.

Оборудование и материалы

1. Радиометрическая установка с торцовым газоразрядным счетчиком.
2. Два радиоактивных препарата β – излучения с регистрируемой активностью от 3000 до 20000 имп/мин.

Ход работы

1. Произвести предварительное измерение скоростей счета импульсов от двух препаратов на 2 или 3 полку стационарного свинцового домика. Выбрать полку для последующих измерений с таким расчетом, чтобы скорость счета импульсов от двух препаратов лежала в пределах 3000-20000 имп/мин.

2. Измерить в течение 20 мин. активность обоих препаратов $N_{1,2}$ одновременно, разместив их по оси счетчика равномерно под его окном. Затем поочередно произвести измерение каждого препарата N_1 и N_2 в отдельности по 20 мин, стараясь сохранять их места прежнего размещения. Измерить фон радиометрической установки перед началом измерения препаратов и после всех одиночных измерений по 5 мин. каждое измерение.

3. Определить скорость счета импульсов n_i каждого измерения.

4. Определить разрешающее время τ_p радиометрической установки. Рассчитать поправки на разрешающее время и истинные скорости счета импульсов от препаратов n_{0i} в каждом измерении. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты измерений скоростей счета импульсов

Вид измерения	Время измерений t, мин	Показания прибора, N, имп.	Скорость счета имп. <i>имп/мин</i>	$p(\tau_p)$	Истинная скор. счета <i>имп/мин</i>
Два препарата					
1 препарат					
2 препарат					

5. Произвести 10 измерений одного из препаратов по 10 мин. каждое.

6. Рассчитать критерий и оценить стабильность радиометрической установки.

Методы определения радиоактивности в известной степени условно разделяют на лабораторные и экспрессные. Экспрессные позволяют достаточно быстро и с удовлетворительной точностью провести необходимые исследования с помощью аппаратуры, имеющейся на кораблях с ЯЭУ.

Под лабораторными методами понимают радиометрические и иные исследования, которые проводятся на различных установках в лабораторных условиях в отличие от корабельных, где табельная АРК предназначена для решения конкретных практических задач радиационного контроля, связанных с эксплуатацией кораблей, оснащенных ЯЭУ.

Лабораторные методы находят широкое применение в практике контроля за РБ на как наиболее точные, чувствительные, универсальные, в ряде случаев позволяющие идентифицировать радионуклидный состав, проводить глубокие радиоэкологические исследования, решать экспертные задачи и многое другое. Следует заметить, что в конструкциях современной АРК, используемой на кораблях, лежат те же принципы измерения радиоактивности, что и в лабораторных установках.

В лабораторных условиях для определения β -активности проб используется большое количество различных приборов и установок. В практике наиболее часто встречаются ДП-100, ИМД-12, УМФ-1500, РУБ-01 различных модификаций, а также радиометры (КРВП-2, КРВП-ЗАБ, КРК-1 и другие), которые будут рассмотрены ниже. В качестве детектора чаще всего используются газоразрядные счетчики, помещаемые для снижения g -фона в защитный, обычно свинцовый домик, или применяют специальные малофоновые установки с электронными схемами, уменьшающими влияние внешнего γ -излучения.

Чем толще защита, тем меньше γ -фон, тем более низкие активности можно зарегистрировать.

Измерение активности источников по альфа, бета или гамма-излучению является одной из основных и наиболее распространенных задач радиометрии. Существует два метода измерения активности - абсолютный и относительный.

Абсолютный метод измерения активности заключается в определении полного числа актов распадов, происходящих в радиоактивном источнике, по

зарегистрированной на радиометрической установке скорости счета от этого источника.

Относительный метод измерения активности заключается в сравнении скорости счета от исследуемого источника со скоростью счета от эталонного источника, абсолютная активность которого известна.

В общем случае расчет "абсолютной" активности (под абсолютной активностью радиоактивного источника понимается полное число актов распада, происходящих в веществе данного источника) ведется по формуле:

$$A_{\text{абс}} = n_{\text{сч}} K_{\text{св}} \quad (3.14)$$

где $A_{\text{абс}}$ – абсолютная активность, расп/мин;

$n_{\text{сч}}$ – скорость счета, имп/мин;

$K_{\text{св}}$ – коэффициент связи, расп/имп.

Коэффициентом связи называется величина, учитывающая ряд эффектов, которые обусловлены параметрами выбранной радиометрической аппаратуры, взаимным расположением источника и счетчика и свойствами измеряемого радиоактивного изотопа.

Для определения абсолютной активности применяются следующие методы:

- калориметрический (тепловой);
- ионизационной камеры;
- малой (напёрстковой) ионизационной камеры;
- бета-гамма совпадений;
- определенного (фиксированного) телесного угла;
- полного телесного угла.

Калориметрический (тепловой) метод. Метод основан на поглощении энергии, освобождаемой при радиоактивном распаде исследуемого изотопа внутри калориметрического сосуда, причем количество выделившегося тепла пропорционально числу распавшихся ядер. Тепловой эффект можно измерять в самых различных типах калориметров: адиабатическом, статическом, изотермическом. При выборе типа калориметра необходимо учитывать период полураспада изотопа, величину теплового эффекта, длительность измерения, величину теплоемкости источника и т.д.

Метод ионизационной камеры. Метод основан на введении радиоактивного вещества в виде газа или пара внутрь ионизационной камеры и измерении ионизационного тока, величина которого пропорциональна интенсивности излучателя. Абсолютная активности источника, которая может быть определена по формуле:

$$A_{\text{абс}} = \frac{I_{\text{н}}}{n} \quad (3.15)$$

где $I_{\text{н}}$ – ток насыщения;

n – число пар ионов, создаваемых в среднем одной частицей.

Метод бета-, гамма-совпадений. Метод применим только для определения абсолютной активности таких изотопов, у которых бета-распад сопровождается испусканием одного или нескольких гамма-квантов.

Сущность метода состоит в том, что исследуемый источник помещается между двумя счетчиками, один из которых с некоторой вероятностью "а" регистрирует бета-частицы (n_β), а другой с вероятностью "б" - гамма-кванты (n_γ).

Методы β - γ и γ - γ совпадений требуют использования дополнительной электронной аппаратуры - схемы совпадений, но позволяют быстро определять активность препарата, если схема распада проста.

Рассмотрим суть этого метода. Пусть, например, радиоактивный препарат испускает β -частицу и γ -квант. Тогда препарат помещается между двумя детекторами, один из которых регистрирует только β -излучение, а другой только γ -лучи. Скорость счета по β -каналу (N_β) определяется эффективностью счетчика (ε), телесным углом (ω) и самопоглощением в источнике (S). Тогда:

$$N_\beta = N_0 \varepsilon_\beta \omega_\beta S_\beta, \quad (3.16)$$

где N_0 – полное число распадов в секунду.

Аналогичное рассуждение применительно к γ -каналу даст:

$$N_\gamma = N_0 \varepsilon_\gamma \omega_\gamma S_\gamma. \quad (3.17)$$

Количество совпадений во времени импульсов от β - γ -каналов будет определяться следующей формулой:

$$N_{\text{совп}} = N_0 \varepsilon_\beta \omega_\beta S_\beta \varepsilon_\gamma \omega_\gamma S_\gamma \quad (3.18)$$

3.3. Методы санитарно-дозиметрического контроля при проведении работ с применением закрытых источников ионизирующего излучения

Закрытые источники ИИ в условиях эксплуатации и износа, на которые они рассчитаны, не загрязняют радионуклидами окружающую рабочую и природную среду. Поэтому радиационная опасность при работах с применением, закрытых ИИ связана с возможностью только внешнего излучения, защита от которого сводится к уменьшению дозы облучения до возможно низкого уровня.

Из формул, определяющих зависимость экспозиционной дозы ($D_{\text{экс}}$) от активности (A) или эквивалента источника (m_{Ra}):

$$D_{\text{экс}} = \frac{K_g \cdot A \cdot t}{R^2}, \quad D_{\text{экс}} = \frac{8,4 \cdot m_{\text{Ra}} \cdot t}{R^2} \quad (3.19)$$

следует, что при данной величине активности или g-эквивалента источника доза прямо пропорциональна времени облучения (t) и обратно пропорциональна квадрату расстояния (R) от источника. Следовательно, уменьшить дозу облучения можно сокращением времени воздействия ИИ ("защита временем"), увеличением расстояния от источника до работающего ("защита расстоянием"), экранированием ("защита экраном") или уменьшением активности (количества РВ) на рабочем месте.

"Защита временем" осуществляется путем соответствующей организации работ, службы. Например, вахта в реакторных отсеках атомных подводных лодок при работающей ЯЭУ несется не постоянно, а путем периодического осмотра помещений и приборов отсека. Остальное время

личный состав находится в смежных отсеках. Использование только этого метода защиты может потребовать в ряде случаев такого ускорения рабочих операций, которое практически неосуществимо.

"Защита расстоянием" предполагает использование дистанционного инструментария, механических приспособлений, вынос пультов управления (например, в рентген-кабинетах) и автоматизацию управления технологическими операциями, вывод личного состава из аварийного отсека и т.д. Данный способ защиты весьма эффективен (учитывая обратно квадратичную зависимость мощности дозы от расстояния). Однако использование только "защиты расстоянием" в некоторых случаях может потребовать слишком большого удаления от источника, что не всегда является рациональным или просто невозможным, в частности в условиях корабля, который имеет определенные размеры.

"Защита экраном" предполагает установку между источником ИИ и человеком различных преград из материалов, поглощающих или ослабляющих излучение. Подбор материалов для изготовления экранов осуществляется в соответствии с характером взаимодействия излучения с веществом. Однако при использовании только экранирования толщина поглощающих слоев может оказаться очень большой, а сами экраны чрезмерно громоздкими, тяжелыми и дорогими. Поэтому на практике чаще прибегают к комбинации всех трех способов защиты - "временем", "расстоянием" и "экраном".

Наконец, снижение дозы облучения возможно за счет **ограничения количества активности (А)** на рабочем месте. На кораблях, оснащенных ЯЭУ, подобный принцип реализуется путем ограничения в необходимых случаях мощности реактора, например, на уровне 60%.

Перечисленные выше способы защиты применимы не только для γ - лучей, но и для всех видов электромагнитных (фотонных) и корпускулярных излучений.

Рассмотрим несколько подробнее защиту экранированием от основных видов ИИ. Как известно, любое вещество поглощает ИИ и может создать необходимую защиту, если его слой имеет достаточную толщину. Результатом взаимодействия ИИ с веществом являются ионизация и возбуждение атомов и молекул, при этом излучение теряет свою энергию и скорость и, в конечном счете, поглощается веществом в виде тепловой энергии. Ионизирующая способность излучения характеризуется удельной ионизацией - числом пар ионов, создаваемых частицей или квантом на единице пути пробега, или линейной передачей энергии заряженных частиц в среде (ЛПЭ) – средней энергией, теряемой ионизирующей частицей на единице пути пробега.

Энергия, расходуемая на образование одной пары ионов, называется средней работой ионизации, которая для всех видов ИИ в воздухе практически одинакова и равна 33-34 эВ. Расстояние от начала пути (источника) до точки, в которой скорость ионизирующей частицы становится

равной скорости теплового движения атомов и молекул среды, называется длиной пробега.

α -частица, имея большую массу (4 а.е.м.) и заряд (2+), обладает огромной ионизирующей способностью (удельная ионизация - до 3000 пар ионов на 1 мм пробега в воздухе) и, взаимодействуя с веществом, быстро теряет энергию. Ее проникающая способность очень мала. Длина пробега α -частиц в воздухе составляет несколько сантиметров, а лист бумаги является для большинства из них непреодолимой преградой. Поэтому как источник внешнего облучения они опасности не представляют и при работе с закрытыми источниками α -излучения экранирования не требуется.

β -излучение обладает значительно меньшей ионизирующей способностью (удельная ионизация составляет несколько десятков - сотен пар ионов на 1 мм пробега в воздухе). Поэтому длина пробега β -частиц в воздухе измеряется уже метрами и при работе с закрытыми источниками β -излучения в определенных случаях требуется экранирование.

β -излучение большинства нуклидов в значительной мере задерживается одеждой, а если и достигает тела, то проникает на глубину всего лишь нескольких миллиметров. β -частицы с энергией более 70 кэВ могут проникать через базальный слой кожи. Наиболее высокоэнергетические частицы могут пройти слой алюминия до 5 мм. Защита от β -частиц несложна, поэтому в большинстве случаев достаточно знать о наличии β -излучения без точного его количественного измерения. Однако следует учитывать сравнительно большую опасность внешних потоков β -частиц для глаз. Хрусталик глаза обладает повышенной по сравнению с кожей радиочувствительностью, а прикрывающие роговые слои, расположенные над ним, составляют толщину всего 300 мг/см². Специальные стандартные пластмассовые экраны, защитные очки из органического стекла толщиной 6 мм, защитные перчатки, дистанционный инструментарий практически полностью защищают от β -излучения большинства радионуклидов. Иногда необходимо учитывать относительно более высокий, а в некоторых случаях даже определяющий вклад этого вида излучения на открытых поверхностях кожи, например, от воздействия β -излучающих радиоактивных инертных (благородных) газов. Подобная ситуация обычно возникает при нахождении человека в помещении малого объема, заполненного радиоактивным газом (например, отсек аварийной ПЛА). Для защиты от β -излучений необходимо знать их проникающую способность, которая определяется пробегом этих частиц в веществе.

При необходимости толщина экрана рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{R_b}{\rho} \quad (3.20)$$

где L – линейная толщина экрана, см;

R_b – максимальный пробег β -частиц, г/см²;

ρ – плотность материала экрана, г/см³.

Следует отметить, что α - и β -излучения имеют в облучаемой среде определенный пробег, то есть всегда может быть подобрана такая толщина экрана, которая полностью поглотит эти виды излучений.

В отличие от них, ослабление интенсивности γ -, нейтронного излучения в облучаемой среде происходит по экспоненциальному закону.

Нейтронное излучение, за исключением нейтронов малых энергий, слабо поглощается веществом, поэтому задача защиты от него заключается в замедлении быстрых и промежуточных нейтронов. Нейтроны, как незаряженные частицы, взаимодействуют в основном с ядрами атомов облучаемой среды. Соударяясь с тяжелыми ядрами, нейтроны рассеиваются (изменяют направление своего движения), практически не теряя своей энергии. При соударении с ядрами, соизмеримыми по массе с массой нейтрона, они могут потерять $1/2$ - $1/3$ своей энергии. Поэтому экранирование нейтронных потоков осуществляют легкими материалами (вода, парафин, пластмассы, графит, бор), содержащими большое количество атомов водорода и других легких элементов. При снижении энергии нейтронов до уровня тепловой (порядка 0,025 эВ) возможно их проникновение в ядра различных элементов - радиационный захват и образование новых изотопов и элементов.

Ослабление потока быстрых нейтронов происходит согласно формуле:

$$N = N_0 \cdot e^{-d/l} \quad (3.21)$$

где N – плотность потока нейтронов, выходящих за экранирующий слой, част/с·см²;

N_0 – начальная плотность потока нейтронов, част/с·см²;

d – толщина защитного экрана, см;

l – эффективное значение длины релаксации (ослабление потока нейтронов в e раз в данном веществе, см.

Эффективное значение длины релаксации точечных изотропных моноэнергетических источников нейтронов находят в различных справочниках [7].

γ -излучение также слабо поглощается облучаемой средой и при прохождении через вещество взаимодействует в основном с электронами внешних оболочек атомов, при этом возможны следующие эффекты:

- фотоэффект или фотоэлектрическое поглощение g -кванта электронами;
- комптонэффект или некогеррентное рассеяние;
- образование пары электрон-позитрон (для γ -квантов с энергией более 1,02 МэВ).

Для ослабления интенсивности γ -излучения используют материалы, содержащие тяжелые элементы с большим числом электронов на электронных оболочках (свинец, железо, баритовая штукатурка, бетон и др.). Снижение интенсивности γ -излучения происходит по экспоненциальному закону:

$$I = I_0 \cdot e^{-md} \quad (3.22)$$

где I – интенсивность γ -излучения после прохождения экранирующего слоя, Р/ч;

I_0 – начальная интенсивность γ -излучения, Р/ч;

d – толщина защитного материала, см;

m – линейный коэффициент ослабления, характеризующий относительное ослабление γ -излучения в слое вещества толщиной 1 см, см⁻¹.

Значения линейного коэффициента ослабления γ -излучения для различных веществ приводятся в справочниках.

Расчет защиты от точечных источников γ -излучения проводят по требуемой кратности:

– ослабления реальной расчетной экспозиционной дозы (или мощности дозы) по сравнению с допустимой от данного источника и на данном расстоянии при отсутствии защиты;

– уменьшения активности источника (при тех же условиях).

Экспозиционную дозу ($D_{\text{экс}}$) или мощность дозы (P) определяют по формулам

$$\begin{aligned} D_{\text{экс}} &= \frac{K_g \cdot A \cdot t}{R^2}, \quad P = \frac{K_g \cdot A}{R^2}, \\ D_{\text{экс}} &= \frac{8,4 \cdot m_{\text{Ra}} \cdot t}{R^2}, \quad P = \frac{8,4 \cdot m_{\text{Ra}}}{R^2} \end{aligned} \quad (3.23)$$

где $D_{\text{экс}}$ – экспозиционная доза, р (рентген);

P – мощность экспозиционной дозы, Р/ч;

K_g – полная ионизационная постоянная – мощность экспозиционной дозы в Р/ч, которую создает источник γ -излучения активностью 1 мКи на расстоянии 1 см, Р•см²/(ч•мКи);

A – активность источника γ -излучения, мКи;

t – время облучения, ч;

R – расстояние от источника, см;

8,4 – мощность экспозиционной дозы в Р/ч, которую создает источник γ -излучения с γ -эквивалентом 1 мг-эquiv радия на расстоянии 1 см;

m_{Ra} – гамма-эквивалент источника γ -излучения, мг-эquiv радия.

3.4. Определение абсолютной активности препаратов β -излучения методом фиксированного телесного угла

Метод предусматривает строго фиксированное положение исследуемого источника относительно счетчика. Сущность метода заключается в том, что по зарегистрированному числу бета-частиц, попадающих в счетчик в определенном телесном угле, заданном геометрией измерения, определяется число частиц, испускаемое источником в полном телесном угле 4π . Связь между зарегистрированной скоростью счета от источника и его абсолютной активностью выражается зависимостью:

$$n_0 = A_{abc} \eta \quad (3.24)$$

где n_0 – истинная скорость счета от источника, имп/мин;

$\eta = 1/K_{св}$ – общий поправочный коэффициент, расп/имп.

Истинной считается скорость счета, исправленная на просчеты и фон, т.е.:

$$n_0 = n_{\Sigma} P(\tau_p) - n_{\phi} \quad (3.25)$$

где n_{Σ} – скорость счета, зарегистрированная радиометрической установкой, имп/мин;

$P(\tau_p)$ – поправка на просчеты (на разрешающее время);

n_{ϕ} – скорость счета от фона, имп/мин.

В качестве детектора используются обычно счетчики Гейгера – Мюллера, чаще всего торцовые, иногда – цилиндрические. Измерения абсолютной активности препаратов по β -излучению в большинстве случаев дают более точные результаты, чем измерения по γ -лучам. При переходе от регистрируемой прибором скорости счета, выражаемой в имп/мин, к абсолютной активности, выраженной числом актов радиоактивного распада в единицу времени (распад/мин, распад/сек) или в единицах кюри, необходимо учитывать многочисленные факторы, некоторые из которых, рассмотрены ниже.

Общий поправочный коэффициент η является сложной величиной, численное значение которой определяется совокупностью ряда факторов, сопровождающих излучение. В случае простой схемы распада изотопов, когда каждый акт распада сопровождается испусканием моноэнергетической бета-частицы, величина η может быть рассчитана по формуле:

$$\eta = \omega \epsilon K_n K_o S_n S_q \rho \quad (3.26)$$

где ω – поправка на геометрические условия измерения (на телесный угол);

ϵ – поправка на эффективность регистрации излучения счетчиком;

ρ – поправка на схему распада изотопа;

K_n – поправка на поглощение излучения слоем отделяющей среды;

S_q – поправка на саморассеяние излучения в источнике;

S_n – поправка на самопоглощение излучения в источнике;

K_o – поправка на обратное отражение излучения от подложки.

Следовательно, абсолютная активность источника будет равна:

$$A_{abc} = \frac{n_{\Sigma} P(\tau_p) - n_{\phi}}{\omega \epsilon K_n K_o S_n S_q \rho} \quad \frac{\text{распад}}{\text{ед.вр.}} \quad (3.27)$$

Размерность A определяется размерностью n_{Σ} и n_{ϕ} .

Методом определенного телесного угла можно определить абсолютную активность источника со средней точностью $5 \div 10\%$.

Природные источники ионизирующего излучения. Естественный радиационный фон. Как уже отмечалось, к природным источникам ионизирующего излучения относятся космическое излучение и природные

радионуклиды, естественно распределенные на поверхности и в недрах Земли, в приземном слое атмосферы, гидросфере и всех живых организмах, населяющих планету.

Под естественным фоном излучения понимается эффективная доза ИИ, создаваемая всеми составляющими ЕРФ. По современным воззрениям, общая годовая эффективная доза на душу населения в мире оценивается равной 2208 мкЗв (220,8 мбэр), что соответствует годовой коллективной эффективной дозе (КЭД) 10^7 чел-Зв (10^9 чел-бэр).

Естественные источники ИИ обуславливают как внешнее облучение (космическое излучение; излучение радионуклидов, присутствующих в земной коре и строительных материалах), так и внутреннее, связанное с поступлением радионуклидов естественного происхождения при дыхании или через пищеварительный тракт, (рис.3.2.).



Рис. 3.2. Процентное отношение дозы, получаемые от естественного радиационного фона, мбэр

Характерной особенностью излучения естественных источников является то, что оно воздействует на население Земли с относительно постоянной мощностью дозы в течение очень длительного периода времени (рис. 3.3.).

Некоторые из составляющих общей дозы облучения за счет ЕРФ довольно постоянны во времени и пространстве и практически не зависят от человеческой деятельности; это касается доз от перорального поступления ^{40}K , находящегося под гомеостатическим контролем, и доз за счет ингаляционного и перорального поступления космогенных радионуклидов (^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na , ^{24}Na) вследствие относительно равномерного их распределения над поверхностью Земли.

С другой стороны, имеются такие составляющие дозы облучения, которые во многом зависят от человеческой деятельности и которые в настоящее время сильно изменяются. Например, дозы за счет ингаляции радона, торона и продуктов их распада при пребывании человека в помещении (как будет показано ниже) во многом определяются особенностями конструкции зданий, используемых строительных материалов, систем вентиляции и т.п.

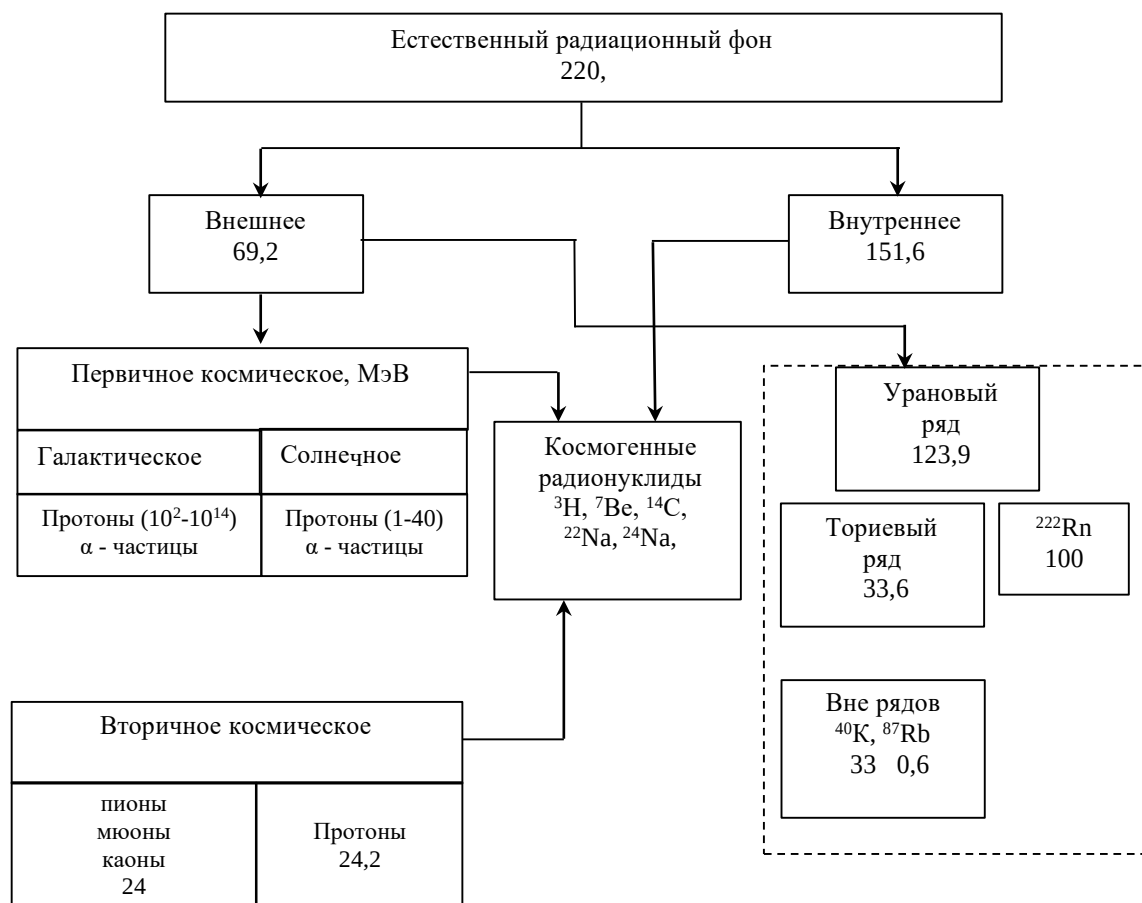


Рис. 3.3. Структура облучения человека за счет ЕРФ

Третья группа источников занимает промежуточное положение. Например, дозы от космического излучения в принципе неуправляемы, хотя человек может укрыться от них, равно как и дозы от внешнего облучения от источников земного происхождения, которые изменяются в процессе глобальной человеческой деятельности.

Техногенно повышенный естественный радиационный фон (ТПЕРФ) является неизбежным следствием научно-технического прогресса. Развитие жилого и промышленного строительства, использование полезных ископаемых в промышленности и сельском хозяйстве приводят к перераспределению природных радионуклидов в окружающей среде и к увеличению доз облучения людей. Повышение вклада естественных источников в суммарную дозу облучения человека связано также с ростом пассажирских перевозок воздушным транспортом и космическими полетами.

В среднем для населения Земли эта "прибавка" к дозе, обусловленной ЕРФ, незначительна и составляет доли процента. Однако для людей, проживающих в городах, промышленных регионах, вблизи крупных производств, она может существенно возрасти и иметь определенное гигиеническое значение.

Основными загрязнителями окружающей среды и дозообразующими факторами при работе указанных отраслей хозяйства являются такие

радионуклиды, как калий-40, радон-222, радий-226, свинец-210, полоний-210, радий-228, торий-232, уран-238 и др.

Определенное значение для увеличения ТПЕРФ имеет добыча и переработка неурановых руд. В связи с присутствием радона в шахтах добыча на рудниках металлов и неметаллов приводит к профессиональному облучению и выбросу радона в атмосферу при вентилировании шахт (до 400 Бк/м³), что может приводить к дополнительному облучению населения. Кроме того, облучение населения происходит при:

- добыче и переработке цинка;
- добыче огнеупорной глины, содержащей относительно высокие концентрации урана-238 и тория-232 (соответственно 50 и 70 Бк/кг);
- переработке алюминиевой руды (уран-238, торий-232, свинец-210 и полоний-210);
- добыче и переработке меди и свинца (те же изотопы, но в меньшем количестве);
- добыче известняка, фтористого шпата, редкоземельных элементов;
- переработке ильменита с целью получения белой двуокиси титана (при этом выделяется радий-228, содержащийся в ильмените, в количестве 400 Бк/кг и торий-228 (75 Бк/кг).

Фон счетчика - показания прибора в отсутствие исследуемых источников излучения. Фон счётчиков обусловлен космическими лучами, самопроизвольными импульсами за счёт испускания термоэлектронов катодом счётных трубок или фотоумножителей (ложные импульсы), а также радиоактивными загрязнениями рабочих помещений. Величина фона может служить для проверки правильности работы счётчика. В паспорте, прилагаемому к счётчику, указывается максимальная величина натурального фона. Возросший фон свидетельствует о том, что счётчик выходит из строя, либо о наличии радиоактивных загрязнений внутренних поверхностей домика.

Определение фона проводится в тех же условиях, что и измерение активности препарата. Поэтому, измеряя фон, следует помещать в домик пустой держатель для образцов. Фон счётчика (включая фон от γ -излучения препарата, если измерения ведутся по β -лучам) вычитают после введения поправки на разрешающее время. Если регистрируемая активность не менее чем в 20 раз превышает скорость счёта фона, то можно ограничиться двукратным измерением фона в течение дня - в начале и в конце работы. При более низких уровнях регистрируемой активности, нужно чередовать измерения препарата и фона.

Эффективность счетчика к данному виду излучения - вероятность того, что частица или квант, проникшие в рабочий объем детектора излучения, будут зарегистрированы. Коэффициент эффективности

ε определяется как отношение числа зарегистрированных частиц или квантов

n_{Σ} к числу частиц или квантов n_x , попавших в рабочий объем счетчика:

$$\varepsilon = \frac{n_{\Sigma}}{n_x} \quad (3.28)$$

Эффективность гейгеровских счетчиков к β -лучам близка к единице ($\varepsilon = 0,995$), но может быть и больше единицы за счет возникновения ложных импульсов. Эффективность можно улучшить, направляя пучок β -частиц в рабочий объем счетчика через диафрагму. Но так как часть "истинных" импульсов сопровождается "ложными" импульсами, вызванными внутренними процессами в счетчике, то обычно говорят о практической эффективности, под которой понимают отношение числа импульсов, зарегистрированных от счетчика радиометрической установкой, к числу ионизирующих частиц, попавших в чувствительный объем счетчика. Эффективность счетчика выражается в долях от 1 или в процентах. Эффективность счетчика к бета-излучению может несколько изменяться в зависимости от его энергии. За счет возникновения ложных импульсов эффективность ε_{β} может превышать 100%, что проявляется в некотором наклоне плато счетчиков, работающих в гейгеровском режиме. Эффективность газоразрядных счетчиков к β -частицам близка к 1 ($\varepsilon = 0,995$). Для ряда отечественных счетчиков величина ε может быть найдена по справочникам.

Поправка на геометрию измерения ω . Препарат испускает частицы во всех направлениях (в телесный угол 4π), но попасть в счетчик могут только вылетевшие в пределах телесного угла $\Delta\omega$, зависящего от геометрии измерений. Доля таких частиц:

$$\omega = \frac{\Omega}{4\pi} \quad (3.29)$$

где Ω – пространственный угол, стерadian.

Для точечного препарата в стационарном свинцовом домике с торцовым газоразрядным счетчиком, расположенного на продолжении оси счетчика поправка на телесный угол

$$\omega = 0,5(1 - \cos \alpha) = 0,5\left(1 - \frac{h}{\sqrt{h^2 + r^2}}\right) \quad (3.30)$$

где h – расстояние от препарата до счетчика, r – радиус входного окна счетчика.

Величину h для различных свинцовых домиков берется из описания радиометрической установки, на которой ведется измерение препарата (КРК-1). Если размеры радиоактивного слоя таковы, что препарат нельзя считать точечным, то более точно величина геометрического коэффициента определяется по следующим формулам:

1) при диаметре препарата меньше диаметра отверстия диафрагмы (или окна счетчика):

$$\omega = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{h_6}{R_r} - \frac{3}{8} \frac{h_6 r_q^2 r_s}{R_r^5} \right] \quad (3.31)$$

где $R_r = \sqrt{h_6^2 + r_q^2}$; r_q – радиус отверстия диафрагмы (окна счетчика); r_s – радиус препарата; $R_s = \sqrt{h_6^2 + r_s^2}$.

2) при диаметре препарата больше диаметра отверстия (окна счетчика):

$$\omega = \frac{1}{2} \frac{r_q^2}{r_s^2} \left[1 - \frac{h_6}{R_s} - \frac{3}{8} \frac{h_6 r_s^2 r_q^2}{R_s^5} \right] \quad (3.32)$$

Если диафрагма перед входным окном счетчика отсутствует, то вместо r_q в выражении подставляется радиус окна счетчика, который у счетчика СБТ-16 (установка КРК-1) $r_q = 32,75$ мм, а у счетчика СБТ-10 А установка (КРВП-2) $r_q = 33,74$ мм.

Поправка на поглощение β -частиц Кп. Чтобы достигнуть рабочего объема счетчика β -частицы должны пройти сквозь фольгу, закрывающую источник, слой воздуха между источником и счетчиком и слюдяную фольгу окна счетчика, в которых часть из них поглощается. Поправка на поглощение f и учитывает этот факт. Она может быть определена либо расчетом, либо, как в данной работе, экспериментально. Для этого между счетчиком и препаратом помещают поглотитель все большей и большей толщины и фиксируя изменение скорости счета N . Затем строят график зависимости логарифма скорости счета за вычетом фона от толщины поглотителя x , выраженную в миллиграммах на квадратный сантиметр (рис. 3.4.). Далее влево от начала координат откладывают суммарную толщину слюдяного окна, слоя воздуха и фольги, закрывающей препарат, также выраженные в миллиграммах на квадратный сантиметр. Продолжив график до пересечения с новой осью ординат, находят $\ln N_0$. Используя величины скорости счета без поглотителя N_0 и с поглотителем N , находим:

$$K_n = \frac{N}{N_0} \quad (3.33)$$

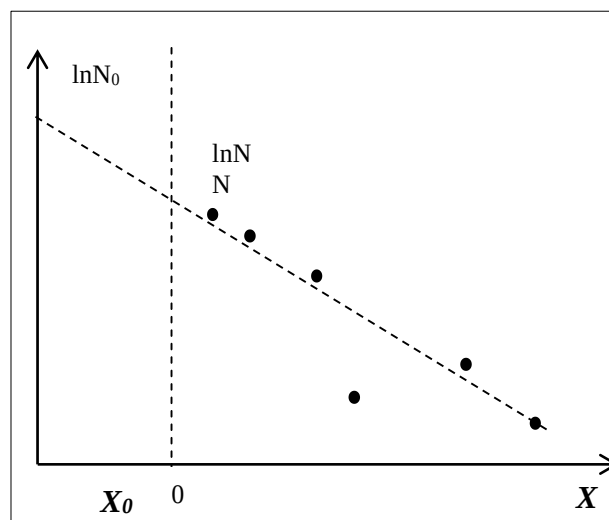


Рис. 3.4. Определение поправки Кп

Коэффициент поглощения (k_n) при $h_{эф} \leq 0,3R_{\beta \max}$ с точностью 10-15% может быть рассчитан по соотношению:

$$k_n = e^{-0,693h_{эф}/\Delta\beta} \quad (3.34)$$

где $h_{эф}$ – эффективная толщина отделяющей среды, мг/см²;

$\Delta\beta$ – слой половинного ослабления β – излучения, мг/см².

Величина $h_{эф}$ определяется по соотношению:

$$h_{эф} = (1,29h_v + \delta_{сч})\delta\omega \quad (3.35)$$

где h_v – в см;

$\delta_{сч}$ – толщина входного окна счетчика, мг/см²;

1,29 – плотность воздуха, мг/см²;

$\delta\omega$ – коэффициент, зависящий от величины телесного угла.

Величина $\delta_{сч}$ берется из паспорта счетчика, слой половинного ослабления ($\Delta\beta$) находится из таблиц по максимальной энергии β – спектра $E_{\beta \max}$, коэффициент $\delta\omega$ находится из табл.3.2 для соответствующих значений геометрического коэффициента.

При $h_{эф}$ больше $0,3R_{\beta \max}$ величину k_n следует определить с помощью эмпирического графика. Точность определения k_n и в этом случае составляет 10-15%. Более точно величина k_n определяется экспериментально по кривым поглощения β – излучения.

Таблица 3.2

ω	$\delta\omega$	ω	$\delta\omega$	ω	$\delta\omega$	ω	$\delta\omega$	ω	$\delta\omega$
0,01	1,01	0,04	1,04	0,07	1,076	0,10	1,115	0,13	1,155
0,02	1,02	0,05	1,05	0,08	1,09	0,11	1,128	0,14	1,17
0,03	1,03	0,06	1,063	0,09	1,102	0,12	1,141	0,15	1,185
$E_{\beta}, \text{МэВ}$	0,6	0,7	0,8	1,0	1,02	1,4	1,8	2,5	
q	1,18	1,20	1,21	1,23	1,25	1,27	1,28	1,3	

Поправка на обратное рассеяние q . Радиоактивное вещество при измерении его активности наносят на подложку. Часть β -частиц, вылетающих из препарата по направлению к подложке, рассеивается ею в обратном направлении и попадает в счетчик (рис. 3.5). Это увеличивает скорость счета. Поправка на обратное рассеяние зависит от энергии β -частиц, материала и толщины подложки, на которой расположен препарат. Для используемого в работе препарата значение q можно найти из таблицы:

$E_{\beta}, \text{МэВ}$	0,6	0,7	0,8	1,0	1,02	1,4	1,8	2,5
q	1,18	1,20	1,21	1,23	1,25	1,27	1,28	1,3

Коэффициент обратного рассеяния (k_0) β - излучения от подложки можно рассчитать по эмпирическим формулам, вид которых зависит от материала подложки. В случае алюминиевых подложек:

$$K_0 = 1 + 0,28 e^{-0,0693 h_{эф} / 1,7 \Delta\beta} \quad (3.36)$$

При толщине препарата $h_n = (1,3 \div 2,5) \Delta\beta$ величина $k_0 \approx 1$. Более точно этот коэффициент находится экспериментально.

Поправка на самопоглощение и саморассеяние S. Часть β -частиц, испускаемых источником, поглощается или рассеивается в самом препарате (рис. 3.5.). При этом за счет поглощения скорость счета при измерении активности падает, а за счет рассеяния растет, так как в счетчик попадают β -частицы, первоначально двигавшиеся в сторону от счетчика. Поправка на самопоглощение и саморассеяние зависит от толщины препарата и телесного угла, в котором регистрируются β -частицы. Для препаратов, толщина которых не больше $\Delta_{1/2}/80$ для легких веществ и $\Delta_{1/2}/200$ для тяжелых, эта поправка может быть принята за единицу.

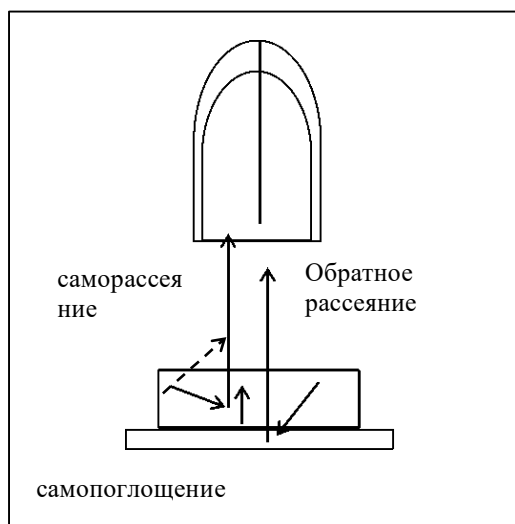


Рис. 3.5. Влияние саморассеяния, самопоглощения и обратного рассеяния на скорость счета

Коэффициенты самоослабления и саморассеяния учитываются при измерении активности толстослойных препаратов. Коэффициент самоослабления β - излучения в препарате (S_n) с точностью 10-15% можно рассчитать по соотношению:

$$S_n = \Delta\beta (1 - e^{-0,693 h_n / \Delta\beta}) / 0,693 h_n \quad (3.37)$$

Выражение получено при допущении экспоненциального закона ослабления β -излучения в препарате, поэтому оно справедливо для значений $h_n \leq 0,3 R \beta_{max}$. Для ориентировочных расчетов выражение можно использовать и при больших толщинах препарата.

Коэффициент саморассеяния β - излучения в препарате (S_q) толщиной $h_n = (1,5 \div 2,5) \Delta\beta$, при которой устанавливается косинусоидальное угловое распределение β - излучения, можно рассчитать по соотношению:

$$S_q = 1 + 0,8 \frac{h_n}{\sqrt{h_n^2 + r_q^2}} \quad (3.38)$$

Для тонких препаратов самоослаблением и саморассеянием можно пренебречь. В этом случае S_n и S_q равны единице.

Поправка на схему распада ρ . Поправка ρ определяется как число частиц, принадлежащих j -тому парциальному спектру, который испускается при распаде i -го нуклида (β -частиц/распад). Для простого β -распада (рис. 3.6, а) $\rho=1$. Для сложного β -спектра (рис. 3.6. а, б, в) ρ отличается от единицы. Так, например, для радионуклида ^{154}Cs поправки на распад будут $\rho_1=0,92$ и $\rho_2=0,08$ (парциальные спектры с максимальными энергиями $E_1= 0,51$ МэВ и $E_2= 1,17$ МэВ).

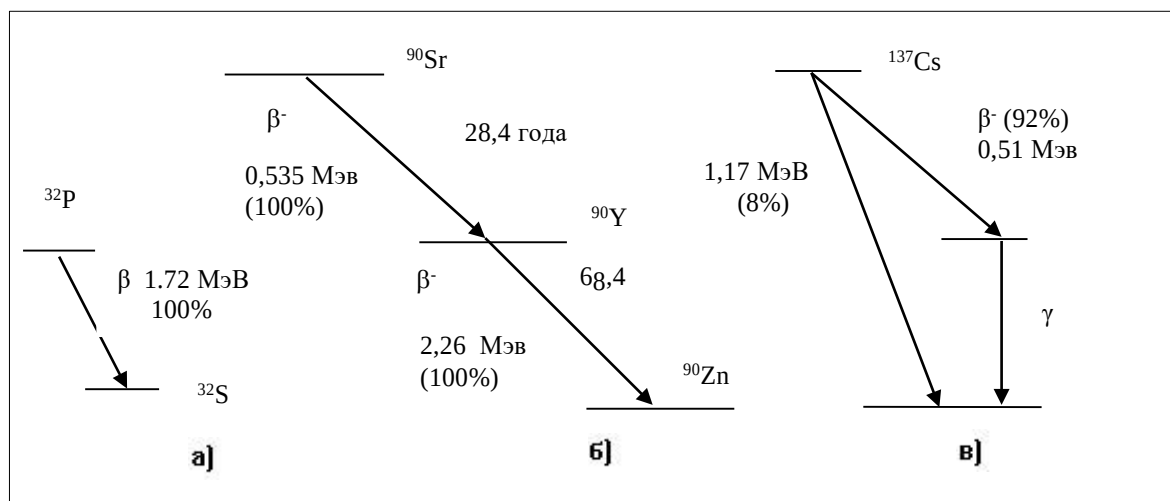


Рис. 3.6. Схемы радиоактивного распада; а - простая; б, в - сложные

При учете поправки на схему распада надо иметь в виду конверсионные электроны, возникающие при переходе возбужденного ядра в нормальное состояние (вырывание электронов из оболочек атома). Если число конверсионных электронов велико, то они внесут искажения в результаты измерений. Поэтому их необходимо учитывать. Данные, необходимые для определения поправки ρ (ветви β -распада, а также конверсионные линии, если они имеются), используют из схем распада исследуемых радионуклидов.

Величина поправки на схему распада (ρ) находится из таблицы радионуклидов. В большинстве случаев $\rho \leq 1$. При наличии большого числа электронов внутренней конверсии $\rho > 1$, т.к. один акт распада может обусловить появление из выхода детектора нескольких импульсов.

Воспроизводство показаний счетчика. При большом числе измерений, т.е. длительной работе, показания счетчика в различное время отличаются

друг от друга из-за изменения эффективности, вызванного сдвигом плато счетчика, изменения напряжения питания счетчика или положения и величины чувствительного объема, что может сказаться на точности измерений. Чтобы этого не случилось необходимо проверить воспроизводимость показания счетчика. Такую проверку лучше всего сделать с помощью образцового очень медленно распадающегося источника. Соотношение между скоростью счета и числом вылетающих β -частиц должно быть постоянным в пределах заданной точности измерения активности. В данной работе поправка на воспроизводимость показаний счетчика не учитывается.

Статистические ошибки измерения. Счетчик за одинаковые промежутки времени сосчитывает различное количество β - частиц, так как из препарата они вылетают неравномерно (флуктуации распада, углового распределения и другие случайные процессы). Если число зарегистрированных счетчиком β -частиц за какой-то промежуток времени равно N , то $\sqrt{N}$ дает квадратичную ошибку измерения. Относительная квадратичная ошибка, %

$$\Delta = 100 \frac{\sqrt{N}}{N} = \frac{100}{\sqrt{N}} \quad (3.39)$$

Из формулы видно, что чем больше число импульсов, тем меньше относительная флуктуация в счете.

Относительная погрешность в определении геометрического коэффициента ориентировочно может быть равной 2-3 %, а относительная погрешность определения коэффициента обратного рассеяния $\approx$ 10-15 %.

При определении относительной погрешности объема пробы радиоактивного раствора приближенно можно исходить из того, что половина цены деления шкалы пипетки равна погрешности, соответствующей 95% доверительной вероятности. Тогда относительная погрешность находится как соотношение половины цены деления шкалы к величине объема отбираемой пробы. Аналогичным образом можно оценить и относительную погрешность определения геометрического коэффициента при измерении расстояния между препаратом и окном детектора прибора с градуированной шкалой.

Погрешность, вносимая неточным определением поправки на схему распада, обычно не учитывается в общей погрешности. Конкретных данных в методах определения погрешности эффективности регистрации β -излучения нет. При регистрации высокоэнергетического β -излучения относительная погрешность может быть принята в разумных пределах 2 - 5 %. С уменьшением энергии β -частиц эта величина будет расти.

При выполнении ряда измерений препарата все измерения следует выполнять с одинаковой точностью. Для уменьшения влияния неравномерного распределения радиоактивного вещества по поверхности подложки на точность определения активности измерения препарата выполняют несколько раз, поворачивая его вокруг своей оси на

определенные углы. Абсолютная активность определяется по средней скорости счета, получаемой по результатам всех измерений.

Во избежание значительных просчетов импульсов на радиометрической установке со счетчиков Гейгера-Мюллера регистрируемые скорости счета не должны превышать $6 \cdot 10^3$ имп/мин.

При малых расстояниях между препаратом и детектором незначительные вертикальные смещения препарат приводят к существенным изменениям величины геометрического коэффициента. Аналогично неточность в измерении расстояния между препаратом и детектором при малых расстояниях будет оказывать большее влияние на величину погрешности в определении геометрического коэффициента. С увеличением расстояния степень влияния данного фактора снижается, однако при этом возрастает ослабление излучения слоем отделяющей среды между препаратом и детектором. Оптимальной можно считать геометрию измерения препарата при $h_s/r_q = 4 \div 10$.

Точность определения абсолютной активности препарата в основном зависит от точности коэффициентов, определяемых общим коэффициент регистрации радиометрической установки.

Схема установки для измерения активности приведена на рисунке 3.7.

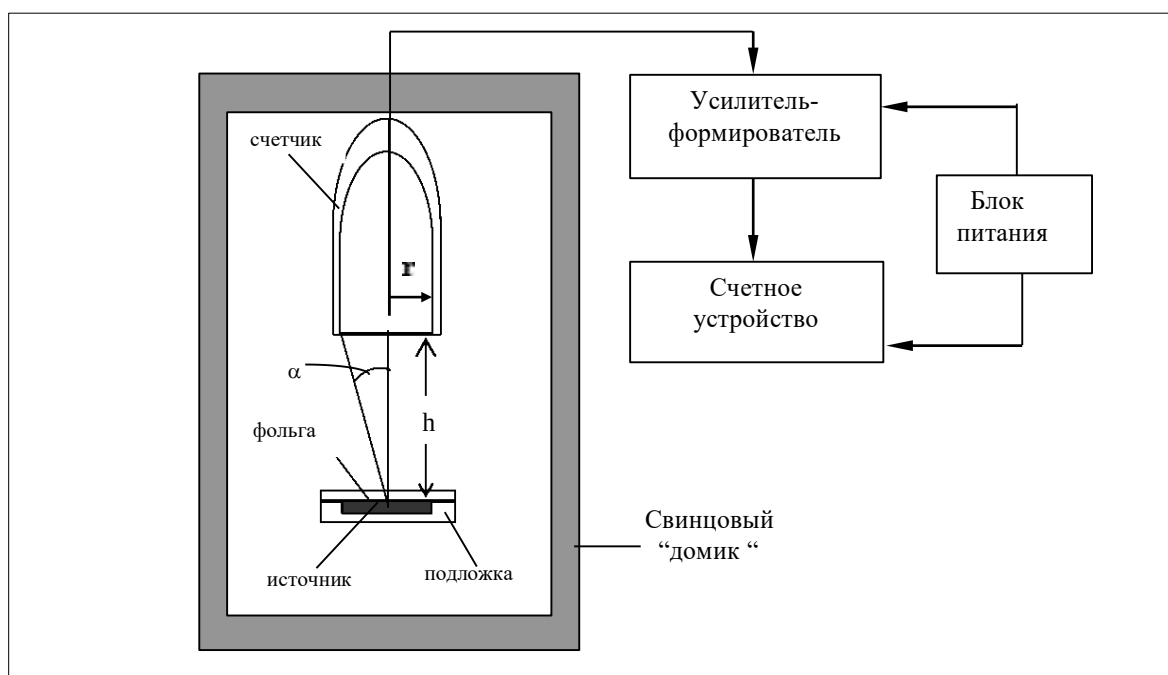


Рис. 3.7. Схема установки для измерения активности препарата

Оборудование и материалы

1. Радиометрическая установка с торцовым газоразрядным счетчиком.
2. Радиактивные препараты на подложке из алюминиевой фольги.

Ход работы

1. Выбрать геометрию измерения. На установке КРК-1 измерения проводить на 6 полочке, учитывая, что расстояние между полочками равно 5 мм. На установке КРВП -3Б препарат располагать на основании внутри свинцового домика и оператору самому измерить линейкой расстояние от препарата до окна детектора.

2. Оператору необходимо учесть в своих расчетах, что производится измерение ^{137}Cs с энергией 0,51 МэВ, $\Delta_\beta = 17,5 \text{ мг/см}^2$ и препарат с $r_s=8 \text{ мм}$.

3. В выбранной геометрии произвести измерение препарата с заданной квадратической погрешностью, для чего предварительно определить время измерения препарата (t).

Измерение фона произвести до и после измерения препарата и определить среднее значение скорости счета импульсов фона ($\bar{n}_\phi$). Определить истинную скорость счета препарата. Результаты измерений и расчетов занести в табл.3.

4. Рассчитать или определить по графикам (таблицам) соответствующие коэффициенты и коэффициент регистрации радиометрической установки. Поправку на разрешающее время $P(\tau_p)$ использовать из предыдущей лабораторной работы. Результаты занести в табл.3.3.

5. Определить абсолютную активность препарата.

Таблица 3.3 –Результаты вычислений коэффициентов

$\varepsilon\omega$	ε	K_n	K_0	S_n	S_q	ρ	η
---------------------	---------------	-------	-------	-------	-------	--------	--------

Таблица 3.4 –Результаты измерений и расчетов

№ измерений	t, мин.	$N_\Sigma \cdot \text{имп.}$	$n_\Sigma \frac{\text{имп.}}{\text{ед.вр.}}$	$P(\tau_p)$	$n_\phi \frac{\text{имп.}}{\text{ед.вр.}}$	$n_0 \frac{\text{имп.}}{\text{ед.вр.}}$

3.5. Относительный метод определения активности препарата

Относительный метод основан на сравнении скорости счета импульсов при измерении исследуемого препарата со скоростью счета импульсов при измерении эталонного препарата, активность которого известна.

В целях достижения хорошей точности необходимо строго выполнять условия относительных измерений. Условия 1-3 нужно выполнить наиболее полно, если эталонные и исследуемые источники выполнены из тех же радионуклидов.

Неравномерное распределение активного вещества по поверхности подложки является источником дополнительной погрешности. В целях снижения влияния этого фактора целесообразно положение препарата измерять несколько раз, поворачивая подложку на определенный угол. Результирующая активность определяется в этом случае по средней скорости счета импульсов, найденного по результатам всех измерений.

Измерение эталона и препарата следует проводить с одинаковой точностью. Относительная квадратическая погрешность измерений должна быть не более 1%.

Определение активности посредством сравнения требует строгого соблюдения в процессе измерения исследуемого препарата и эталона следующего условия:

$$\eta_n = \eta_{эм}, \quad (3.40)$$

где η_n и $\eta_{эм}$ – соответственно коэффициенты регистрации радиометрической установки при измерении исследуемого препарата и эталона.

Если условие (1) выполняется, то справедливо соотношение

$$\frac{n_0}{n_{0эм}} = \frac{A}{A_{эм}}, \quad (3.41)$$

где n_0 и $n_{0эм}$ – соответственно истинные скорости счета импульсов от исследуемого препарата и эталона;

A и $A_{эм}$ – соответственно активность исследуемого препарата и эталона.

Тогда активность исследуемого препарата определяется по соотношению:

$$A = \frac{n_0}{n_{0эм}} A_{эм}. \quad (3.42)$$

Учитывая известное соотношение между измеренными и истинными скоростями счета импульсов от радиоактивности, выражение (3) напомним в виде:

$$A = \frac{n_{\Sigma} P(\tau_p) - n_{\phi}}{n_{эм} P(\tau_p) - n_{\phi}} A_{эм}, \quad (4.43)$$

где n_{Σ} и $n_{эм}$ – соответственно скорости счета импульсов при измерении препарата и эталона;

n_{ϕ} – скорость счета импульсов фона;

$P(\tau_p)$ – поправка на разрешающее время радиометрической установки.

Равенство (3.41) будет иметь место при выполнении следующих условий:

1.Методика приготовления, геометрические размеры и формы препарата и эталона одинаковы.

2.Энергетические спектры частиц (квантов) препарата и эталона, величина вводимых поправок из схемы распада радионуклидов должны быть одинаковыми (или весьма близкими).

3.Препарат и эталон должны быть нанесены на идентичные подложки (материал, толщина).

4.Препарат и эталон должны измеряться на одной и той же радиометрической установке и при одинаковых геометрических условиях.

Если при измерении препарата и эталона какие-либо условия нарушаются, то на эти условия необходимо вводить в соотношение (3.43) соответствующие поправки. Тогда соотношение (3.42) будет иметь вид

$$A = \frac{n_{\Sigma} P(\tau_p) - n_{\phi}}{n_{эм} P(\tau_p) - n_{\phi}} \cdot \frac{\eta'_{эм}}{\eta'_n} A_{эм}, \quad (3.44)$$

где η'_n и $\eta'_{эм}$ – коэффициенты регистрации при измерении препарата и эталона соответственно.

Активность источника, как и число радиоактивных ядер, изменяется по закону радиоактивного распада

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\frac{0,693}{T_{1/2}} t} \quad (3.45)$$

где A_0 – начальная активность источника.

Величины η' и $\eta'_{эм}$ определяются поправками лишь на те условия, которые не идентичны при измерении препарата и эталона.

Погрешность определения абсолютной активности исследуемого препарата, при измерении относительным методом, находится по отношению

$$\nu_D = \sqrt{\nu_{A_{эм}}^2 + \nu_{n_{0эм}}^2 + \nu_{n_0}^2}, \quad (3.46)$$

где $\nu_{n_{0эм}}$ и ν_{n_0} – соответственно, относительные квадратические погрешности измерения истинных скоростей счета от эталона и исследуемого препарата;

$\nu_{A_{эм}}$ – погрешность в определении активности эталона.

Оборудование и материалы

1. Радиометрическая установка.
2. Эталонный источник с паспортом к нему.
3. Исследуемый препарат на стандартной подложке, что и эталонный.

Ход работы

1. Измерить в течение 10 мин. фон после прогрева радиометрической установки и после проведения измерений обоих препаратов.

2. На радиометрической установке измерить активность полученного препарата с заданной относительной квадратической погрешностью.

3. Измерить активность эталонного источника с заданной квадратической погрешностью.

4. Результаты измерений занести в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Результаты измерений препаратов и эталона

Объект Измерен.	t_0 , мин	N_Σ , Имп	n_Σ , имп/мин	n_0 , имп/мин	$t_{0эм}$, мин	$N_{эм}$, Имп	$n_{эм}$, имп/мин	$n_{0эм}$, имп/мин
A								
$A_{эм}$								

n_ϕ и n'_ϕ в имп/мин до и после проведения измерений препарата и эталона.

5. Определить активность исследуемого препарата. Рассчитать погрешность измерения активности.

6. Поправку на разрешающее время брать из расчетов первой лабораторной работы.

3.6. Определение активности методом полного телесного угла

Сущность метода состоит в том, что регистрируется каждая частица, испускаемая исследуемым источником, в полном телесном угле 4π . Счетная система с телесным углом 4π стерadians может быть осуществлена размещением источника внутри фосфора сцинтилляционного счетчика, внутри газоразрядного счетчика, в слое фотоэмульсии и в некоторых других детекторах. Для измерения абсолютной активности источников в геометрии 4π при помощи сцинтилляторов используются твердые кристаллы (стильбен, антрацен) или жидкие фосфоры. В этом случае радиоактивный источник либо вводится в состав вещества твердого сцинтиллятора, либо помещается в жидкий фосфор в виде порошка или погружается в него в тонкой фольге из целлюлозы. При расчете активности источника следует вводить поправки на разрешающую способность счетной системы, на фон, на неполный телесный угол, на поглощение излучения в пленке и потери счета, обусловленные статистикой фотоэффекта.

Недостатком метода полного телесного угла при использовании сцинтилляторов является сложность приготовления источника и сравнительно высокий уровень шумов фотоумножителей, регистрирующих сцинтилляции, что приводит к большим ошибкам при регистрации мягкого бета-излучения. Кроме того, в большинстве случаев при измерении активности источника с помощью 4π -счетчика не требуется введения поправки на схему распада измеряемого изотопа, так как сопутствующее бета-распаду излучение (конверсионные и Оже-электроны, рассеянные бета-частицы, вторичные электроны от гамма- и рентгеновских лучей) не сосчитываются отдельно, а только увеличивают амплитуду первичного импульса на выходе детектора. В настоящее время широкое применение получил 4π -счетчик проточного типа (конструкции Баранова-Полевого), представляющий собой отполированный цилиндр с внутренним диаметром ≈ 40 мм и высотой ≈ 40 мм, закрывающийся с торцов крышками (рис. 3.8.).

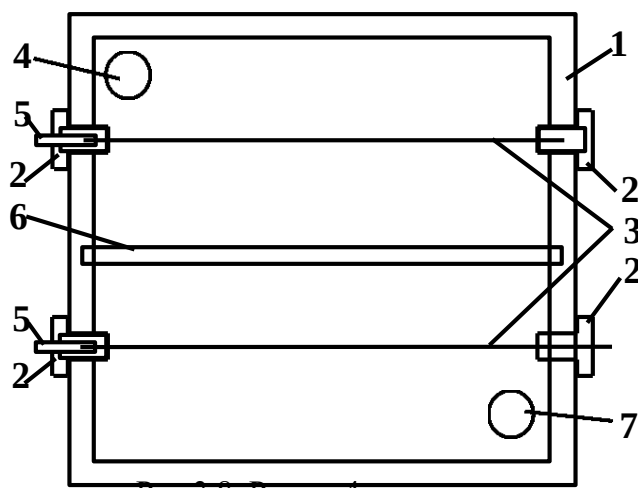


Рис.3.8. Разрез 4π -счетчика:

1 - корпус счетчика, 2 - изоляторы, 3 - нити счетчика, 4 - входное отверстие для потока газа, 5 - штекеры для подачи высокого напряжения, 6 - рамка держатель с источником, 7 - выходное отверстие для потока газа

Метод измерения абсолютной активности источников с помощью газоразрядного 4π - счетчика является наиболее совершенным, так как в нем

сочетаются следующие достоинства: низкий энергетический порог; большая скорость счета; высокая чувствительность; хорошая точность ($1 \div 2\%$).

На расстоянии $\approx 1/4$ высоты от торцов по диаметру цилиндра натянуты параллельно и закреплены на изоляторах две вольфрамовые или молибденовые нити диаметром $(15 \div 20) \cdot 10^{-6}$ м. На половине высоты цилиндра имеются прорезь и внутренний кольцевой паз, в который плотно вставляется алюминиевая рамка-держатель с измеряемым источником.

В рабочем состоянии рамка-держатель делит объем счетчика на две половины: верхнюю и нижнюю. Такое расположение радиоактивного источника позволяет регистрировать все частицы, испускаемые источником внутри телесного угла 4π . Смена источников не нарушает режима работы счетчика.

Цилиндр, крышки и рамка-держатель являются катодом счетчика, который заземляется. Нити на выходе счетчика соединяются и служат анодом, на который через нагрузочное сопротивление подается высокое напряжение.

Около торцов цилиндра вмонтированы два штуцера для протока рабочего газа-наполнителя через счетчик. В качестве газа-наполнителя используются чистые инертные газы (неон, аргон и пр.) с различными гасящими добавками в виде органических соединений, но наиболее широкое применение нашел технический (промышленный) метан, поставляемый в баллонах под высоким давлением. После очистки от ряда мешающих примесей в качестве газа-наполнителя можно также использовать природный газ из коммунальной сети.

4π -счетчики могут работать в пропорциональной области, в режиме ограниченной пропорциональности и в гейгеровской области. Пропорциональная область используется при определении абсолютной активности источников по альфа-излучению. Измерение бета-активных источников целесообразно проводить в области ограниченной пропорциональности, так как в этом случае счетчик регистрирует без просчетов гораздо большие активности, чем при работе в гейгеровском режиме.

При измерении на 4π -счетчике источником может быть только твердый, практически невесомый образец. Абсолютная активность источника может быть определена с точностью $\pm 1\%$. Однако такая точность достигается при условии учета следующих факторов:

- эффективности счетчика;
- поглощения частиц в подложке (пленке);
- поглощения частиц в материале источника (самопоглощения);
- эффекта электризации пленки.

На эффективность влияет величина газового усиления, прежде всего при работе в области ограниченной пропорциональности. Конструкция 4π -счетчика обеспечивает необходимое газовое усиление, что позволяет измерять активность изотопов с мягким бета-излучением.

Эффективность зависит от геометрии измерения источника, которая

должна быть равна 4π стерадианам. Для выполнения этого условия необходимо, чтобы источник был плоским и не превышал в диаметре $5\div 6$ мм, а держатель его (подложка) был как можно более тонким (≈ 20 мкг/см²).

Чистота газа, наполняющего счетчик, также является важным условием, способствующим достижению максимальной эффективности, ибо в противном случае возникают ложные импульсы. При соблюдении всех условий эффективность 4π -счетчика будет равна $\sim 100\%$.

Поглощение бета-частиц в подложке зависит от максимальной энергии бета-излучения измеряемого изотопа и толщины пленки. При толщине пленки, равной $10\div 20$ мкг/см², и энергии спектра бета-излучения более 0,3 МэВ поглощение бета-частиц в пленке незначительно и поэтому не учитывается. При измерении активности бета-излучателей с меньшей максимальной энергией величина поправки может достигать нескольких процентов и должна обязательно учитываться. Величина поправки определяется экспериментальными следующими двумя методами.

В первом методе поочередно производятся три измерения скорости счета источника:

n_B – скорость счета в той половине счетчика, к которой обращен источник, имп/мин;

n_H – скорость счета в противоположной половине счетчика, имп/мин;

n_{BH} – скорость счета при одновременной работе обеих половин счетчика, имп/мин.

Величина поправки на поглощение бета-частиц в пленке K_n определяется из соотношения:

$$K_n = \frac{n_B - n_H}{n_{BH} - n_H} \quad (3.47)$$

Истинная скорость счета источника n_0 т.е. число бета-частиц, излучаемых источником в единицу времени (мин), определяется по формуле:

$$n_0 = \frac{n_{BH}}{2 - K_n} \quad (3.48)$$

Данный метод определения K_n применяется в том случае, когда есть возможность поочередного отключения верхней и нижней половин счетчика.

Сущность второго метода определения K_n заключается в том, что производятся два измерения скорости счета источника в 4π -ой геометрии: первое – измерение источника на пленке в обычных условиях, второе – измерение того же источника, но накрытого сверху чистой пленкой такой же толщины, что и пленка с источником.

Истинная скорость счета определяется по формуле:

$$n_0 = 2n_{BH} - n'_{BH} \quad (3.49)$$

где n_{BH} – скорость счета при первом измерении, имп/мин. n'_{BH} – скорость счета при втором измерении, имп/мин. Из формул следует, что поправка на поглощение излучения будет равна:

$$K_n = \frac{2(n_{BH} - n'_{BH})}{2n_{BH} - n'_{BH}} = \frac{2(n_{BH} - n'_{BH})}{n_0} \quad (3.50)$$

Самопоглощение бета-частиц в материале источника является основным фактором, влияющим на точность измерения активности с помощью 4π-счетчика. Влияние эффекта самопоглощения становится более существенным по мере того, как энергия бета-излучения уменьшается.

Учет самопоглощения ведется в основном двумя методами:

- стремятся готовить однородные, невесомые, легковоспроизводимые источники из радиоактивных материалов, в которых эффект самопоглощения минимален и им можно пренебречь;
- экспериментально определяется величина самопоглощения в источнике, как функция его толщины.

Получение однородных источников с минимальным поглощением бета-излучения зависит от химического соединения, в которое входит измеряемый радиоактивный изотоп, от способа обработки поверхности пленки и метода нанесения на пленку радиоактивного изотопа.

В случаях, когда не удастся изготовить источники с минимальным самопоглощением, производится экспериментальная оценка величины самопоглощения. Для этого готовится серия источников различной толщины, но одинаковой активности, на 4π-счетчике определяется скорость счета в зависимости от толщины источника. Затем рассчитывается относительная удельная активность источника $n_{уд}$ (счетность на единицу веса образца), которая рассматривается как функция толщины источника $\delta_{ист}$ и строится зависимость $n_{уд} = f(\delta_{ист})$ (рис. 3.9.).

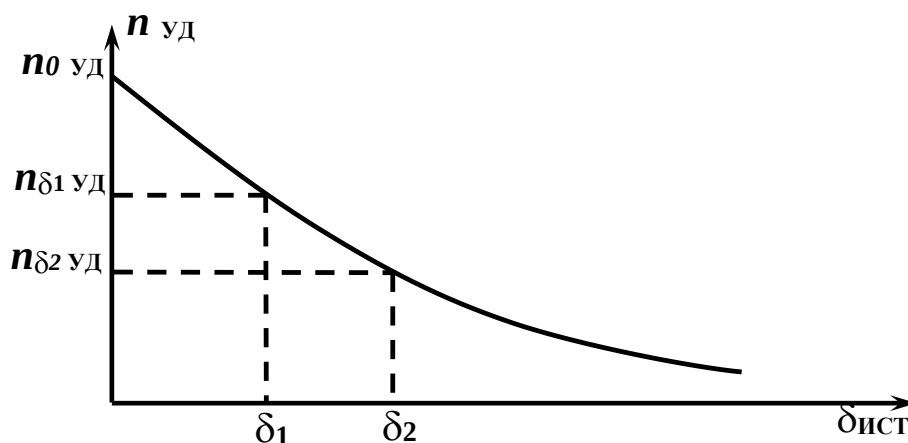


Рис. 3.9. Зависимость удельной активности от толщины источника

При толщине источника $\sim 100 \text{ мкг/см}^2$ и энергии спектра бета-излучения более 0,5 МэВ поглощение бета-частиц в материале источника незначительно и может не учитываться.

После определения поправочных коэффициентов абсолютная активность источника рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{n_0}{K_n S} \quad (3.51)$$

где A — абсолютная активность источника, расп/мин;

n_0 — зарегистрированная 4π-счетчиком скорость счета от источника,

исправленная на разрешающее время и фон, расп/мин;

K_n – поправка на поглощение бета-частиц в пленке;

S – поправка на самопоглощение бета-частиц.

Метод проточного газоразрядного 4π -счетчика в настоящее время является наиболее точным методом измерения абсолютной активности.

3.7. Задачи для проверки знаний по радиометрии

Задача № 1

Определить абсолютную активность точечного и круглого источника Cs^{137} , если истинная скорость счета на КРК-1 составила 500 имп/мин, расстояние от источника до детектора 18 см, толщина окна счетчика 4 мг/см², $\varepsilon = 0,99$.

Решение

1. Т.к. источник Sr^{90} точечный и круглый, имеет простую схему распада, то коэффициенты ρ , S_n , q будут равны единице.

2. Геометрический коэффициент для точечного препарата в стационарном свинцовом домике, расположенного на продолжении оси счетчика равен: $\omega = 0,5(1 - \frac{h_g}{\sqrt{h_g^2 + r_q^2}})$.

При $h_b=18$ см, а радиус окна детектора для КРК-1 составляет $r_q=32,75$ мм, тогда: $\omega = 0,5(1 - \frac{18}{\sqrt{18^2 + 3,275^2}}) = 0,01$

3. Коэффициент обратного рассеяния (κ_o) β - излучения от подложки рассчитывается формуле:

$$K_o = 1 + 0,28 e^{-0,0693 h_{эф} / 1,7 \Delta \beta}.$$

где величина $h_{эф}$ определяется по соотношению:

$$h_{эф} = (1,29 h_b + \delta_{сч}) \delta_{\omega},$$

$\delta_{сч}$ – толщина входного окна счетчика, мг/см²;

1,29 – плотность воздуха, мг/см²;

δ_{ω} - коэффициент, зависящий от величины телесного угла и равный из табл.1 величине 1,01.

Тогда $h_{эф} = (1,29 \cdot 18 + 4) 1,01 = 27,5$ мг/см², а величина коэффициента обратного рассеяния $K_o = 1 + 0,28 e^{-0,693 \cdot 27,5 / 1,7 \cdot 17,5} = 1,15$.

4. Коэффициент поглощения (κ_n) может быть рассчитан по соотношению:

$$K_n = \exp(-0,693 h_{эф} / \Delta \beta) = \exp(-0,693 \cdot 27,5 / 17,5) = 0,323.$$

5. Общий поправочный коэффициент η определяется:

$$\eta = \omega \varepsilon \kappa_n \kappa_o S_n S_q \rho$$

где ω – поправка на геометрические условия измерения (на телесный угол);

ε – поправка на эффективность регистрации излучения счетчиком;

ρ – поправка на схему распада изотопа;

K_n – поправка на поглощение излучения слоем отделяющей среды;

S_q - поправка на саморассеяние излучения в источнике;

S_n – поправка на самопоглощение излучения в источнике;

K_o – поправка на обратное отражение излучения от подложки.

$$\eta = \omega \epsilon \kappa_n \kappa_o S_n S_q \rho = 0,1 \cdot 0,99 \cdot 0,323 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,04$$

6. Величина абсолютной активности равна:

$$A_{абс} = \frac{n_0}{\eta} = \frac{500}{0,04} = 12500, \quad \frac{распад}{ед.вр.}.$$

Задача № 2

Рассчитать истинную скорость счета препарата Sr^{90} если, активность эталона на 2002 г составляла 180 Бк, скорость счета препарата в 1,3 раза больше, чем эталона. Эталонный источник измеряли на КРВП-ЗБ, а препарат на КРК-1, расстояние от источника до окна счетчика было одинаковое и составило 15 см, толщина окна счетчика для обоих приборов 2 мг/см².

Решение

1. Пусть $n_{эт} = x$, тогда $n_{преп} = 1,3x$.

2. Активность эталонного источника на момент времени 2012 г. составила:

$$A_{эм} = A_0 e^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = 180 \cdot e^{-\frac{10}{28}} = 124, \text{ Бк}.$$

3. Выведем зависимость активности препарата и эталона:

$$A_{np} = 1,3 \cdot \frac{\eta_{эм}}{\eta_{np}} \cdot A_{эм} = 1,3 \cdot \frac{\omega_{эм} \cdot K_{n эм} \cdot K_{o эм}}{\omega_{np} \cdot K_{n np} \cdot K_{o np}} \cdot A_{эм}.$$

Различие в величине данных коэффициентов обусловлено значением r_q для КРК-1 составляет 32,75 мм, а для КРВП-ЗБ 33,74 мм.

4. Геометрический коэффициент для точечного препарата в стационарном свинцовом домике, расположенного на продолжении оси счетчика равен: $\omega = 0,5(1 - \frac{h_g}{\sqrt{h_g^2 + r_q^2}})$.

$$\omega_{эм} = 0,5(1 - \frac{15}{\sqrt{15^2 + 3,374}}) =$$

$$\omega_{np} = 0,5(1 - \frac{15}{\sqrt{15^2 + 3,275}}) =$$

5. Коэффициент обратного рассеяния (κ_o) β - излучения от подложки рассчитывается формуле:

$$K_o = 1 + 0,28 e^{-0,0693 h_{эф} / 1,7 \Delta \beta}.$$

где величина $h_{эф}$ определяется по соотношению:

$$h_{эф} = (1,29 h_B + \delta_{сч}) \delta_{\omega},$$

$\delta_{сч}$ – толщина входного окна счетчика, мг/см²;

1,29 – плотность воздуха, мг/см²;

δ_ω – коэффициент, зависящий от величины телесного угла и равный из табл.1.

Тогда $h_{эф\ эт} = (1,29 \cdot 15 + 2) \times 10^{-10} \text{ м/см}^2$, а величина коэффициента обратного рассеяния $K_o = 1 + 0,28 e^{-0,693 \cdot 27,5/1,7 \cdot 17,5} = 1,15$.

В общем случае расчет "абсолютной" активности (под абсолютной активностью радиоактивного источника понимается полное число актов распада, происходящих в веществе данного источника) ведется по формуле:

$$A_{абс} = n_{сч} K_{св},$$

где $A_{абс}$ – абсолютная активность, расп/мин;

$n_{сч}$ – скорость счета, имп/мин;

$K_{св}$ – коэффициент связи, расп/имп.

Задача 1. Определить истинную скорость счета импульсов n_o , если

$$\tau_p = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ сек}, \bar{n}_\Sigma = 9250 \text{ имп/мин}, n_\phi = 65 \text{ имп/мин}.$$

Задача 2. Рассчитать активность источника, если $n_o = 6100 \text{ имп/мин}$,

$S_n \cdot S_q = 0,4$, $\omega = 0,03$, $\varepsilon = 0,97$, $\rho = 0,78$, $\kappa_n = 0,02$, $\kappa_o = 1,01$ Активность выразить в Бк.

Задача 3. Определить абсолютную активность источника, если $\bar{n} = 3450 \text{ имп/мин}$, $P(\tau_p) = 1,04$, $n_\phi = 65 \text{ имп/мин}$, $\eta = 0,02$.

Задача 4. Установить активность препарата с $T_{1/2} = 2,062$ года через 625 дней, если его начальная активность равнялась 3820 расп/мин .

Задача 5. Определить поправку на телесный угол для точечного источника, если диаметр окна счетчика 3,5 см, расстояние от препарата до окна счетчика 5 см.

Задача 6. Найти активность источника, если $A_{эм} = 5 \cdot 10^{-6}$ Ки, $n_{эт} = 13550 \text{ имп/мин}$, $n_{ис} = 1470 \text{ имп/мин}$.

Задача 7. Определить абсолютную активность, если число γ – квантов за 1 мин. равно $720\,000 \text{ расп/мин}$ и поправка на схему распада = 0,82.

Задача 8. Определить поправку на телесный угол для точечного источника, если диаметр окна счетчика 3,5 см, расстояние от препарата до окна счетчика 5 см.

Задача 9. Определить шкалу деления спектрометра, если энергия γ – излучения равна 0,84 МэВ. № канала 45.

Задача 10. Определить энергетическое разрешение изотопа на кристалле NaI(Tl) размером 80x80, если его энергия равна 0,411 МэВ и ПШПВ – 27 кэВ.

Задача 11. Определить энергетическое разрешение изотопа на кристалле CsI (Tl) размером 40x40, если его энергия равна 0,662 МэВ и ПШПВ – 17 кэВ.

Задача 12. Определить шкалу деления спектрометра, если энергия γ – излучения равна 2,74 МэВ. № канала 66.

Задача 13. Определить энергетическое разрешение изотопа, его энергия равна 1,451 МэВ, $R_{0,662} = 8,7\%$.

Задача 14. Рассчитать площадь под распределением, ограниченным фотопиком, если $N_{\phi} = 4130 \text{ имп/мин}$, $\Delta E = 9 \text{ КэВ}$.

Задача 15. Определить шкалу деления спектрометра, если энергия γ – излучения равна 0,767 МэВ, № канала 44.

Задача 16. Определить энергетическое разрешение изотопа на кристалле NaI (Tl) размером 80х80, если его энергия равна 1,037 МэВ и ПШПВ – 21 кэВ.

4. Лабораторные работы по радиохимии

4.1. Методы соосаждения

Работа № 1. Выделение радионуклидов цезия осаждением в виде фосформолибдата цезия

Некоторые гетерокислоты, например, фосфоровольфрамовая, фосформолибденовая, кремневольфрамовая образуют труднорастворимые соли с цезием:

$\text{Cs}_3[\text{PW}_{12}\text{O}_{40}]$; $\text{Cs}_3[\text{PM}_{0,2}\text{O}_{40}]$; $\text{Cs}_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}]$ и др. Растворимость некоторых солей цезия весьма низка, что позволяет выделить микроколичества радионуклидов цезия из сложных по радиотехническому составу растворов в виде труднорастворимой комплексной соли.

Определение и выделение микроколичеств цезия этим методом основано на предварительном отделении цезия хроматографическим методом от элементов первой и третьей группы с последующим элюированием и осаждением в виде фосформолибдата цезия.

Оборудование и реактивы: Радиометрическая установка с детектором β -излучения; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; хроматографическая колонка $d = 5\text{ мм}$, снаряженная катионитом КУ-2-8 в Na – форме (высота слоя сорбента 10 см); центрифуга типа ОПН-8; стакан химический – 25-30 мл; цилиндр мерный на 10 мл; носители цезия и марганца (содержание 10 мг/мл); трилон Б - насыщенный раствор с $\text{pH} = 10-11$; перекись водорода – 30% р-р; едкий натр – 0,5Н; Растворы кислоты 20 % HCl ; 15 % фосформолибденовой; 2Н азотной кислоты.

Порядок выполнения работы. Получив исследуемый раствор, содержащий смесь изотопов, определяют его объемную активность путем взятия трех проб по 0,2 мл. Отбирают 10 мл исследуемого раствора и помещают в стакан на 50 мл, пробу подкисляют 2 – 3 каплями 2Н HNO_3 . Приливают 0,2 мл. смеси носителей и 1 мл. носителя цезия; 3-3 капли перекиси водорода и 0,5 мл. насыщенного раствора Трилона - Б. Смесь перемешивают стеклянной палочкой и нагревают на водяной бане до 60 – 80 °С в течении 8÷10 мин. Раствор перемешивают и переносят в делительную воронку, соединенную с хроматографической колонкой, затем раствор пропускают через хроматографическую колонку со скоростью 1÷1,5 мл/мин, установленной по дистиллированной воде. Фильтрат сливают в отходы. После пропускания исследуемого раствора, хроматографическую колонку промывают 10 мл 0,01Н раствора трилона - Б с $\text{pH} = 10\div 11$ и 6 мл 0,5Н раствора NaOH с 2÷3 каплями перекиси водорода, фильтрат сливают в отходы.

Для вымывания цезия берут 30 мл. 2Н HNO_3 и пропускают через хроматографическую колонку установленной скоростью 1÷1,5 мл/мин. Элюат нагревают на водяной бане до 70÷80 °С и осаждают 3÷5 мл

фосформолибденовой кислоты. Раствор центрифугируют, осадок 3 раза промывают 5 мл.

0,5 HNNO_3 и в виде водноацетоновой смеси переносят на предварительно взвешенную подложку, высушивают под лампой, взвешивают и измеряют активность осадка.

Чистоту выделенного цезия проверяют на γ -спектрометре.

Выход носителя цезия определяют по формуле

$$B = 12,57 \frac{a}{TV} \quad (4.1)$$

где a – вес осадка, мг;

T – титр носителя цезия, мг/мл;

V – объем добавленного носителя цезия, мл.

По полученным данным рассчитывают содержание радионуклидов цезия в анализируемой пробе по формуле:

$$A = \frac{\text{нсч} \cdot 1000 \cdot 100}{\eta \cdot B \cdot V} \text{ Бк/л} \quad (4.2)$$

где нсч – скорость счета препарата, имп/с;

η – коэффициент эффективности пересчетной установки;

B – выход носителя цезия, %

V – объем задачи, мл.

Содержание отчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы

2. Результаты измерения и расчетные данные, связанные в таблицу

№ задачи	$\text{Нсч}_{\text{фона}}$ имп/с	нсч исх. имп/с	$\Sigma A_{\text{исх}}$ р-ра Бк.	$m_{\text{под.}}$ мг	нсч осад. имп/с	$a_{\text{осад}}$ мг.	$\Sigma A_{\text{ос}}$ Бк	$\frac{\Sigma A_{\text{ос}}}{\Sigma A_{\text{исх}}}$
----------	-------------------------------------	-------------------------------	--	-------------------------	--------------------------------	--------------------------	------------------------------	--

3. Расчеты

4. γ -спектр осадка

5. Выводы.

Работа № 2. Выделение радионуклидов цезия осаждением висмутйодида цезия

Для количественного определения радиоактивных изотопов цезия могут быть использованы реакции образования кристаллов труднорастворимого соединения цезия, таких как:

$\text{Cs}[\text{Sb}_{12}\text{Cl}_{10}]$; $\text{Cs}_3[\text{SmCl}_6]$; $\text{Cs}_2[\text{PtCl}_6]$; $\text{Cs}_3[\text{Bi}_2\text{I}_9]$; b и др.

Осаждение труднорастворимого висмутйодида цезия, являющегося весовым формам для определения микроколичеств радионуклидов цезия, широко применяется в радиохимической практике. Определение микроколичеств радионуклидов цезия может быть осуществлено из сложных по радиохимическому составу смесей и основано на предварительном отделении элементов первой и второй группы с осаждением висмутйодида цезия.

Оборудование и реактивы: Радиометрическая установка с детектором γ -излучения; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; фроматографическая колонка $d = 5$ мм, снаряженная катионитом АВ – 17 в ОН – форме(высота слоя сорбента 10см); делительная воронка на 50 мл; стакан химический – 25÷30 мл.; центрифуга; центрифужная пробирка; пипетки на 5,2 и 1 мл.; цилиндр мерный на 10 мл; микропипетки на 0,2м; стеклянная палочка; раствор содержащий цезий – 137 с объемной активностью $5 \cdot 10^2$ имп/сек-мл; смесь радионуклидов йод – 131; цезий- 141; кобальт – 60; стронций-83 с объемной активностью $1,6 \cdot 10^2$ имп/сек. Растворы азотнокислого цезия (содержание цезия 10мг/мл.)йодистого калия (содержание йода 10мг/мл.); смеси носителей(содержание металлов 10мг/мл); 10 %- раствор трехзамещенного лимоннокислого натрия; ледяная уксусная кислота; 8% раствор гексаметафосфата натрия; осадитель цезия- висмутйодид; этиловый спирт.

Прядок выполнения работы Получив исследуемый раствор, содержащий смесь изотопов, определяют его объемную активность путем взятия трех проб по 0,2 мл. Отбирают пипеткой 5 мл исходного раствора и помещают в стакан на 25÷30 мл. Туда же приливают 1 мл носителя цезия, 0,2 мл йодистого калия (содержание йода 10 мг/мл); 0,2 мл смеси носителей на цезий, кобальт и стронций. Раствор перемешивают стеклянной палочкой и переносят в делительную воронку, соединенную с хроматографической колонкой. Предварительно по дистиллированной воде устанавливают скорость раствора через колонку 1 – 2 мл/мин. Первые 4 мл выходящего раствора собирают в мерный цилиндр на 10 мл и сливают в отходы, а последующие порции собирают в центрифужную пробирку. После пропускания исследуемого раствора приливают в воронку 5 мл дистиллированной воды и промывают фильтрат в ту же центрифужную пробирку. В центрифужную пробирку приливают 1-2 мл ледяной уксусной кислоты и 0,2 мл. гексаметафосфата натрия.

Растворы перемешивают и добавляют 2 мл. осадителя цезия. Периодически перемешивая стеклянной палочкой с потиранием о стенки пробирки, дать раствору постоять 25 – 3- мин. Для созревания осадка висмутйодида цезия. После этого осадок центрифугируют, отделяют от раствора и промывают 2-3 раза ледяной уксусной кислотой до обесцвечивания жидкости. Затем осадок промывают 2 раза 3 – 5 мл этилового спирта и количественно с помощью спирта переносят на предварительно взвешенную подложку. Осадок высушивают под лампой, взвешивают и измеряют на радиометрической установке. Частоту выделенного цезия проверяют на γ -спектрометре.

Выход носителя цезия рассчитывается по формуле

$$B = 20,35 \frac{a}{TV} \quad (4.3)$$

где, a – вес осадка, мг;

T – титр носителя цезия, мг/мл;

V – объем добавленного носителя цезия, мл.

По полученным данным рассчитывают содержание радионуклидов цезия в анализируемой пробе по формуле:

$$A = \frac{nсч \cdot 1000 \cdot 100}{\eta \cdot B \cdot V} \text{ Бк/л} \quad (4.4)$$

где: **нсч** – скорость счета препарата, имп/сек;

η – коэффициент эффективности пересчетной установки;

B – выход носителя цезия, %

V – объем задачи, мл.

Содержание отсчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы

2. Результаты измерения и расчетные данные, связанные в таблицу

№ задачи	Нсч _{фона} имп/с	нсч исх. имп/с	$\Sigma A_{исх}$ р-ра Бк.	m _{под.} мг	нсч осад. имп/с	a _{осад} мг.	$\Sigma A_{ос}$ Бк	$\frac{\Sigma A_{ос}}{\Sigma A_{исх}}$
----------	-------------------------------------	-----------------------------	---------------------------------	-------------------------	------------------------------	--------------------------	-----------------------	--

3. Расчеты

4. γ -спектр осадка

5. Выводы.

Работа № 3. Осаждение радиоизотопов редкоземельных элементов осаждением в виде гидроксидов

Выделение редкоземельных элементов (РЗЭ) основано на двукратном осаждении в виде гидроксида. При отделении цезия от других редкоземельных элементов его переводят в четырехвалентное состояние.

Оборудование и реактивы: центрифуга; электроплитка; муфельная печь; лампа «Солюкс»; стакан химический 100мл – 2 шт.; колба коническая 250 мл; цилиндр мерный на 100 мл; пипетка 2 мл.; стеклянная палочка; тигель на 50 мл; подложка; раствор содержащий смесь церия – 141 и иттрия – 91 с объемной активностью 85 имп/с·мл; растворители носителей иттрия и церия; соляная кислота концентрированная; раствор аммиака; сухой хлористый аммоний; бромат калия; 10%-ный раствор йодида калия 8Н азотной кислоте; 12Н раствор едкого натра; спирт этиловый; щавелевая кислота 1:10.

Прядок выполнения работы: Получив исследуемый раствор, содержащий смесь радионуклидов РЗЭ, определяют его объемную активность путем взятия трех проб по 0,1 мл. Отбирают 10 мл исследуемого раствора и помещают в стакан на 50 мл. В пробу вносят по 0,5 мл носителей иттрия и церия, затем добавляют 0,5 г хлористого аммония и осаждают гидроксиды РЗЭ, прибавляя по каплям раствор концентрированного гидроксида аммония до pH=1,5 – 2. Осадок отделяют центрифугированием, промывают 3 раза 5 мл горячего 1%-го раствора хлористого аммония с добавлением 1 мл. гидроксида аммония

Промытым осадком растворяют в 5 мл 8Н азотной кислоты к полученному раствору добавляют 0,1 г кристаллического бромата калия при

перемешивании и нагревании до полного растворения и нагревания до полного растворения и желтого окрашивания раствора. В этой среде происходит окисление трехвалентного церия в четырехвалентный. К охлажденному раствору приливают по каплям 1-2 мл 10% раствора йодида калия в 8Н азотной кислоте при непрерывном перемешивании раствора. Осаждение ведут на холоде в водяной бане в течение 3 – 5 мин при перемешивании стеклянной палочкой. Осадок отделяют центрифугированием, раствор сливают в другую центрифужную пробирку, в которую добавляют 0,5 мл. носителя церия. После выпадения осадка вновь отделяют осадок центрифугированием. Раствор переносят в чистую центрифужную пробирку и осторожно по каплям, тщательно перемешивая добавляя 2Н гидроксид натрия и осаждают гидроокись иттрия.

Осадок в третьей центрифужной пробирке 3 раза промывают теплой водой и растворяют в 0,5 мл. концентрированной соляной кислоты. К раствору добавляют 5 мл дистиллированной воды и гидроксиды редкоземельных элементов раствором гидроксида аммония. Осадок отделяют центрифугированием, отделяют от раствора и 2 раза промывают 4 мл горячего 1 % раствора хлористого аммония с добавлением 1 мл гидроксида аммония. Осадок при добавлении 1-2 мл этилового спирта количественно переносят в тигель, предварительно доведенного до постоянного веса, высушивают и прокаливают при температуре 600...700 °С, определяют выход носителя по иттрию и измеряют радиоактивность.

Выход носителя по иттрию определяют по формуле

$$B = 78,76 \frac{a}{TV} \quad (4.5)$$

где, а – вес осадка, мг;

T – титр носителя цезия, мг/мл;

V – объем добавленного носителя цезия, мл.

По полученным данным рассчитывают содержание радионуклидов иттрия в анализируемой пробе по формуле

$$A = \frac{nсч \cdot 1000 \cdot 100}{\eta \cdot B \cdot V} \text{ Бк/л}, \quad (4.6)$$

где **nсч** – скорость счета препарата, имп/с;

η – коэффициент эффективности пересчетной установки;

B – выход носителя цезия, %

V – объем задачи, мл.

Содержание отсчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы

2. Результаты измерения и расчетные данные, связанные в таблицу

№ задачи	Nсч _{фона} имп/с	nсч _{исх.} имп/с	$\Sigma A_{исх}$ р-ра Бк.	m _{под.} мг	nсч осад. имп/с	a _{осад} мг.	$\Sigma A_{ос}$ Бк	$\frac{\Sigma A_{ос}}{\Sigma A_{исх}}$
----------	-------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	-------------------------	------------------------------	--------------------------	-----------------------	--

3. Расчеты

4. γ -спектр осадка

5. Выводы.

Работа № 4. Определение стронция и бария в сложных смесях хроматным методом

Разделение бария и стронция является трудной аналитической задачей. Наиболее просто разделение осуществляется путем осаждения хромовокислого бария из уксуснокислого раствора. Метод основан на растворимости хромовокислого стронция в уксусной кислоте и не растворимости в нем хромовокислого бария. От других элементов стронций и барий могут быть отделены хроматографией с последующим осаждением труднорастворимых фосфатов.

Оборудование и реактивы: Хроматографическая колонка $d = 10$ мм, снаряженная катионитом АВ – 17 в ОН-форме (высота слоя сорбента 10 см); делительная воронка; стакан химический – 100 мл; центрифуга; центрифужная пробирка; микропипетки на 0,2 мл; стеклянная палочка; раствор содержащий барий-140; стронций-89; с объемной активностью $1,65 \cdot 10^2$ имп/с·мл; смесь радионуклидов йод-131; цезий-141; кобальт-60; стронций-83 с объемной активностью $1,7 \cdot 10^2$ имп/сек. Растворы носителей азотнокислый стронций, хлористый барий; трилон – Б; 1,5Н раствор бихромата калия; концентрированная серная кислота; ацетатный буферный раствор с $pH=4,5 - 5$; этиловый спирт 5 - 7 мл.

Прядок выполнения работы. Отбирают 20 мл исходного раствора и помещают в стакан на 50 мл. Туда же приливают 0,2 мл. цитрата натрия, 1 мл стронций и 1 мл бария. Раствор перемешивают стеклянной палочкой и переносят в делительную воронку, соединенную с хроматографической колонкой. Предварительно по дистиллированной воде устанавливают скорость раствора через колонку 1 – 2 мл/мин. Первые 4 мл. выходящего раствора собирают в мерный цилиндр и сливают в отходы. Оставшийся раствор пропускают до краника делительной воронки, затем добавляют 5 мл дистиллированной воды и собирают в стакан на 100 мл.

В фильтрат, содержащий смесь стронция и бария, приливают 5 мл насыщенного раствора трехзамещенного фосфата натрия. Раствор отстаивают 5 – 10 мин для созревания осадка. Полученный осадок отделяют центрифугированием, промывают водой и добавляют 2-3 капли насыщенного раствора трилона Б и 5 мл буферного раствора. Смесь перемешивают стеклянной палочкой до растворения и нагревают на водяной бане до 70 – 80 °С. Приливают 3 мл раствора бихромата калия и отстаивают 5 – 10 минут.

Образовавшийся осадок отделяют от раствора, отделяют центрифугированием. Раствор сливают в другую центрифужную пробирку.

Осадок промывают 2 раза водой и 2 раза этиловым спиртом, затем осадок количественно переносят на предварительно взвешенную подложку. Определяют вес осадка и его радиоактивность.

В центрифужную пробирку с раствором стронция при нагревании добавляют несколько капель концентрированной серной кислоты и 2 -3 капли этилового спирта. Образовавшийся осадок центрифугируют,

промывают горячей водой и затем переносят его на количественно на предварительно взвешенную подложку и определяют вес и радиоактивность.

Выход носителей определяют по формуле:

$$V_{Ba} = 54,3 \frac{a_1}{T_1 V_1} \quad V_{Sr} = 47,7 \frac{a_2}{T_2 V_2} \quad (4.7)$$

где a_1 a_2 – вес осадка, мг;

T_1 и T_2 – титр носителя цезия, мг/мл;

V_1 и V_2 – объем добавленного носителя, мл.

По полученным данным рассчитывают содержание радионуклидов бария-133 и стронция-89 в анализируемой пробе по формуле

$$A = \frac{n_{сч} \cdot 1000 \cdot 100}{\eta \cdot B \cdot V} \text{ Бк/л} \quad (4.8)$$

где $n_{сч}$ – скорость счета препарата, имп/с;

η – коэффициент эффективности пересчетной установки;

B – выход носителя цезия, %

V – объем задачи, мл.

Содержание отчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы

2. Результаты измерения и расчетные данные, связанные в таблицу

№ задачи	$N_{сч}$ фона имп/с	$n_{сч}$ исх. имп/с	V_{Ba} %	V_{Sr} %	A_{Ba} Бк/дм ³	A Бк/дм ³ _{Sr}
----------	------------------------	---------------------------	---------------	---------------	--------------------------------	---

3. Расчеты

4. γ - спектр осадка

5. Выводы.

Работа № 5. Разделение бария-140 и лантана-140 соосаждением с неизотопным носителем.

Барий – 140 является одним из осколочных реперных элементов, разделяясь он превращается в лантан – 140, при распаде которого образуется стабильный изотоп.



Равновесие между Ba – 140 и La – 140 устанавливаются примерно 20 дней. В настоящей работе исследуется влияние антиносителя на соосаждение Ba – 140 и гидроксид железа. La- 140 быстро и количественно переходит в осадок с свежеприготовленным гидроксидом железа.

Оборудование и реактивы: Радиометрическая установка; γ – спектрометр; центрифуга; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; пипетка на 10мл.; делительная воронка на 10 мл; центрифужная пробирка на 20 мл; мерная колба на 25 мл; солянокислый раствор бария – 140 имп/сек· мл; раствор хлорида бария 2 мг/мл; 2Н хлорид железа; 2Н, 6М соляная кислота; 10% раствор гидроксида аммония; диэтиловый эфир; этиловый спирт.

Порядок выполнения работы. Определяют объемную активность исходного раствора путем отбора трех проб по 0,2 мл. Отбирают пипеткой 5

мл исходного раствора и помещают в стакан на 25 – 30 мл. Добавляют туда 5 мл дистиллированной воды и 50 мг. Хлористого железа, подкисляют 3 – 4 каплями 6 Н соляной кислоты. Раствор нагревают на водяной бане при температуре 70 – 80 °С и при перемешивании осаждают гидроксидом аммония. Осадок центрифугируют и промывают 5 мл горячей воды с 5 мл гидроксида аммония. Фугат сливают в мерную колбу на 25 мл.

Осадок в центрифужной пробирке растворяют в 1 мл 2 Н соляной кислоты и снова осаждают гидроксидом аммония. Снова отделяют осадок с помощью центрифуги, фильтраты объединяют в мерной колбе на 50 мл.

Осадок растворяют в 2 мл 6М соляной кислоты, переносят в делительную воронку, куда добавляют равный объем диэтилового эфира. Воронку встряхивают 2 – 3 мин. Водную и органическую фазу разделяют, а затем осторожно упаривают и определяют активность.

В фугат. В мерной колбе, добавляют дистиллированную воду до метки, далее отбирают пробы по 0,5 мл и определяют радиоактивность. Опыт повторяют, добавляя к исходному раствору бария – 140 вместо 5 мл воды, 5 мл раствора хлорида бария. Чистоту подготовленный проб проверяют на γ -спектрометре.

Содержание отчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы.
2. Расчет распределения разделяемых изотопов при наличии антиносителя и без него по результатам измерения радиоактивности.
3. Выводы.

Работа № 6. Разделение ниобия-95 и циркония-95 адсорбционным методом

Двуокись марганца избирательно адсорбирует микроколичества ниобия из азотнокислых растворов, что используется для отделения ниобия – 95 от материнского изотопа циркония – 95.

Прядок выполнения работы: Получив исследуемый раствор содержащий цирконий – 95 (ниобий – 95), определяют его объемную активность путем взятия трех проб по 0,1 мл. Отбирают 5 мл исследуемого раствора и 5 мл азотнокислого циркония в 10Н азотной кислоте, помещают в центрифужную пробирку. Затем вводят 10 мг двуокиси марганца, предварительно промытой теплой серной кислотой и дистиллированной водой. Содержание пробирки тщательно перемешивают стеклянной палочкой 2 – 3 мин, затем центрифугируют. Фугат, почти не содержащий ниобия – 95 сливают в другую центрифужную пробирку и добавляют в нее 5 мг двуокиси марганца, повторяя процесс адсорбции для более полного соосаждения ниобия – 95.

Раствор после повторного осаждения сливают в третью центрифужную пробирку и определяют его объемную активность путем

взятия трех проб по 0,2 мл. Рассчитывают суммарную активность выделенного циркония – 95.

Для проверки радиохимической чистоты выделенного циркония- 95 из полученного раствора готовят препарат с активностью 80 – 100 имп/с и с помощью алюминиевых фильтров определяют слой половинного ослабления.

Добавлением 1 - 2 мл 10Н азотной кислоты осадок двуокиси марганца из второй пробирки переносят в первую и объединяют осадки, промывая при перемешивании 4 -6 мл 10н азотной кислоты. Отделив осадок двуокиси марганца центрифугированием, фугат сливают в склянку для радиоактивных отходов.

Промытую двуокись марганца растворяют в 5 мл 1Н азотной кислоты с добавлением 3 – 4 капель 30% перекиси водорода. Перекись водорода вводят осторожно по каплям, постоянно перемешивают стеклянной палочкой и осторожно нагревая на водяной бане. Каждую следующую каплю перекиси водорода добавляют после того, как предыдущая полностью прореагировала.

Из полученного раствора, содержащего ниобий - 95 готовят на подложке препарат для определения объёмной активности отделенного ниобия – 95, а затем рассчитывают суммарную активность радионуклидов в исходной пробе.

Для проверки радиохимической чистоты выделенного ниобия – 95 производят снятие спектра поглощения с помощью алюминиевых фильтров и определяют слои половинного ослабления.

Работа № 7. Отделение бария-137 от цезия-137 соосаждением с носителем.

Изотоп бария – 137 из-за малого периода полураспада не практического применения, однако в лабораторных условиях может быть использован для определения периода полураспада. Для его выделения в данной работе использован специфический изотопный носитель.

Оборудование и реактивы. Радиометрическая установка; γ – спектрометр; центрифуга; химический стакан; раствор цезия – 137 (10 мг/мл); раствор хлорида бария (50 мг/мл) 5 % уксусная кислота; 1,5 Н раствор бихромата калия; диэтиловый эфир; 3 % соляная кислота; этиловый спирт.

Порядок выполнения работы. Реактивы и посуда готовятся заранее. Работа должна проводиться очень четко и быстро измерения следует начинать не позднее, чем через 3 – 4 минуты после первого осаждения. Измеряют радиоактивность исходного раствора цезия – 137 путем отбора 3-х проб по 0,1 мл. Наливают в стакан 2 мл хлористого бария, 1 мл хлористого цезия и 1 мл исходного раствора цезия – 137.

В стакан добавляют 3 капли уксусной кислоты, 2 г уксуснокислого натрия, раствор добавляют до 25 мл дистиллированной водой, переносят в стакан на 100 мл, в который предварительно вносят 1 мл хлорида цезия и 10 мл 3 % соляной кислоты и доводят до кипения. Стакан с раствором снимают с плитки, добавляют одну каплю бихромата калия и 5 г уксуснокислого

натрия. Осадок хромата бария отделяют центрифугированием и промывают дистиллированной водой. Затем проводят переосаждение. Осадок, полученный после третьего осаждения, высушивают 5 – 10 мл эфира и с помощью нескольких капель спирта переносят на подложку. Измеряют активность осадка и первого фильтрата.

Содержание отчета

1. Краткое содержание методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы.
2. Вычисление периода полураспада бария – ^{137} и степени отделения от цезия – ^{137} по зависимости радиоактивность – время.
3. Расчеты.
4. Выводы

Работа № 8. Отделение Sr – 90 от Y – 90 соосаждением с изотопным носителем.

Радиоактивный изотоп стронций – 90 образуется при делении ядер урана. После выделения его из продуктов деления в нем накапливается дочерний изотоп иттрий – 90. Смесь двух радиоактивных изотопов можно разделить, прибавляя к содержащему их раствору нерадиоактивный изотоп одного из компонентов смеси – изотопный носитель и переводя этот носитель в малорастворимую твердую фазу. При полном выделении носителя осадок происходит практически полный переход в твердую фазу и его радиоактивного изотопа. Другой же компонент радиоактивной смеси остается в растворе, если он не способен соосаждаться или адсорбироваться на поверхности раздела фаз. В случае заметной адсорбции второго компонента смеси в раствор добавляют изотопный носитель, не способный образовывать самостоятельную твердую фазу, что приводит к предотвращению адсорбции и полному разделению смеси изотопов.

Оборудование и реактивы. Радиометрическая установка; γ – спектрометр; центрифуга; водяная баня; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; мерные колбы на 25 мл; раствор стронция – 90 с объемной активностью 300 – 350 имп/сек·мл; растворы хлорида иттрия и азотнокислого стронция (10 мг/мл по металлу); 8Н раствор серная кислота; 10 % раствор карбоната натрия; 10 % раствор уксусной кислоты; спиртоэфирная смесь (1:1)

Порядок выполнения работы. Получив исследуемый раствор определяем объемную активность путем взятия трех проб по 0,1 мл.

В центрифужную пробирку приливают по 10 капель растворов носителей – хлористого иттрия и азотнокислого стронция. К полученной смеси добавляют 1 мл исходного раствора, содержащего радиоактивный стронций – 90. К содержимому пробирки приливают 3 – 5 мл дистиллированной воды и при перемешивании стеклянной палочкой по каплям приливают серную кислоту (10 – 12 капель) до полного осаждения сульфата стронция. Содержимое центрифужной пробирки периодически перемешивают стеклянной палочкой в течение 10 – 15 мин. Выпавший

осадок сульфата стронция центрифугируют, осторожно сливая фугат во вторую центрифужную пробирку. При каждом центрифугировании раствора с осадком, для понижения поверхностного натяжения в центрифужную пробирку приливают 3 – 4 капли спиртоэфирной смеси.

Осадок сульфата стронция в первой центрифужной пробирке дважды промывают холодной дистиллированной водой, осторожно сливают промывные воды, не затрагивая осадок, в мерную колбу на 25 мл.

Во вторую центрифужную пробирку приливают 4 капли раствора азотнокислого стронция и вновь производят осаждение сульфата стронция 8Н раствором серной кислоты. Центрифугируют выпавший осадок сульфата стронция и, не затрагивая осадок, фугат переливают в ту же мерную колбу на 25 мл.

Осадок сульфата стронция дважды промывают холодной водой, сливая промывные воды в мерную колбу на 25 мл. Объем раствора в мерной колбе доводят дистиллированной водой до метки и тщательно перемешивают.

Берут из мерной колбы по 0.5 мл каждая, определяют объемную активность раствора и рассчитывают суммарную активность выделенного радиоактивного иттрия.

В каждую центрифужную пробирку с осадком сульфата стронция вносят по 2 – 3 мл горячего 10 % раствора соды. Содержимое центрифужных пробирок перемешивают в течении 10 мин стеклянной палочкой при осторожном нагревании пробирок на водяной бане. Образовавшийся карбоната стронция центрифугируют и промывают теплой водой. Фугат и промывные воды сливают в емкость для жидких радиоактивных отходов.

В каждой центрифужной пробирке выделенный осадок карбоната стронция растворяют в 1 мл разбавленной уксусной кислоты. Растворы ацетата стронция из обеих центрифужных пробирок количественно переносят во вторую мерную колбу на 25 мл, доводят до метки дистиллированной водой. Тщательно перемешивают полученный раствор и отбирают три пробы по 0,3 мл. После высушивания определяют радиоактивность на радиометрической установке, рассчитывают объемную активность полученного раствора и суммарную активность выделенного радиоактивного изотопа стронция – 90.

Рассчитывают долю радиоактивного стронция – 90 и иттрия, выделенных этим методом, определяют потери разделяемых изотопов в процессе выполнения работ.

Содержание отчета

1. Краткое содержание методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы.

2. Расчёт распределения разделяемых радионуклидов стронция – 90 и иттрия – 90 по результатам измерения радиоактивности и сопоставления с общей исходной радиоактивностью.

3. Расчеты.

4. Выводы

Работа № 9 Выделение протактиния - 234 соосаждением на неизотопных носителях

Протактиний – 234 является членом радиоактивного уран – радиевого семейства.

Радиоактивное равновесие в этой цепочке изотопов определяется накоплением UX, и достигается примерно за 6 месяцев.

В состоянии радиоактивного равновесия 1 г урана содержит $4,7 \cdot 10^{-17}$ г протактиния - 234. Выделение протактиния - 234 основано на его осаждении с фосфатом циркония или двуокисью марганца в условиях, когда соосаждение UI и UX, незначительно. Соосаждение UX, может быть уменьшено путем внесения в раствор до проведения соосаждения антиносителя нитрата тория – 232. Так как изотоп протактиния – 234 UX₂ имеет весьма малый период полураспада (1,14 мин), опыты должны быть тщательно подготовлены, измерения радиоактивности должны начинаться не позже, чем через 1,5 мин после окончания разделения UX₁ и UX₂.

Оборудование и реактивы: Радиометрическая установка; γ – спектрометр; пипетки на 1 мл; мерный цилиндр; водяная баня; воронки; фильтры; калька; раствор нитрата тория – 234; насыщенный раствор уранилнитрата; 10Н р-р азотной кислоты; 12 Н раствор соляной кислоты; раствор двухзамещенного фосфата натрия (20 мг/мл); раствор азотнокислого циркония; ацетат; перманганат калия; двуокись марганца; этиловый спирт.

Схема выполнения работы (Приложение).

Порядок выполнения работы:

А. Разделение соосаждением с фосфатом циркония.

Получив исходный раствор уранилнитрата, отбирают 1 мл, добавляют 1 мл концентрированной соляной кислоты и 2,5 мл дистиллированной воды. Полученный раствор нагревают до кипения и вносят 3 – 4 капли двухзамещенного фосфата натрия 2 капли азотнокислого циркония. Образовавшийся осадок отфильтровывают через бумажный фильтр на воронке Бюхнера (за 10 – 20 сек), промывают ацетатом. Фильтр быстро переносят в заранее приготовленный конверт из кальки, который помещают в свинцовый домик для измерения радиоактивности. Фиксируют время от момента осаждения до начала измерения радиоактивности. Отчет значений радиоактивности производят через каждую минуту, не выключая пересчетной установки. Общая продолжительность измерения радиоактивности – 10 мин.

Б. Разделение соосаждением двуокисью марганца

Раствор уранилнитрата (1 мл) подкисляют 5 – 6 каплями концентрированной азотной кислоты и разбавляют дистиллированной водой до 4 – 5 мм. Затем добавляют 5 -6 капель раствора перманганата калия и 5- 6 капель этилового спирта. Раствор нагревают до образования двуокиси марганца. Осадок быстро отфильтровывают, сушат ацетоном, фильтр помещают в конверт из фольги. Измеряют радиоактивность каждую минуту, не выключая пересчетной установки. Общая продолжительность измерений радиоактивности – 10 мин.

Содержание отчета

1. Краткое содержание методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы

2. Построение полулогарифмического графика по результатам измерения радиоактивности, из которого определяют период полураспада UX_2 (^{234}Pa). Первую точку на графике следует относить ко времени 0,5 мин, вторую 1,5 мин и т.д.

3. Расчеты

Расчитывают коэффициенты разделения UX_1 и UX_2

$$\beta = \frac{A1/A2}{B1/B2} = \frac{A1 \cdot A2}{B1 \cdot B2} \quad (4.9)$$

где $A1$ и $A2$ – радиоактивность UX_1

$B1$ и $B2$ – радиоактивность UX_2

В исходном растворе и осадке соответственно так как в исходном растворе UX_1 и UX_2 находится на равновесии то $\frac{A1}{B1} = 1$, а $\frac{A2}{B2}$ – находится из экспериментальных данных:

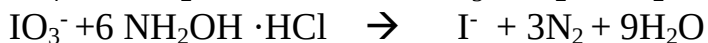
$A2$ – из горизонтального участка кривой радиоактивность - время;

$B2$ – рассчитывают на момент осаждения (начало фильтрации)

4. Выводы

Работа №10 Выделение радиоизотопов йода методом экстракции

Наиболее селективным методом, позволяющим быстро производить количественные выделение изотопов йода, является экстракция элементарного йода четыреххлористым углеродом. Однако, в анализируемых пробах кроме элементарного йода одновременно могут присутствовать его другие химические формы (I^- ; IO_3^- ; IO_4^-). Для перевода в элементарную форму в водных растворах, которые подвергаются анализу создают окислительно – восстановительную среду, позволяющей все химические формы йода перевести в элементарный йод. При этом протекают следующие химические реакции:



В качестве окислительно – восстановительной среды применяют растворы солянокислого гидроксиламмина и нитрата натрия в кислой среде. После проведения окислительно – восстановительного процесса, элементарный йод отделяют от примесей экстракцией. Далее, отделенный от примесей йод рекстрагируют в виде йодид – иона в дистиллированную и осаждают азотнокислым серебром.

Оборудование и реактивы. центрифуга; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; электроплита; водяная баня; делительная воронка 150 – 200 мл 2 шт; цилиндр мерный 5 мл 1 шт; цилиндр мерный 10 мл 2 шт; цилиндр мерный 25 мл 1 шт; центрифужная пробирка 2 шт; пипетка 1 мл 5 шт; раствор йодистого калия(10 мг/ мл); раствор йодата калия (10 мг/мл); 6Н

азотная кислота; четыреххлористый углерод; концентрированный раствор кислого сернистоокислого натрия; 1Н раствор азотноокислого натрия; 1Н раствор гидроксиламина соляноокислого; 0,1Н р –р азотноокислого серебра; эфир; спирт этиловый; раствор содержащий радиоактивный йод -131; марганец – 54; цезий – 134; стронций – 89; иттрий- 91; церий – 141; цирконий – 95; железо – 59; хром – 51; кобальт – 60 с объемной активностью 30 – 35 имп /сек·мл (доля радиоактивного йода – 131 20 – 25% общей активности.

Схема выполнения работы (Приложение Г).

Порядок выполнения работы. Получив исследуемый раствор, взятием 3 –х проб по 0,1 мл определяют его объемную активность. Отбирают 10 мл анализируемой пробы и вводят в делительную воронку, в которую добавляют 0,5 мл йодида калия и 0,5 мл йодата калия; 5 мл 6Н азотной кислоты, 3 капли раствора кислого сернистоокислого натрия и 10 мл четыреххлористого углерода. Содержимое делительной воронки перемешивают встряхиванием 3 – 5 мин и оставляют на 2 – 3 мин для расслоения фаз. При встряхивании делительной воронки придерживать краник и пробку, предохраняя их от выпадения. После 2 – 3 встряхиваний осторожно открыть пробку делительной воронки и спускают избыточное давление. Далее в делительную воронку вводят 5 капель раствора нитрата натрия и 5 капель раствора соляноокислого гидроксиламина. Вновь содержимое делительной воронки в течении 2 – 3 мин перемешивают встряхиванием и оставляют на 10 - 15 мин для отстаивания. После расслоения фаз четыреххлористый углерод сливают в другую делительную воронку. В первую делительную воронку добавляют по 5 капель раствора соляноокислого гидроксиламина, нитрата натрия 5 мл четыреххлористого углерода. Экстракцию йода повторяют 4 – 5 раз до полного исчезновения окраски очередной порции четырёххлористого углерода. После отстаивания и разделения фаз водный слой сливают в емкость для жидких радиоактивных отходов.

Все порции четыреххлористого углерода с экстрагируемым йод объединяют во второй делительной воронке и туда добавляют 10 мл дистиллированной воды и 5 -7 капель кислого сернистоокислого натрия. Содержание делительной воронки встряхивают до полного обесцвечивания обоих слоев, периодически поднимая пробку для спуска избыточного давления.

После расслоения фаз, четырёххлористый углерод (экстрагент) сливают в емкость с жидкими радиоактивными отходами.

К водному слою во вторую делительную воронку приливают 10 мл четырёххлористого углерода, 2 мл азотной кислоты и 5 капель нитрата натрия. Содержимое делительной воронки энергично встряхивают в течении 2 -3 мин, экстрагируя образующийся элементарный йод четырёххлористым углеродом. Повторную экстракцию проводят 3- 4 порциями четырёххлористого углерода по 5 мл каждая. Перед каждой повторной экстракцией к содержимому делительной воронки приливают о 5 капель раствора нитрата натрия. четырёххлористый углерод при повторной

экстракции собирают в стакан на 50 мл, а водную фазу после окончания повторной экстракции сливают в емкость для ЖРО.

Объединённые фракции четырёххлористого углерода после повторной экстракции переносят количественно из стакана во вторую делительную воронку, ополоснув стенки стакана 2 порциями четырёххлористого углерода, объемом 5 мл каждая. К содержимому делительной воронки (экстракту) приливают 7 мл дистиллированной воды и 5 капель раствора кислого сернистокислового натрия. Содержимое делительной воронки встряхивают в течении 5 мин до полного обесцвечивания обоих слоев. После разделения фаз органическую фазу сливают в емкость с РАО, а водную фазу – в центрифужную пробирку.

В центрифужную пробирку приливают 1 мл раствора азотной кислоты, 1 мл азотнокислого серебра. Содержимое пробирки перемешивают стеклянной палочкой и нагревают на водяной бане до коагуляции осадка йодистого серебра.

Осадок центрифугируют и 4 -5 раз промывают дистиллированной водой. При каждом центрифугировании осадка в пробирку добавляют несколько капель спиртоэфирной смеси для понижения поверхностного натяжения. Промытый осадок количественно переносят на предварительно взвешенную подложку с помощью добавления спирта. Осадок высушивают и измеряют его радиоактивность.

После взвешивания высушенного осадка рассчитывают выход носителя по формуле:

$$B = 54,3 \frac{a}{T1V1+T2V2} \quad (4.10)$$

где, а – вес осадка, мг;

T1 и T2 – титры носителя, мг/мл;

V1 и V2 – объемы носителя, мл.

Активность выделяемого йода вычисляется по формуле:

$$A = \frac{псч \cdot 1000 \cdot 100}{\eta \cdot B \cdot V} \text{ Бк/л} \quad (4.11)$$

где: **псч** – скорость счета препарата, имп/сек;

η – коэффициент эффективности пересчетной установки;

B – выход носителя цезия, %

V – объем задачи, мл.

Содержание отсчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы
2. Расчет активности суммы йодов по результатам измерений
3. Расчеты
4. Выводы

Работа № 11 Выделение железа – 59 экстракцией и диизопропиловым эфиром

Хлорное железо экстрагируется диизопропиловым эфиром (ди – Н – бутиловым, диизопропиловым) в сильноокислой среде в виде металлогалагенидной кислоты HFeCl_4 : $\text{FeCl}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{HFeCl}_4$.

Коэффициент распределения зависит от кислотности среды.

Оборудование и реактивы: Радиометрическая установка; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; аппарат для встряхивания (процесс экстракции) пробоотборники для водной и органической фазы; пробирки с притертыми пробками на 10 мл 5 шт; микропипетки на 0,1 – 0,2 мл 5 шт; пипетки на 10 мл 5 шт; диизопропиловый эфир 1, 2, 3, 5, 10 Н растворы соляной кислоты, раствор хлористого железа 10 мг на мл; раствор хлористого железа, меченного радионуклидом железо - 59;

Схема выполнения работы (Приложение).

Порядок выполнения работы. В 5 пробирок на 10 мл с притертыми пробками отмеряют по 0,1 мл хлорного железа, меченного радиоактивным железом - 59. Далее в пробирки вводят 2 мл раствора соляной кислоты 1,2,3,5,10Н и по 2 мл диизопропилового эфира, который предварительно насыщается соляной кислотой с соответствующей концентрацией (1,2,3,5,10Н). Пробирки встряхивают на аппарате для встряхивания в течении 30-40 мин с отстаиванием (расслоением фаз) 10-15 мин. Отдельными микропипетками с помощью пробоотборника на подложки отбирают пробы из водного и органического слоя по 0,2 мл каждую. Пробы высушивают под лампой «Солюкс» (сушильном шкафу) и определяют их радиоактивность на радиометрической установке.

Полученным данным строят график зависимости $\lg D = f(C_{\text{HCl}})$

Содержание отчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы.

2. Результаты измерения радиоактивности водной и органической фазы и расчетные данные, сведенные в таблицу:

Номера пробирок/ расч. данные	I 1Н HCl	II 2Н HCl	III 3Н HCl	IV 5Н HCl	V 10Н HCl
Псч фона; ИМП/сек					
Псч воды; ИМП/сек					
Псч орг; ИМП/сек					
$D = \frac{A_{\text{орг}}(псч_{\text{о}} - псч_{\text{ф}})}{A_{\text{вод}}(псч_{\text{в}} - псч_{\text{о}})}$					
Lg D					

3. Расчеты

4. График зависимости $\lg D = f(C_{\text{HCl}})$

5. Выводы

Работа №12 Разделение стронция – 90 и иттрия – 90 экстракцией 8-оксихинолином

Разделение изотопов стронция - 90 и иттрия - 90 основано на различной устойчивости их комплексов с 8-оксихинолином. Экстракцию осуществляют раствором 8-оксихинолином в хлороформе.

Имея валентность Y (III) большую чем у Sr (II) первый образует более прочные комплексы с C₅H₆NOH более высокий коэффициент распределения при экстракции.

Оборудование и реактивы: Радиометрическая установка; пробоотборник; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; аппарат для встряхивания; пробирки на 10 мл с притертой пробкой – 5 шт; микропипетки на 0,2 мл – 10шт; пипетки на 10 мл – 5 шт; набор алюминиевых фильтров для идентификации изотопов; 0,01, 0,05, 0,1, 0,25, 0,5Н растворы оксихинолина в хлороформе; универсальный буферный раствор, радиоактивный раствор стронция – 90 (иттрия – 90) с объемной активностью 3,5 – 5,0 · 10 имп/сек·мл.

Схема выполнения работы (Приложение Г).

Порядок выполнения работы. Получив исследуемый раствор, взятием 3-х проб по 0,05 мл определяют объемную активность исходного раствора. Для уменьшения адсорбционных потерь используемую лабораторную посуду ополаскивают 0,01М растворами нитратов стронция, иттрия и буферным раствором, из которого осуществляют процесс экстракции.

В пробирки с притертыми пробками вводят по 3 мл раствора 8 - оксихинолина в хлороформе, 9 мл универсального буферного раствора и 1мл радиоактивного раствора, содержащего стронций – 90. Пробирки закрывают притертыми пробками и помещают на аппарат для встряхивания на 15 мин. После четкого расслоения фаз производят отбор проб водной и органической фаз на подложку по 0,2 мл. Пробы высушивают и измеряют на радиометрической установке. Измерение активности производят с фильтром, обеспечивающим полное поглощение β - частиц стронция – 90 и без фильтра. Радиоактивность иттрия находим по формуле:

$$N_Y = N_{\phi} \cdot e^{\mu a} \quad (4.12)$$

N – суммарная скорость счета пробы без фильтра;

N_φ - скорость счета пробы с фильтром;

μ - массовый коэффициент ослабления β - частиц иттрия;

a – толщина слоя полного поглощения β - частиц стронция;

По результатам измерений определяют коэффициент распределения стронция и иттрия, коэффициенты их разделения и потери активности в процессе анализа, сопоставляя найденные активности с исходной.

Содержание отчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы.

2. Результаты измерения и расчетные данные, сведенные в таблицу.

Измерения и расчетные значения	I	II	III	IV	V
Концентрации экстрагента, моль/л	0,01	0,05	0,1	0,25	0,5
N _{орг. фазы} , имп/сек					
N _{вод. фазы} , имп/сек					

$N_{Y(o)}$, имп/сек					
$N_{Sr(o)}$, имп/сек					
$N_{Y(в)}$, имп/сек					
$N_{Sr(в)}$, имп/сек					
$D_Y = \frac{NY(o)}{NY(в)}$					
$D_Y = \frac{NSr(o)}{NSr(в)}$					
$K_p = \frac{DY}{DSr}$					
$A_{исх}$, имп/сек					

3. Расчеты
4. График зависимости $D = f$; $K_p = y$
5. Выводы

Работа №13 Разделение ниобия – 95 и циркония – 95 экстракцией ацетилацетоном.

Цирконий – 95 может быть отделен от своего дочернего радионуклида ниобия – 95 экстракцией ацетилацетоном.

Экстракция протекает по уравнению: $Zr^{4+}(в) + 5HR(o) \rightarrow ZrRn(o) + 4H^+$

Оборудование и реактивы: Радиометрическая установка; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; аппарат для встряхивания; пробирки на 10 мл с притертыми пробками – 10 шт; пробирки на 10 мл – 10 шт; пипетка 1 и 2 мл – 2 шт.; растворы: 0,3 М ацетилацетона в бензоле; 10 М азотной кислоты; 10^{-4} – 10^{-5} М раствор нитрата циркония (IV) и ниобия (V) в 10М азотной кислоте.

Порядок выполнения работы. Для уменьшения адсорбции радионуклидов без носителей стенками посуды, всю стеклянную посуду ополаскивают разбавленными растворами нитратов циркония и ниобия (10^{-4} – 10^{-5} М), а затем несколько раз азотной кислотой.

Для определения коэффициентов распределения циркония – 95 и ниобия – 95 в пробирку с притертой пробкой вносят 0,5 мл раствора циркония- 95 или ниобия – 95 в 10М азотной кислоте и добавляют до метки азотную кислоту. Из полученного раствора отбирают 6 проб по 0,2 мл в пробирки с притертыми пробками. В пробирки, кроме первой, добавляют 0,2; 0,4; 0,6; 1,0; 1,4 мл 10М азотной кислоты и разбавляют водой до 0,2 мл получая растворы циркония или ниобия соответственно в 1; 2; 3; 4; 6 ;8 М азотной кислоте. Таким же способом готовят еще 4 раствора в 6 М азотной кислоте. В каждую пробирку добавляют по 2 мл раствора ацетилацетона в бензоле, закрывают притертыми пробками и помещают в аппарат для встряхивания.

Пробирки вынимают из аппарата 5, 10, 20, 30 и 60 мин встряхивания. После расслоения фаз (5-7 мин) отбирают из водной и органической фазы по 1 мл и помещают в пробирки для измерения радиоактивности. Пробирки

поочередно вставляют в колодец сцинтилляционного кристалла и измеряют радиоактивность при выбранном усилении и уровне дискриминации.

Вычисляют коэффициент распределения D . Находят оптимальное время перемешивания фаз, после которого измерения коэффициента распределения D не значительно. В течение этого времени производят перемешивания фаз во всех остальных опытах. Определяют коэффициенты распределения циркония – 95 и ниобия - 95 при значениях концентрациях азотной кислоты, соответствующих приготовленным пробам.

Находят концентрацию азотной кислоты, при которой достигается лучшие разделение и извлечение циркония – 95 и ниобия – 95.

Отбирают 1-2 мл раствора содержащего равновесные количества циркония и ниобия и производят разделения этих изотопов экстракцией бензольным раствором ацетилацетона при найденной оптимальной концентрации азотной кислоты. Количественно экстрагируют радиоактивный изотоп из органической фазы азотной кислотой.

Выравниванием водных растворов в стеклянных чашечках готовят препараты для измерения радиоактивности и идентификации.

№	Номер пробирок/расчетные значения	1	2	3	4	5	6
1	$P_{сч} (в)$, имп/сек						
2	$P_{сч} (о)$, имп/с						
3	D_{Zr}/D_{Nb}						
4	E_{Zr}/D_{Nb}						

3.Расчеты

4.График зависимости $D = f(C_{HNO_3})$; $\beta = \varphi(C_{HNO_3})$; $E = \psi(C_{HNO_3})$;

5.Вывод

Работа № 14 Разделение урана и тория экстракцией трибутилфосфатом
Радиоактивное равновесие между ^{238}U и ^{234}Th достигается практически за 5 – 6 месяцев. Тогда 1 г ^{238}U содержит $1,4 \cdot 10^{-11}$ г ^{234}Th . Энергия β - излучения ^{234}Th мала ($E_{max} = 0,13$ Мэв), поэтому оно практически не регистрируется β - счётчиком. А измерение ведется по ^{234}Pa , энергия β - излучения которого $E_{\beta} = 2,32$ Мэв, а время установления равновесия ^{234}Th - около 10 мин.

Метод разделения тория – 234 и урана 238 основан на том, что извлекается из азотнокислых растворов с высоким коэффициентом распределения даже сильно разбавленных растворами ТБФ, в то время как торий заметно экстрагируется лишь растворами ТБФ высокой концентрации (40 – 50 %). Поэтому, используя многократную экстракцию 5 % раствором ТБФ в бензоле, можно практически количественно разделить уран и торий.

Оборудование и реактивы: Прибор для встряхивания; лампа «Соллюкс» или сушильный шкаф; пробирки на 10 мл с притертыми

пробками; пипетки на 1 и 5 мл; микропипетки на 0,2 мл; Раствор 5 % ТБФ в бензоле; 10Н раствор азотной кислоты; 0,5М раствор уранилнитрата.

Выполнение работы. В пробирку с притертой пробкой вносят 1 мл раствора уранилнитрата, 2 мл раствора ТБФ в бензоле и 2 капли азотной кислоты. Пробирку закрывают пробкой и встряхивают 2 -3 минуты. После расслоения фаз верхний органический слой тщательно удаляют с помощью пипетки. К водной фазе добавляют новую порцию 5 % раствора ТБФ в бензоле и азотной кислоты и снова производят встряхивание и разделение фаз. Экстрагирование повторяют до обесцвечивания водной фазы (4 – 5 раз). Все порции органической фазы после экстракции собирают в мерную пробирку или цилиндр.

Для измерения радиоактивности после процесса экстракции наносят по 0,2 мл каждой фазы в отдельности на подложку. Кюветы сушат под лампой «Солюкс» или в сушильном шкафу, далее их радиоактивность измеряют на радиометрической установке.

Необходимо, по возможности, точно фиксировать объем каждой фазы.

Содержание отсчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы.

2. Расчет на основе полученных результатов процента извлечения тория – 234 в органическую фазу по формуле:

$$P = \frac{A1 \cdot V1}{A1V1 - A2V2} \quad (4.13)$$

где A1 и A2 – объемная активность органической и водной фаз имп /сек·мл

V1 и V2 – объем органической и водной фаз, мл;

Полагая, что процент извлечения урана – 238 равен 100%, рассчитывается степень его очистки от тория – 234 как 100/P(раз)

3. Расчеты

4. Выводы

Работа № 15 Экстракционное выделение кобальта – 60 в виде роданидного компонента

В отличие от железа и других металлов, кобальт простыми эфирами лучше экстрагируется не в виде хлоридного ацидо – комплекса, а в виде роданидного комплекса.

Однако, как и в случае экстракции хлорида железа (III), коэффициенты распределения зависят от кислотности раствора.

Оборудование и реактивы: Радиометрическая установка; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; аппарат для встряхивания; пробирки на с притертыми пробками; пипетки на 1 и 5 мл; пипетка на 0,2 мл; раствор хлорида кобальта (II) (0,01 – 0,00М) меченный Co – 60 в 6М растворе соляной кислоты; роданид аммония; 6М раствор соляной кислоты; изопропиловый эфир;

Выполнение работы В 7 мерных пробирок с притертыми пробками помещают по 0,3 мл исходного раствора хлорида кобальта (II) .В каждую пробирку добавляют 6М HCl и 1М NH₄CNS с таким расчетом, чтобы концентрация изменялась от 1М до 6М (0,5; 1,0; 2,5; 3; 5; 6), а общий объем составляет 5 мл. Затем в каждую пробирку вносят 4 мл эфира, встряхивают в течении 30 – 40 мин, отстаивают 10 – 15 мин, отбирают пробу водного и эфирного слоя по 0,2 мл; высушивают и измеряют радиоактивность водной и органической фазы на радиометрической установке. По полученным данным строят график зависимости $\lg D = f(C_{HCl})$.

Содержание отчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы.

2. Результаты измерений и расчетов, сведенные в таблицу:

Номер пробирок	Количество, мл			Конц. раствора по HCl, М	Активность имп /с		lgD
	CoCl ₂	HCl	NH ₄ CNS		эфир.	вода	lgD
1				0,5			
2				1,0			
3				1,5			
4				3,0			
5				5,0			
6				6,0			

3.График зависимости lgD от кислотного раствора

4. Выводы

Работа № 16 Хроматографическое разделение железа – 59 и фосфора – 32 на катионите.

Радионуклиды железа – 59 и фосфора – 32 в водной в водных технологических средах могут образовываться в результате активации нейтронами стабильных изотопов этих элементов по ядерным реакциям: $^{58}\text{Fe}(n; \gamma)^{59}\text{Fe}$ и $^{31}\text{P}(n; \gamma)^{32}\text{P}$

Разделение катионов железа и фосфат – ионов, в виде которых они находятся в водных растворах на катионите и анионите, является простейшим случаем хроматографического разделения изотопов.

При фильтрации раствора, содержащего катион железа и анион фосфора, через слой ионита. Один из них сорбируется, а другой свободно проходит через колонку. Например, при использовании катионита: ион железа сорбируется, а фосфат – ион проходит через колонку и наоборот при использовании анионита фосфат – ион задерживается колонкой, ион – железа проходит через колонку. С помощью соответствующего элюэнта можно вымыть из ионита сорбированные ионы.

Оборудование и реактивы: Хроматографическая колонка d = 10 - 15 мм, снаряженная катионитом КУ-2- в Н – форме – 1 шт.; лампа «Солюкс»

или сушильный шкаф; шприц на 10 мл; микропипетки на 0,2 мл -3 шт; пипетка на 10 мл -2 шт.; стакан химический – 50 мл – 2 шт.; чашка Петри; цилиндр мерный на 10 мл и 100 мл; мерные колбы на 100 мл – 2 шт.; радиометрическая установка с торцовым счётчиком; водный раствор содержащий ^{58}Fe и ^{32}P с объемной активностью $(3,5 - 5,0)10^2$ имп/сек мл; 3Н раствор соляной кислоты.

Порядок выполнения работы. Хроматографическая колонка заполняется набухшим катионитом КУ – 2 в Н – форме. Высота слоя 60 – 80мм. В исходном растворе 2 мл, содержащим нуклиды ^{58}Fe и ^{32}P определяют объемную активность отобрав на подложку 0,1 мл раствора. По дистиллированной воде устанавливают скорость фильтрации (1 – 1,5 мл/мин), воду в колонке сливают до верхнего слоя ионита и вводят исходный исследуемый раствор (2 мл) в хроматографическую колонку и фильтруют. Когда уровень достигает верхнего слоя сорбента, колонку промывают 30 мл дистиллированной воды. Первые 2 мл сливают в отходы, а последующий фильтрат собирают в 1-ю мерную колбу. При подходе уровня дистиллированной воды к верхнему слою ионита, колонка промывается 30 мл 3Н раствора соляной кислоты, фильтрат собирают во 2 -ю мерную колбу.

Фильтрат в обеих колбах доводят до метки дистиллированной водой, из каждой колбы на подложку отбирают по 0, 2 мл пробы для определения общей активности фильтратов.

С фильтрата 1-й колбы снимают γ -спектр для контроля чистоты отделения.

По общей активности фильтрата в 1-й и во 2-й колбах находят соответственно отношение активности ^{58}Fe и ^{32}P в исходном растворе.

Содержание отсчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы

2. Результаты измерения и расчетные данные, связанные в таблицу

п _{сч} (0,1 мл) имп/сек	$\Sigma A_{\text{исх}}$ раств. имп/сек	п _{сч} имп/сек		ΣA имп/сек		ΣA_{P}
		2-й пробы	3-й пробы	1-го фильтрата	2-го фильтрата	ΣA_{Fe}

3.Расчеты

4. γ – спектр 1-го фильтрата

5. Выводы

Работа № 17 Хроматографическое разделение железа – 59 и кобальта – 60 на катионите

Радионуклиды ^{59}Fe и ^{60}Co образуются в атомных энергетических установках в результате активации нейтронами и протонами конструкционных материалов или продуктов их коррозии о ядерным реакциям: $^{58}\text{Fe}(n; \gamma) ^{59}\text{Fe}$; $^{60}\text{Ni}(n;p) ^{60}\text{Co}$. Их разделение основано на различном сродстве к катиониту КУ – 2 в Н – форме. Радионуклиды ^{59}Fe сорбируются прочнее чем ^{60}Co . Сначала из хроматографической колонки раствором кислоты меньшей концентрации вымывается ^{60}Co , имеющий меньшую

величину константы обмена, а затем вымывается ^{59}Fe раствором кислоты большей концентрации.

Оборудование и реактивы: Хроматографическая колонка $d = 10 - 15$ мм, снаряженная катионитом КУ-2- в Н – форме; пробоотборник; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; шприц на 10 мл; микропипетки на 0,2 мл; пипетка на 10 мл -2 шт.; стакан химический – 50 мл – 2 шт.; мерный цилиндр на 10 мл; чашка Петри; пересчетный прибор с торцовым счётчиком; раствор соляной кислоты 0,2 и 0,7Н; раствор радиоактивных изотопов ^{59}Fe и ^{60}Co с объемной активностью $1,5 - 2 \cdot 10^3$ имп/сек·мл.

Порядок выполнения работы. Хроматографическая колонка заполняется набухшим катионитом КУ – 2 в Н – форме. Высота слоя 80 – 100 мм. Для установления скорости фильтрации 1 – 1,5 мл/мин в колонку вводят раствор 0,2Н соляной кислоты, собирая ее в мерный цилиндр. Соляную кислоту фильтруют до верхнего слоя сорбента. Из исходного раствора 2 мл с $pH = 5$ содержанием разделяемые нуклиды ^{59}Fe и ^{60}Co отбирают пробу, объемом 0,1 мл для нахождения исходной объемной активности. Затем исходный раствор вносят в хроматографическую колонку и пропускают его с установленной скоростью до верхнего слоя ионита. Фильтрат собирают и сливают в емкость для радиоактивных отходов. Краник хроматографической колонки не перекрывают и ее промывают 10 мл 0,2Н раствором соляной кислоты, отбирая через каждые 1 мл по 2 капли на подложку. Затем колонку промывают 10 мл 0,7Н раствора соляной кислоты. Фильтрат собирают в стакан и сливают в емкость с радиоактивными отходами.

Подложки с пробами фильтрата сушатся и обсчитываются на радиометрической установке. По полученным данным строят кривые вымывания в координатах: радиоактивность проб – объем пропущенного раствора ($p_{сч} - V_{мл}$). В целях идентификации радиоактивных изотопов в фильтратах по 2 – 3 пробы, соответствующие максимумы кривых вымывания, обсчитываются на γ – спектрометрах вычисляют коэффициент разделения как отношение расстояния от начала координат до пиков вымывания.

Количественное содержание разделяемых элементов ΣA_{Fe} , и ΣA_{Co} , находящихся в смеси, и их соотношение находят по площадям под кривыми вымывания с учетом величины их пиков.

Содержание отчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы

2. Результаты измерения радиоактивности и расчетные данные, связанные в таблицу:

Номера проб/изм. и рассчит. знач.		I	II	III	IV	V	VI	VII
1 фильтрат	V(мл)	1	2	3	4	5	6	7
	$p_{сч}$ (имп/сек)							
2 фильтрат	V(мл)							

		1	2	3	4	5	6	7
	псч(имп/сек)							
$\Sigma A_{Fe}, (\text{имп/сек.})$								
$\Sigma A_{Co}, (\text{имп/сек.})$								
$K_{раз} = \frac{\Sigma A_{Fe}}{\Sigma A_{Co}}$								

3. Расчеты

4. γ – спектр фильтрата

5. Выводы

Работа № 18 Хроматографическое разделение бария – ^{140} и лантана – ^{140} на катионите

Радиоактивные изотопы бария – ^{140} и лантана – ^{140} являются осколочными элементами, образующиеся непосредственно при делении ядерного «горючего», а также в результате распада других осколочных элементов.



Изотопы ^{140}Ba и ^{140}La являются генетически связанными изотопами в основном находятся в смеси в состоянии равновесия.

Их разделение основано на различной устойчивости цитратных комплексов. Разделение осуществляется методом элюэнтной хроматографии.

Оборудование и реактивы: Хроматографическая колонка $d = 10 - 15$ мм, снаряженная катионитом КУ-2- в Н – форме; пробоотборник; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; микропипетки на 0,2 мл; пипетка на 10 мл; стакан химический – 50 мл – 2 шт.; мерный цилиндр на 10 мл; чашка Петри; радиометрическая установка с торцовым счётчиком; 5% раствор лимонной кислоты; раствор радиоактивного бария – ^{140} , находящегося в равновесии с лантаном – ^{140} с объемной активностью $1,5 \cdot 10^3$ имп/сек·мл; раствор соляной кислоты;

Схема выполнения работы (Приложение Г).

Порядок выполнения работы. Хроматографическая колонка заполняется набухшим катионитом КУ – 2 в Н – форме. Высота слоя 80 – 100 мм. Получают сходный раствор 1 мл, содержащий радиоактивные изотопы ^{140}Ba и ^{140}La , отбирают пробу 0,1мл для определения объемной активности задачи.

По дистиллированной воде, устанавливают скорость фильтрации через хроматографическую колонку 1 – 1,5 мл/мин. Дистиллированную воду из колонки сливают до верхнего слоя и затем вводят исходный раствор 1 мл, содержащий изотопы ^{140}Ba и ^{140}La в верхнюю часть хроматографической колонки, фильтруя с установленной скоростью до верхнего слоя ионита. Затем колонку промывают 30 мл дистиллированной водой до $pH = 6 - 7$.

Лантан вымывают лимонной кислотой 30 мл нейтрализованной аммиаком до $pH = 5,0$, отбирая на подложки пробы фильтрата по 2 капли через 1 мл.

Барий вымывают 30 мл раствором лимонной кислоты с рН – 2,9 отбирая пробы фильтрата по 2 капли через 1 мин фильтраты собирают в стакан и сливают в отходы.

Подложки с пробами фильтрата 1 и 2 высушивают и обсчитывают на радиометрической установке.

По полученным результатам строят кривые вымывания в координатах: активность проб - объем пропущенного раствора ($N_{сч} - V_{мл}$)

В целях контроля чистоты разделения ^{140}Ba и ^{140}La , пробу фильтрата ^{140}La и соответствующую пику кривой вымывания, измеряют ежедневно в течении 14 дней. По кривой зависимости $\lg N_{сч} - t$ находят период полураспада радиоактивного изотопа.

Идентификацию изотопов можно осуществить путем снятия γ – спектров с проб, соответствующих пикам кривых вымывания.

Количественные содержания разделяемых элементов смеси и их соотношение находят по площади под кривыми вымывания с учетом величины их пиков.

Содержание отчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы

2. Результаты измерения радиоактивности и расчетные данные, связанные в таблицу:

N _{сч} исх, ИМП/сек·мл			
N _{сч} фильтр	1 фильтрат	V ₁ (мл)	
		N _{сч}	
	2 фильтрат	V ₂ (мл)	
		N _{сч}	
N _{сч} исх, ИМП/сек	t дней		
	N _{сч}		
$\Sigma \text{La, (имп/сек.)}$		$\Sigma \text{Ba(имп/сек.)}$	$\frac{\Sigma \text{La}}{\Sigma \text{Ba}}$

3. Расчеты

4. γ – спектр фильтрата

5. Выводы

Работа № 19 Хроматографическое разделение стронция - 90 и иттрия – 90

Радиоактивные изотопы ^{90}Sr и ^{90}Y образуются непосредственно как осколочные элементы при делении ядерного «горючего», так и в результате распада других осколочных элементов, например:



Изотопы ^{90}Sr и ^{90}Y генетически связанные и как правило находятся в состоянии векового равновесия. Их разделение основано на различной сорбируемости ^{90}Sr и ^{90}Y на аноде ЭДЭ – 10П в цитратной форме и последующем их вымывании растворами лимонной и соляной кислотой.

Оборудование и реактивы: Хроматографическая колонка $d = 10 - 15$ мм, сопряженная набухшим анионитом ЭДЭ – 10П в цитратной форме, высота слоя ионита 60 – 80 мм; пробоотборник; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; шприц на 10 мл; микропипетки на 0,2 мл; пипетка на 10 мл; стакан химический – 50 мл – 2 шт.; чашка Петри; цилиндр мерный на 10 мл; радиометрическая установка с торцовым счётчиком; 1Н раствор соляной кислоты; 5% раствор лимонной кислоты с рН – 3,5, водный раствор ^{90}Sr и ^{90}Y с объемной активностью $(1,5 - 2,0) \cdot 10^2$ имп/сек мл; 25% раствор гидроксида аммония; подложки.

Порядок выполнения работы. Хроматографическая колонка заполняется набухшим анионитом ЭДЭ – 10П в цитратной форме, наполняется дистиллированной водой для установления скорости фильтрации (1 – 1,5 мл/мин). Получив радиоактивный раствор 1 мл, содержащий ^{90}Sr и ^{90}Y отбирают пробу 0,1 мл, для определения объемной активности исходного раствора. При устанавливают скорость фильтрации (1 – 1,5 мл/мин), определяют объем капель фильтрата. Воду в колонке сливают до верхнего слоя ионита и вводят исходный исследуемый раствор (1 мл) содержащий ^{90}Sr и ^{90}Y . Затем колонку промывают 20 мл дистиллированной воды.

Сорбированный на анионите стронций – 90 вымывают 30 мл раствора лимонной кислоты, нейтрализованной аммиаком до рН – 3,5, отбирают на подложки по 2 – 3 капли пробы фильтрата через 1 мл.

Иттрий – 90 из колонки элюируют из колонки раствором соляной кислоты до фоновых значений радиоактивности в пробах фильтрата. Во всех случаях фильтрат собирают в стакан и сливают в емкость с радиоактивными отходами.

Подложки с пробами фильтрата 1 и 2 высушивают и обсчитывают на радиометрической установке.

По полученным результатам строят кривые вымывания в координатах: активность проб - объем пропущенного раствора ($N_{\text{сч}} - V_{\text{мл}}$).

В целях контроля чистоты разделения ^{90}Sr и ^{90}Y подложки, соответствующую пику кривой вымывания, измеряют в течении четырех недель и по полученным данным строят графическую зависимость измерения радиоактивности проб во времени ($\lg N_{\text{сч}} - t$).

Графоаналитическим методом определяют чистоту ^{90}Sr и ^{90}Y в препаратах. По площадям под кривыми вымывания находят количества изотопов, бывших в исходном растворе, и соотношение их активности.

Содержание отчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы
2. Результаты измерения радиоактивности и расчетные данные, связанные в таблицу:

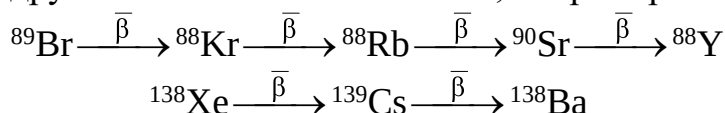
Псч исх, имп/сек·мл							
lфильтрат	V ₁ (мл)						

	п _{сч} имп/сек							
2фильтрат	V ₂ (мл)							
	п _{сч} имп/сек							
⁹⁰ Sr	t дней							
	п _{сч} имп/сек							
⁹⁰ Y	t дней							
	п _{сч} имп/сек							
Σ Sr, (имп/сек.)		Σ Y, (имп/сек.)					$\frac{\Sigma ASr}{\Sigma AY}$	

3. Расчеты
4. Графики кривых вымывания и идентификации
5. Выводы

Работа № 20 Хроматографическое разделение рубидия и цезия

Радиоактивные изотопы рубидия и цезия образуются непосредственно как осколочные элементы при делении ядерного «горючего», так и в результате распада других осколочных элементов, например:



Разделение рубидия и цезия основано на способности фенольных групп катионита КУ – 1 к избирательному комплексообразованию с более тяжелыми ионами.

Оборудование и реактивы: Хроматографическая колонка d = 10 - 15 мм, снаряженная катионитом КУ-1- в Н – форме; пробоотборник; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; микропипетки; пипетка на 10 мл; стакан химический – 100 мл.; мерный цилиндр на 10 мл; чашка Петри; радиометрическая установка с торцовым счётчиком; шприц на 10 мл; водный раствор цезия и рубидия с объемной активностью 2,5 - 5 · 10³ имп/сек·мл; 0,1М и 5,5М концентрированные растворы соляной кислоты;

Порядок выполнения работы. Хроматографическая колонка заполняется набухшим катионитом КУ – 1 в Н – форме, высота слоя 60 - 80 мм. Получают сходный раствор 1 мл, содержащий радиоактивные изотопы рубидия и цезия отбирают пробу 0,1мл для определения объемной активности задачи.

По дистиллированной воде, устанавливают скорость фильтрации через хроматографическую колонку 1,5 – 2 мл/мин. Дистиллированную воду из колонки сливают до верхнего слоя и затем вводят 2 мл 0,1Н раствора соляной кислоты, содержащий изотопы рубидия и цезия. Затем колонку промывают 30 мл дистиллированной водой.

Сорбированные на катионите цезий и рубидий элюируют 20 мл 5,5М раствором соляной кислоты до фоновой радиоактивности в пробах фильтрата. Во всех случаях фильтрат собирают в химический стакан и сливают в отходы.

102

концентрированный раствор соляной кислоты; этиловый спирт; раствор цезия – 137 с объемной активностью 3 – 5 имп/сек·мл; йод – 137 = 30 – 50 имп/сек·мл; γ

Порядок выполнения работы. В хроматографическую колонку диаметром 6 – 8 мм помещают 10 мл предварительно набухшего ионита АВ – 17 высотой 15 – 20 см. Во вторую хроматографическую колонку диаметром 10 – 15 мм помещают ферроцианид титана.

Высота слоя сорбента 10 мл. Получив 25 мл радиоактивного раствора, содержащего цезий – 137 и йод – 131, отбирают пробу 0,1 мл для определения общей объемной радиоактивности раствора.

По дистиллированной воде к колонке с анионитом, а в колонке КНТЖ – 1 – 5,0 – 5,5 мл/мин до верхнего слоя сорбента, фильтрат сливают в отходы.

Радиоактивный раствор пропускают через анионит АВ – 17, промывают колонку 15 мл дистиллированной воды – фильтрат собирают в химический. В фильтрат после первой колонки добавляют 10 мл концентрированной соляной кислоты и пропускают через вторую хроматографическую колонку с КНТЖ – 1 со скоростью 5,0 – 5,5 мл/мин (установленной по дистиллированной воде). Далее колонку промывают 50 мл смешанного раствора 0,1Н хлорида аммония + 2М соляной кислоты со скоростью 10 мл/мин. Сорбент КНТЖ – 1 в колонке промывают 2 – 3 мл этилового спирта, извлекают из колонки, сушат и обсчитывают на радиометрической установке. Выход цезия 90%.

При определении объемной активности цезия с сорбента КНТЖ – 1, содержащего, снимается γ - спектр.

Содержание отчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы
2. Расчеты и данные измерения
3. γ - спектр сорбента КНТЖ – 1
4. Выводы.

Работа № 22 Выделение натрия сорбцией на пятиокиси сурьмы.

Радионуклиды натрия в технологических средах образуются в результате активации нейтронами стабильных изотопов натрия, растворенных в воде по ядерной реакции $^{23}\text{Na}(n; \gamma)^{24}\text{Na}$

Извлечение натрия из сильноокислой водной среды осуществляют с помощью селективного сорбента – пятиокиси сурьмы. Пятиокись сурьмы в хроматографической колонке закрепляется с помощью тонкой стеклянной ваты. Выход радиоактивного натрия количественный.

Оборудование и реактивы: Хроматографическая колонка $d = 10 - 15$ мм; стеклянная воронка – 2 шт; химический стакан на 300 мл – 2 шт; на 100 мл – 1 шт; на 50 мл – 1 шт; мерные цилиндры на 100мл; радиометрическая установка с торцовым счётчиком; 6Н концентрированный раствор соляной кислоты; пятиокись сурьмы кристаллическая; радиоактивный раствор,

содержащий натрий (8 имп /сек· мл); фосфор – 32 -30 имп/сек·мл; йод – 137 - 30 имп/сек·мл; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф;

Порядок выполнения работы. В хроматографическую колонку на высоту 10 см вместе со стеклянной ватой помещают 1г пятиокись сурьмы. По дистиллированной воде устанавливают скорость фильтрации 10 имп/мин и 20 мл/мин. Воду сливают до верхнего слоя сорбента.

Получив исследуемый раствор 10 мл, отбирают пробу 0,1 мл, для определения исходной объемной активности. Раствор подкисляют концентрированной кислотой HCl до 6Н и фильтруют через слой сорбента со скоростью 10 – 15 мл/мин. Далее колонку промывают 50 мл 6Н раствором HCl со скоростью 20 мл/мин.

Чистоту отмывки сорбента от радионуклидов йод – 131 и фосфор – 32 проверяют с помощью γ – спектрометра. При наличии радиоактивных примесей в сорбенте колонка промывается повторно.

После промывки смесь стеклянной ваты из колонки в стеклянный стакан и осторожно вату отделяют от сорбента, промывая ее 6Н раствором соляной кислоты. Затем раствор над сорбентом декантируют, а сорбент количественно переносят на подложку, высушивают и на радиометрической установке определяют радиоактивность натрия – 22.

Содержание отчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы
2. Расчеты
3. Выводы

Работа № 23 Разделение катионов методом осадительной хроматографии

Аниониты обычно используются для разделения простых анионов и металлов, находящихся в растворе в виде анионных комплексов. Однако, при определенных условиях их можно использовать и для разделения катионов. Такое разделение осуществимо, если один или несколько из разделенных катионитов образуют труднорастворимое соединение с анионом, выделяемым анионитом в процессе анионного обмена. В этом случае, в таких процессах анионит играет роль специфического реагента – осадителя.

Например, если M_1X_n и M_2X_m хорошо растворимы и находятся в растворе, а хроматографической колонке находится анионит R_A , то при пропускании указанного раствора через колонку будут происходить следующие реакции:



X^- и A^- – одновалентные анионы

n и m – валентность металлов

Осадительная реакция (2) отличается от обычных процессов осаждения тем, что ей предшествует реакция анионного обмена (1), а осадитель сам является твердым веществом. Поэтому конечным раствором не загрязняется катионитами осадителя и реакцию (2) можно провести как в статических, так

и динамических условиях. В последнем случае анионит, заполняющий хроматографическую колонку, является не только осадителем, но фильтрующим материалом, так как образующийся в растворе и на поверхности анионита осадок очень прочно удерживается в колонке.

Оборудование и реактивы: хроматографическая колонка $d = 3 - 5$ мм с анионитом АВ – 17 в оксалатной форме; пробоотборник; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; стакан на 50 мл – 2 шт; микропипетка на 0,2 мл; пипетка на 5 мл; чашка Петри – 2 шт; радиометрическая установка с торцовым счётчиком; 5 % раствор едкого натра; 6 М раствор соляной кислоты; перекись водорода; концентрированная азотная кислота; 1 мл раствора гидроксида аммония; радиоактивные растворы стронция - 89; цезия – 141; цезия – 137;

Порядок выполнения работы. Колонки заполняют набухшем анионитом АВ – 17 на высоту 6-8 см. Через первую колонку фильтруют раствор NaOH со скоростью фильтрации 5 – 10 мл/мин, а через другую раствор щавелевой кислоты с той же скоростью фильтрации продолжается до исчезновения в фильтрате хлорид – ионов. Избыток гидроксида натрия и щавелевой кислоты из колонки удаляют пропусканием дистиллированной воды, свободной от CO_2

1 – ый способ: разделение: В колонку с анионитом АВ – 17 в оксалатной форме вносят 0,2 мл исходного раствора смеси изотопов (предварительно определяется исходя объёмная активность). Скорость фильтрования через колонку поддерживают постоянной (5 - 10 капель в минуту) цезий – 137 вымывают 2- 3 мл дистиллированной воды. Каждую каплю на выходе колонки собирают на отдельную подложку, высушивают и измеряют на радиометрической установке. Стронций – 89 и церий – 144 вымывают из колонки 2 – 3 мл. К полученному раствору добавляют по 0,5 мл перекиси водорода и концентрированной азотной кислоты и упаривают до 0,2 мл. Полученный раствор вносят в колонку с анионитом АВ-17 в ОН-форме, из которой вымывают 2-3 воды. Как и ранее, на выходе в колонке собираю каждую каплю отдельно, сушат и измеряют ее радиоактивность. Цезий – 144 вымывают 2-3 мл 1М соляной кислоты, собирая элюат также и в предыдущих случаях.

2-й способ разделения: В колонку с анионитом АВ – 17 ОН – форме вносят 0,2 мл исходного раствора смеси изотопов (предварительно определяется исходная объёмная активность). Через колонку пропускают 2 -3 мл 1М раствора гидроксида аммония, со скоростью 6 – 10 капель в минуту. Элюат собирают в стакан на 50 мл. В колонке осаждается церий – 144, который в дальнейшем вымывается 2 – 3 мл 6М соляной кислоты, собирая на выходе каждую каплю отдельно для измерения активности.

Элюат, содержащий цезий – 137 и стронций – 89, собранный в стакане на 50 мл упаривают до 0,2 мл и переносят в колонку с анионитом АВ – 17 в оксалатной форме, которую затем промывают 2 – 3 мл дистиллированной воды для удаления цезия – 137. Элюат собирают по каплям на отдельные подложки, сушат и измеряют на радиометрической установке.

Стронций -89 из колонки вымывают 2- 3 мл 6М соляной кислоты. Элюат собирают по каплям, сушат и измеряют на радиометрической установку.

По результатам измерений радиоактивности проб (подложек) строят кривые вымывания радионуклидов в координатах: скорость счета – количество капель. Определяют исходную активность раствора и количественное соотношение разделенных радионуклидов.

Содержание отсчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы

2. Результаты измерений и расчетные данные, сведенные в таблицу:

¹³⁷ Cs	N(к-во капель)			
	псч(имп/сек)			
⁸⁹ Sr	N(к-во капель)			
	псч(имп/сек)			
¹⁴⁴ Ce	N(к-во капель)			
	псч(имп/сек)			
$\Sigma A_{^{137}\text{Cs}}$, имп/сек		$\Sigma A_{^{89}\text{Sr}}$, имп/сек	$\Sigma A_{^{144}\text{Ce}}$, имп/сек	$\Sigma A_{\text{Cs}} : \Sigma A_{\text{Sr}} : \Sigma A_{\text{Ce}}$

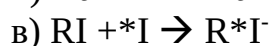
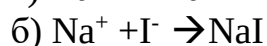
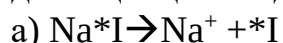
3. Расчеты

4. График кривых вымывания

5. Выводы

Работа №24 Гомогенный изотопный обмен йодом между йодистым этилом и йодистым натрием

Обмен йодом между йодистым этилом и йодистым натрием протекает через диссоциацию йодистого натрия:



Изучение данной реакции очень удобно и показательно необходимо проводить в среде абсолютного спирта.

Оборудование и реактивы: Бюретка с краником на 25 мл; воронка диаметром 3-4 см; мерная колба на 100 мл; химический стакан на 50 мл; стаканы на 25 мл; круглоголовая колба на 100 мл; обратный холодильник (шариковый); пипетки на 10 мл; шприц на 20 мл; делительная воронка на 150-200 мл; мерный цилиндр на 10 мл; подложки для радиоактивных проб; чашка Петри; весы аналитические; водяная баня; радиометрическая установка с торцовым счетчиком; раствор йодистого натрия, меченный йодом –¹³¹ 10 – 20 расп/сек·мл в бюксе над хлористым кальцием; абсолютный спирт этиловый; вода дистиллированная.

Порядок выполнения работы. К концентрированному раствору йодистого натрия, содержащего 50 г вещества добавляют раствор йодида натрия, меченого йодом – ¹³¹ – 10 мл. Полученную смесь тщательно перемешивают и выпаривают на водяной бане. Образовавшийся безводный

йодистый натрий, меченый йодом – ^{131} растирают в ступке и хранят в эксикаторе с хлористым кальцием.

Навеску 4 г йодистого натрия, меченного йодом ^{131} и 40 г йодистого этила растворяют отдельно в 40 мл абсолютного спирта и сливают в мерную колбу на 100 мл. Отбирают 3 пробы по 0,2 мл для определения исходной радиоактивности. 25 мл раствора обменивающихся веществ переносят в круглую колбу с обратным холодильником и кипятят на водяной бане в течении 30 -35 мин.

Из оставшегося в мерной колбе раствора отбирают пробы объемом 8 – 10 мл через каждые 10 мин.

Отобранную пробу помещают в делительную воронку на 150 мл и промывают 100 мл дистиллированной воды. Содержимое воронки энергично встряхивают в течении 3 – 5 мин. После расслоения фаз, фазы разделяют. Йодистый этил, находящийся в нижнем слое, сливают в стакан на 25 мл и отбирают 3 пробы объемом по 0,5 мл для измерения радиоактивности (скорости счета). Оставшийся растворы йодистого натрия и йодистого этила сливают в емкость для радиоактивных растворов.

После кипячения в круглой колбе с обратным холодильником и охлаждении смеси, отбирают пробу объемом 10 мл. Отобранную пробу помещают в делительную воронку на 150 мл и приливают 100 мл дистиллированной воды, содержимое воронки энергично встряхивают в течении 3 -5 мин. После расслоения фаз, фазы разделяют йодистый этил, находящийся в нижнем слое, сливают в стакан на 25 мл и отбирают 3 пробы объемом по 0,5 мл для измерения радиоактивности оставшиеся растворы йодистого натрия и йодистого этила сливают в емкость для радиоактивных растворов.

После кипячения в круглой колбе с обратным холодильником и охлаждении смеси, отбирают пробу объемом 10 мл. Отобранную пробу помещают в делительную воронку на 150 мл и приливают 100 мл дистиллированной воды, содержимое воронки энергично встряхивают в течении 3 – 5 мин. После расслоения фаз нижнюю фазу сливают в стакан на 25 мл и отбирают 3 пробы объемом по 0,5 мл для измерения радиоактивности.

Аналогичным путем проводят исследования изотопного обмена при других концентрациях обменивающихся веществ.

Результаты измерения и расчётные данные вводятся в таблицу.

При расчетах концентрации обменивающихся веществ можно заменить значения скорости счета, так как разделение прямо пропорционально концентрации йода – ^{131} в этих соединениях.

Величину степени обмена определяют по уравнению (4.15):

$$F = \frac{nt}{n\infty} \quad (4.15)$$

nt – значение скорости счета отобранной пробы на время, после начала изотопного обмена, имп/сек·мл;

n_{∞} – значение скорости счета отобранной пробы, кипятившейся в течении 30 – 35 мин, то есть на время равномерного распределения, имп/сек·мл;

За начало изотопного обмена принимается время смешения йодистого натрия и йодистого этила. По расчетным данным строят график зависимости $\lg(1 - F)$ от времени t и графическим путем определяют период полураспада, значение константы скорости изотопного обмена определяют по уравнению (4.16):

$$K = \frac{\ln 2}{([AX] + \frac{[BX]t}{2})} \quad (4.16)$$

$[AX] + [BX]$ - концентрации веществ, участвующих в обмене

$t_{1/2}$ - период полуобмена

Содержание отчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы
2. Результаты измерения радиоактивности и расчетные данные, связанные в таблицу
3. Расчеты
4. Графики
5. Выводы

Работа № 25 Радиометрическое титрование гидрофосфата натрия хлористым магнием

В качестве исследуемого вещества берут гидрофосфат натрия, меченный радиоактивным раствором хлористого магния.

Оборудование и реактивы: Химический стакан на 100 мл; химические колбы на 100 мл – 6 шт; микропипетки на 0,1 мл – 1 шт; пипетки на 5 мл – 6 шт; пипетка на 1 мл; стеклянные палочки; бюретки на 25 – 50 мл – 4 шт; центрифужные пробирки; водяная баня; весы аналитические; центрифуга; лампа «Солюкс» или сушильный шкаф; подложки для проб; чашка Петри; радиометрическая установка с торцовым счётчиком; раствор гидрофосфата натрия с концентрацией 13,9 г/дм³ ; раствор фосфора в виде Na₂HPO₄ ; раствор хлористого магния в 2Н соляной кислоте с концентрацией 2 г/дм³ ; раствор 2Н соляной кислоты; раствор 2Н хлористого аммония; раствор 5% гидроксида аммония; концентрированный раствор гидроксида аммония.

Порядок выполнения работы. В химический стакан емкостью 100 мл помещают 50 мл раствора гидрофосфата натрия неизвестной концентрации и вводят необходимое количество радиоактивного фосфора - 32 в виде Na₂HPO₄ из расчета, чтобы объемная активность полученного раствора находилась в пределах 2,5 - 5 · 10² имп/сек·мл;

В шесть колб емкостью 100 мл вводят по 5 мл гидрофосфата натрия и приливают по 10 мл 2Н хлористого аммония и по 5 мл концентрированного раствора гидроксида аммония. Содержимое колб нагревают на водяной бане 40 - 45 °С и медленно при перемешивании в каждую пробу добавляют от 1 до 12 мл раствора хлористого магния в 2Н соляной кислоте. В колбах доводят объем раствора до 35 мл дистиллированной водой, нагретой до 40 - 45 °С.

Для подавления гидроксида и уменьшение растворимости осадка в каждую пробу, после остывания осадка, добавляют по 5 мл концентрированного раствора гидроксида аммония.

Затем колбы закрывают стеклами и оставляют на 1,5 – 2 часа для выпаривания и созревания осадка.

После отстаивания осадка из каждой колбы отбирают в центрифужные пробирки по 8 – 10 мл осветленного раствора и отфуговывают на центрифуге, после чего из каждой центрифужной пробирки отбирают на подложки по 3 пробы по 0,5 мл раствора, высушивают и измеряют на радиометрической установке. Результаты измерений сводят в таблицу, строят график зависимости радиоактивности раствора от объема, добавленного осадителя.

$$V_9 = \frac{V_2(A_1-F) - V_1(A_2-F)}{A_1 - A_2} \quad (4.17)$$

V_9 – эквивалентный объем осадителя, мл

A_1 и A_2 – скорость счета раствора, соответствующие объемам введенного осадителя;

F - скорость счета.

Содержание отсчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы
2. Результаты измерения радиоактивности и расчетные данные, связанные в таблицу
3. Расчеты
4. Графики
5. Выводы

Работа № 26 Определение количества стронция в растворе методом изотопного разбавления

В количестве исследуемого вещества берут раствор азотнокислого стронция, концентрация которого позволяет выделить стронций из раствора и другую фазу. В отобранную пробу исходного раствора вводится радиоактивный стронций. Выделение стронция из раствора в осадок осуществляется в виде его карбоната.

По известному количеству и радиоактивности выделенного стронция рассчитывается его содержание в анализируемой пробе.

Оборудование и реактивы: пипетки на 10; 1; 0,1; стеклянные палочки; эксикатор; центрифужные пробирки; весы аналитические; центрифуга; подложки для проб; радиометрическая установка с торцовым счётчиком; раствор радиоактивного стронция; раствор азотнокислого стронция; раствор натрия 0,5; раствор соляной кислоты; 2Н; сушильный шкаф;

Порядок выполнения работы. С помощью пипетки в две центрифужные пробирки отбирают по 10 мл исследуемого раствора азотнокислого стронция неизвестной концентрации. В каждую пробирку вводят по 1 мл раствора

радиоактивного стронция, определив предварительно его объемную активность, отобрав 3 пробы по 0,1 мл.

Содержимое пробирок нагревают при перемешивании стеклянной палочкой на водяной бане. К горячему раствору при перемешивании добавляют по каплям 0,5М раствор карбоната натрия до выпаривания осадка стронция. Раствор с осадком охлаждают в штативе для пробирок в течении 25 – 30 мин.

Две чистые подложки помещают в чашку Петри и выдерживают в течении 20 – 25 мин в сушильном шкафу при температуре 160 – 190 °С, затем переносят на 20 – 25 мин в экстрактор с хлористым кальцием для охлаждения.

На аналитических весах взвешивают подложки с точностью до четвертого знака и помещают их в эксикатор. Полученный в пробирках осадок отделяют от раствора центрифугированием, дважды промывают теплой водой и растворяют, добавляя 2Н соляную кислоту каплям. Очередную каплю соляной кислоты вводят после прекращения выделения пузырьков углекислого газа. После растворения осадка, при необходимости увеличивают объем раствора, в центрифужную пробирку дополнительно добавляют 2 – 3 капли дистиллированной воды.

Раствор из центрифужных пробирок количественно переносят на предварительно взвешенные подложки, которые затем высушиваются с выдержкой 20 -30 мин в сушильном шкафу и взвешиваются с точностью до 4 –го знака.

После этих операций рассчитывают вес осадка в граммах. Затем определяют активность препаратов. Результаты всех измерений сводят в таблицу.

Количество азотнокислого стронция в исследуемом растворе определяют по уравнению:

$$P_1 = \frac{A_2}{A_3} \cdot P_3 \frac{211,65}{158,64} \cdot \frac{1}{10} \quad (4.18)$$

P_1 – количество азотнокислого стронция, г

P_3 – количество выделяемого хлористого стронция, г

A_2 – общая активность радиоактивного стронция, взятая для проведения опыта имп/сек

A_3 – активность выделенного хлористого стронция, имп/сек

211,65 – молекулярный вес нитрата стронция

158,64 – молекулярный вес хлорида стронция

Содержание отчета:

1. Краткое изложение методики или алгоритм – схема выполнения лабораторной работы
2. Результаты измерения радиоактивности и расчетные данные, связанные в таблицу
3. Расчеты
4. Графики
5. Выводы

4.5 Методы определения радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды

4.5.1 Виды радиоактивных препаратов и методики их приготовления

Пробы, поступившие на измерение радиоактивности, могут быть в твердом, в жидком или газообразном состоянии. Из поступивших проб готовят радиоактивные препараты. При этом, в зависимости от метода приготовления, физико-химических свойств и характера излучения могут быть изготовлены тонкослойные или толстослойные препараты.

Тонкослойными называются препараты, для которых можно пренебречь самопоглощением и саморассеянием.

Для α -частиц средней энергии тонкими источниками являются препараты толщиной не более $0,01 \text{ мг/см}^2$, для β -излучения – не более $0,1 \text{ мг/см}^2$ (при $E=0,4 \text{ МэВ}$).

Толстослойными называются препараты, дальнейшее увеличение толщины которых не приводит к увеличению скорости счета.

Для α -частиц средней энергии толщина препарата более 25 мг/см^2 , для β -частиц - $700\text{-}1000 \text{ мг/см}^2$ (для «жесткого» излучения).

Для приготовления тонкослойных α -препаратов используют метод упаривания растворов с низким солесодержанием при нанесении раствора на специальную подложку и высушивании под лампой «Солюкс» (или сушильном шкафу) при температуре $90\text{-}95^\circ\text{C}$.

В качестве подложек для приготовления тонкослойных препаратов методом упаривания используют нержавеющую сталь или алюминиевую фольгу толщиной $0,3\text{-}1,0 \text{ мм}$.

Пробу радиоактивного раствора наносят на подложку равномерно по всей площади с помощью пипеток, далее раствор выпаривают под лампой «Солюкс» или в сушильном шкафу.

Толстослойные радиоактивные препараты могут быть насыпными или прессованными.

При насыпном метода измеряющую сухую пробу (порошок) насыпают на предварительно взвешенную подложку, слегка уплотняют через бумажную кальку и взвешивают.

Толстослойные препараты обычно готовят для β -излучателей преимущественно насыпным методом. Для их приготовления используют специальные кюветы (подложки) – размеры и форму определяют детектором излучения.

Глубина кювет должна быть не менее $10\text{-}15 \text{ мм}$.

Радиоактивность приготовленного препарата желательно измерять на тонкой подложке, которая позволяет пренебречь обратным рассеянием β -частиц.

4.5.2 Отбор и подготовка проб для измерений радиоактивных параметров окружающей среды

Работа №1. Контроль объемной радиоактивности атмосферного воздуха

Отбор проб. Контроль загрязнения воздуха радиоактивными аэрозолями осуществляется аспирационным методом при помощи воздухофильтрующих установок (ВФУ) с вентиляторами типа 12КС-34, смонтированных на постоянных пунктах наблюдения.

Отбор проб воздуха для определения β -активности аэрозолей осуществляется покачиванием воздуха через фильтровальную ткань типа ФПП-15-1,5, закрепленную на фильтродержателе ВФУ. Фильтродержатель крепится в горизонтальном положении на высоте 1,5-1,7 м. Количество прокаченного воздуха измеряется микроманометром ММН-240.

Крепление фильтровальной ткани на фильтродержателе осуществляется таким образом, чтобы направление движения воздуха через ткань шло от фильтрующего слоя ткани к марлевой подложке. Периодичность смены фильтра аспирационной установки - семь суток.

Снятый фильтр сворачивают наружной стороной внутрь и помещают в пластиковый пакет. В сопроводительной записке указывается номер поста, дату и время отбора пробы. В журнале отбора проб в лаборатории необходимо записать дату и время отбора пробы, номер поста, объем прокаченного воздуха (определяется по времени работы ВФУ).

Подготовка проб к измерениям. После доставки аэрозольных фильтров в лабораторию, их плотно сворачивают и проводят прямое измерение на гамма-спектрометре. Затем фильтры помещают в фарфоровые чашки и озоляют в муфельной печи при температуре 400-450 °С.

После озоления остывшую золу взвешивают, помещают на подложку и передают на радиометрические измерения.

Результат взвешивания и номер подложки заносят в журнал подготовки проб до радиометрического измерения должно составлять не менее трех суток до распада короткоживущих радионуклидов естественных родов урана и тория.

Работа №2. Контроль радиоактивных выпадений из атмосферы

Отбор проб. Контроль радиоактивных выпадений из атмосферы производится седиментационным методом при помощи металлических кювет, устанавливаемых во всех постоянных пунктах наблюдения и контрольном пункте. Размеры кюветы 0,5*0,5 м с высотой бортиков 15 см. Кюветы размещены по постам внешнего радиационного контроля в районе расположения АЭС или предприятий ЯТЦ. Кювета устанавливается на высоте около 1,5 м от поверхности земли на металлических стойках.

Дно кюветы застилается фильтровальной бумагой, которая прижимается специальной рамкой ко дну. Длительность экспозиции кюветы — две недели.

При отборе пробы атмосферных выпадений фильтровальную бумагу снимают, аккуратно складывая внешней стороной внутрь, и тщательно протирают ею дно и внутренние борта кюветы. Бумагу переносят в пластиковый пакет. В пакет также помещают сопроводительную записку, в которой указывают номер поста и дату отбора пробы, и доставляют пробу в лаборатории.

При наличии в кювете дождевой или талой воды ее следует слить в тот же пластиковый пакет или в пронумерованный сосуд. Во избежание размокания сопроводительную записку необходимо прикреплять к наружной стороне пакета или же использовать заранее пронумерованные пакеты.

В зимний период, когда в кювете собирается снег или замерзшая вода, необходимо перенести лопаткой снег из кюветы в пластмассовый пакет, туда же складывают предварительно расколотый на куски лед.

Нельзя допускать переполнения кюветы атмосферными осадками. Для этого периодически часть осадков необходимо переносить в другой сосуд, а после окончания срока экспозиции присоединить их к основной пробе.

Проба атмосферных выпадений не должна содержать посторонние примеси. Обнаруженные в кюветах листья, насекомые и т. п. промывают обессоленной водой и удаляют. Промывную воду присоединяют к основной пробе. Эту операцию допускается проводить в лаборатории.

В журнале отбора проб заносят данные отбора: номер поста, пункт, дату установки фильтровальной бумаги в кювете.

Подготовка проб к измерениям. Фильтровальную бумагу из каждой кюветы озоляют в пронумерованных фарфоровых чашках в муфельной печи при температуре 400-450 °С до полного озоления.

Жидкость из кювет, если такая имеется, после доставки в лабораторию сливают из емкости в пронумерованные стаканы и выпаривают до мокрых солей. Для подавления адсорбции стенками стаканов, раствор подкисляют концентрированным раствором азотной кислоты до $pH=2-2,5$. Фильтрами чисто протирают дно и стенки стакана, в котором выпаривалась вода, плотно сворачивают и помещают в пронумерованную фарфоровую чашку вместе с основным фильтром кюветы. Озоляют в муфельной печи при температуре 400-450 °С до полного озоления.

Остывшую золу взвешивают, записывают в журнале подготовки проб. Берут 0,2 г золы, помещают на алюминиевую подложку, далее смачивают 5-10 каплями этилового спирта, равномерно распределяя смесь, и высушивают в сушильном шкафу. Высушенные пробы (подложки) передают на радиометрический и спектрометрический контроль, записав в журнале подготовки проб номер подложки.

Работа №3. Контроль объемной радиоактивности природных сбросовых и подземных вод

Отбор проб. Пробы воды, отбираемые для анализа, должны быть представленными, то есть отражать условия в месте их отбора.

Пробы воды из водоема отбираемой из поверхностного слоя на глубине 0,3-0,5 м на открытых участках, в свободных от водной растительности, не взмучивая воду, специально предназначенным для этих целей ведром. Перед отбором пробы ведро и полиэтиленовая канистра, в которую отбирается проба, тщательно ополаскивается водой на месте отбора.

Объем отбираемой пробы не менее 2л. Отобранная проба переливается в полиэтиленовую канистру и маркируется.

Сбросовую воду отбирают в специально оборудованных местах с помощью отдельной емкости, не предназначенной для отбора природных вод, в чистые промаркированные полиэтиленовые канистры предварительно промытых исследуемой водой.

При контроле подземных вод из наблюдательных скважин воду отбирают специальным пробоотборником (стакан из нержавеющей стали) в объеме не менее двух литров в чистые, пронумерованные канистры, предварительно извлекая из скважины 2-3 объема на выброс.

В журнале отбора проб отмечают место отбора воды, дату отбора, объем пробы.

Подготовка проб к измерениям. Исследуемую пробу воду тщательно перемешивают, отмеряют мерным цилиндром 1 л и выливают в термостойкий стакан. Оставшуюся часть пробы сохраняют (в случае повторного анализа) до получения результатов.

Пробу подкисляют концентрированным раствором азотной кислоты до рН 2-2,5 и выпаривают на электрической плите при температуре 90-95 °С, не допуская потерь радионуклидов за счет капельного уноса. После испарения воды дно и стенки стакана тщательно протирают фильтровальной бумагой, плотно ее сворачивают и помещают в пронумерованную фарфоровую чашку, после чего чашку прокаливают в муфельной печи при температуре 400-450 °С в течение 1 часа.

После озоления и охлаждения содержимое чашки взвешивают на алюминиевой подложке, предварительно смочив 5-10 каплями этилового спирта, распределив равномерно на подложке и подсушив в сушильном шкафу и передают на радиометрический и спектрометрический контроль.

В журнале подготовки проб записывают дату взвешивания, номер пробы, все золы и номер подложки.

Работа №4. Контроль удельной радиоактивности пробы

Отбор проб. Отбор проб производится на цельных участках почвы в местах расположения кювет. Следует избегать отбора проб на песчаных участках, лишенных растительности и травяного покрова. Место отбора пробы должно быть ровным, однородным, открытым.

Предварительно с места отбора пробы удаляют травяной покров. Пробы отбирают с помощью металлической рамки на глубине 5 см. Пробы, отобранные по вершинам треугольника со сторонами 50 м и состоящие из трех образцов, объединяют в одну пробу.

Доставку пробы в лабораторию производят в пластиковых пакетах с сопроводительной запиской о месте отбора пробы. В журнале отбора пробы отмечают пункт отбора почвы, дату и площадь отбора.

Подготовка проб к измерениям. Доставленную в лабораторию пробу взвешивают и записывают все в журнале подготовки проб. Из образцов почвы отделяют растительную часть и различные органические включения, которые озоляют в муфельной печи при 400-450 °С в течение 1,5-2 часов. Зола перемешивают с начальным образцом (минеральная часть), переносят на металлические противни, высушивают в сушильном шкафу при температуре 100-150 °С до суховоздушного состояния и взвешивают. Суховоздушный вес пробы отмечают в журнале подготовки проб.

Далее отбирают среднюю пробу почвы, для чего образец рассыпают равномерно на бумаге в виде квадрата, и делят диагоналями на четыре части. Две противоположные части отсыпают в пакет для хранения. Две другие части опять смешивают и рассыпают на бумаге, затем берут среднюю пробу 300 г из нескольких частей рассыпанной почвы на подложке отвешивают 5 г прокаленной пробы. И передают на радиометрический и спектрометрический контроль. В журнале подготовки проб записывается все прокаленные почвы, номер поста, номер подложки, дату взвешивания

Работа №5. Контроль удельной радиоактивности донных отложений

Отбор проб. Отбор проб донных отложений на мелководье производится путем осторожного снятия поверхностного слоя отложений широкогорлым сосудом. На более глубоких местах отбор производится при помощи дночерпателя Дч-0,025.

Выемку проб донных отложений производят один раз в год, во второй половине лета в местах отбора воды. Для полного анализа пробы отбирают 2-3 кг (сырая масса). В сопроводительной записке указывают пункт и дату отбора пробы. Пробу после отстаивания и удаления жидкости взвешивают. Сырой вес пробы заносят в журнал отбора проб.

Подготовка проб к измерениям. Пробы донных отложений высушивают на металлических противнях в сушильном шкафу при 100-150 °С до суховоздушного состояния, взвешивают, измельчают в фарфоровой ступке, отбирают навеску 300 г и прокаливают при температуре 400-450 °С в муфельной печи.

На металлической подложке отвешивают 5 г прокаленной пробы, и передают на радиометрические и спектрометрические измерения. В журнале подготовки проб записывается все прокаленной пробы, номер подложки и дата взвешивания.

Работа №6. Контроль удельной радиоактивности растительности

Отбор проб. Отбор проб растительности производится один раз в год в период максимальной вегетации растений.

Траву срезают косой, ножницами или серпом у поверхности земли. Пробу отбирают в одном пункте из трех-четырех точек. Для полного анализа растительности отбирают 2-3 кг пробы.

Доставку проб растительности в лабораторию производят в пластиковых или полиэтиленовых пакетах. В сопроводительной записке указывают место отбора, дату отбора пробы и вес сырой пробы.

Подготовка проб к измерениям. Доставленную в лабораторию пробу взвешивают для определения уточненного сырого веса. Далее высушивают при комнатной температуре до суховоздушного состояния. В журнале подготовки проб отмечают сырой и сухой вес.

Высушенную траву обугливают на электроплитке, затем озоляют в муфельной печи при 400-450 °С. После охлаждения золу взвешивают, отмечают полученный вес в журнале подготовки проб.

Навеску золы 2 г наносят на подложку, смачивают 3-5 каплями этилового спирта, равномерно распределяют по поверхности подложки, подсушивают и передают на радиометрические и спектрометрические измерения. В журнале отмечают вес навески, номер поста, номер подложки и дату взвешивания.

Работа №7. Контроль удельной радиоактивности водорослей

Отбор проб. Пробы водорослей отбирают один раз в год в период наибольшего их размножения, во второй половине лета в местах отбора воды.

При отборе водорослей предпочтение следует отдавать прикрепленным ко дну погруженным формам, имеющим относительно большую поверхность и тонкую структуру (например, нитчатые водоросли). Пробы водорослей отбирают в 3-5 м от берега. Для полного анализа отбирают 1-2 кг водорослей.

Доставку проб водорослей в лабораторию производят в пластиковых или полиэтиленовых пакетах. В сопроводительной записке и в журнале отбора проб отмечают номер пробы, дату и место отбора.

Подготовка проб к измерениям. Доставленные в лабораторию пробы водорослей тщательно прополаскивают для освобождения от ила и других загрязнений. После удаления влаги при помощи фильтровальной бумаги, взвешивают и записывают сырой вес в журнале подготовки проб.

Затем водоросли измельчают, высушивают на металлическом противне в сушильном шкафу до суховоздушного состояния при температуре 100-150 °С.

Высушенную пробу взвешивают и озоляют в муфельной печи при температуре 400-450 °С. Золу после охлаждения взвешивают. Отбирают навеску 2 г, наносят на подложку, смачивают 3-5 каплями этилового спирта, подсушивают и передают на радиометрические и спектрометрические измерения. В журнале подготовки проб отмечают вес золы, навеску, пункт отбора, номер подложки и дату.

Работа №8. Контроль удельной радиоактивности молока, рыбы и сельскохозяйственной продукции

Отбор проб. К числу продуктов, подлежащих обязательному контролю, относятся рыба, молоко, зерно пшеницы и других злаковых культур, овощи и фрукты.

Для исследования рыбы, ее отлавливают из контролируемых водоемов. Общая масса пробы должна быть не менее 5 кг.

Зерно, овощи, фрукты отбирают один раз в году в период уборки урожая непосредственно в местах их выращивания в количестве по 4-5 кг зерновых, и по 10-15 кг овощей и фруктов.

Молоко отбирают на сливных пунктах или непосредственно на фермах, где производится доение коров. Объем пробы должен составлять 5-10 л.

При доставке проб в лабораторию в журнале отбора проб записывают дату, пункт и место отбора, и количество пробы.

Подготовка проб к измерениям. Подготавливаемые пробы обугливают на электроплитке и прокаливают в муфельной печи при 400-450 °С до полного озоления.

Золу после охлаждения взвешивают, помещают навеску 2 г на подложку, смачивают 3-5 каплями этилового спирта, просушивают и передают на радиометрические и спектрометрические измерения. Данные по пробе заносят в журнал подготовки проб.

Работа №9. Определение загрязненности радиоактивными веществами рабочих поверхностей при работе с радиоактивностью

При работе с радиоактивностью в радиохимической лаборатории в соответствии с ОСПОРБ-99 необходимо регулярно проверять степень загрязненности различных поверхностей, на которых могли попасть радиоактивные вещества. Уровень загрязненности определяется по выходу альфа- или бета-частиц в верхнюю полусферу над одним 1 см³ поверхности (частиц/см²мин).

Различают нефиксированную, неснимающую и общую (суммарную) загрязненность. Уровни загрязнения рук, перчаток, спецодежды, оборудования, поверхности столов и т.д. нормируются исходя из опасности попадания радионуклидов внутрь организма (НРБ-99 табл.5.1). Поэтому допустимое количество радиоактивных ядер на 1 см² поверхности во много раз меньше того количества, которое может создать предельно-допустимую дозу внешнего облучения.

Уровень общей загрязненности $F_{\text{загр}}$ определяют переносными приборами (радиометрами) с учетом коэффициента счета $K_{\text{сч}}$.

$$F_{\text{загр}} = \frac{(I_{\text{сч,загр}} - I_{\text{сч,ф}})}{S_q} \cdot K_{\text{сч}} \quad (4.19)$$

где $I_{сч,загр}$ и $I_{сч,ф}$ – скорость счета загрязненной поверхности и фона соответственно, имп/мин;

S_q – площадь окна детектора, $см^2$.

Таблица 4.1 – Допустимые уровни радиоактивного загрязнения поверхностей

Объект загрязнения	Альфа-активные нуклиды, част/см ² мин		Бета-активные нуклиды част/см ² мин,
	Отдельные	Прочие	
Неповрежденная кожи, полотенца, внутренняя поверхность лицевых частей индивидуальной защиты и перчаток	2	2	200
Основная спецодежда, внутренняя поверхность дополнительных СИЗ, спецобувь	5	20	2000
Поверхности помещений постоянного пребывания персонала и находящегося в них оборудования	5	20	2000
Поверхности помещений периодического пребывания персонала и находящегося в них оборудования	50	200	10000

Ход выполнения работы

1. Знакомство с краткой инструкцией по работе с радиометром и подготовка его к измерениям.

2. Измерение скорости счета фона (3 измерения по 1 мин).

3. Градуировка радиометра по эталонным источникам бета-излучения С-14, Со-60; Те-204, равновесная смесь Sr-90(У-90). Энергия излучения и периоды полураспада этих изотопов выбираются из справочника. Эффективная энергия бета-частиц источника Sr-90(У-90), значения которой обычно используют при построении калибровочного графика в координатах $K_{сч} - E_{\beta}$ равна 1,6 МэВ.

Три эталонных источника являются «чистыми» бета-излучателями, в то время как распад Со-60 сопровождается испусканием двух жестких гамма-квантов. В этом случае, при калибровке радиометра проводят два измерения: сначала- общей скорости счета эталонного препарата ($I_{сч\ эт1} = I_{\beta} + I_{\gamma} + I_{\phi}$), затем – скорости счета, обусловленной гамма-излучением ($I_{сч\ эт2} = I_{\gamma} + I_{\phi}$). При втором измерении между окном детектора и препаратом помещают алюминиевый диск, толщина которого равна максимальному пробегу бета-частиц (80-81 мг/см²).

Разность между $I_{сч\ эт1}$ и $I_{сч\ эт2}$ соответствует скорости счета бета-излучения Со-60.

Для каждого эталона проводят по три измерения скорости счета.

$I_{сч\ эт}$ (для Со-60 по 3 измерения $I_{сч\ эт1}$ и $I_{сч\ эт2}$) продолжительностью по 1 мин, находят средние значения ($I_{сч\ эт2} - I_{сч\ ф}$), и погрешность.

Таблица 4.2

№ п/п	Изотоп, период полураспада	F _{эт} (2π), част/мин		(I _{сч эт} - I _{сч ф})	K _{сч, i} , имп/мин	E _{βmax} , МэВ	K _{сч, i} ± δ K _{сч, i}
		по паспорту	на дату измерения				
1	2	3	4	5	6	7	8

4. Определение нефиксированной загрязненности рабочей поверхности. Выбирают 2 участка загрязненной поверхности и определяют их площадь. По полученной информации с какими изотопами проводились работы на данном рабочем месте и, используя постоянный график зависимости $K_{сч\ i} - E_{\beta max}$ определяют коэффициенты счета для данных изотопов. Бумажным фильтром трижды протирают выделенный участок и измеряют скорость счета фильтра. Аналогичным способом берут «мазок» со второго участка. Вычисляют снимаемую загрязненность. Сопоставляют с данными табл.4.3 и определяют отношение величины загрязненности к допустимому уровню.

Таблица 4.3

N рабочего места на плане	I _{счmax} - I _ф , имп/мин	K _{сч} , част/мин	F _{загр} , част/см ² ·мин	F _{загр} /F*
1	2	3	4	5

4.5.3 Определение объемной (удельной) радиоактивности образцов

Определение объемной (удельной) радиоактивности образцов основано на регистрации α-, β-излучения с помощью торцевых счетчиков.

Объемная радиоактивность рассчитывается для газообразных и водных сред, как отношение общей радиоактивности A пробы к его объему.

$$a_1 = \frac{A_1}{V} \quad (4.20)$$

где a_1 – объемная радиоактивности пробы, Бк/дм³;

A_1 – общая радиоактивность пробы, Бк;

V – объем пробы, дм³.

Удельная радиоактивность рассчитывается для твердых и сыпучих сред, как отношение общей радиоактивности A пробы к его массе.

$$a_2 = \frac{A_2}{m} \quad (4.21)$$

где a_2 – объемная радиоактивности пробы, Бк/кг;

A_2 – общая радиоактивность пробы, Бк;

m – объем пробы, кг.

Все количественные измерения радиоактивности можно выразить в виде соотношения:

$$A = \frac{N}{E} \quad (4.22)$$

где A – радиоактивность образца, Бк;

N – скорость счета, имп/сек;

E – чувствительность (эффективность) радиометрической установки; имп/Бк·сек.

Определение радиоактивности образцов (проб) можно осуществлять абсолютным или относительным методами.

При абсолютном методе необходимо введение набора поправок, которые учитывают долю частиц, теряемую все чувствительного объема детектора.

Сущность относительного метода состоит в том, что радиоактивность измеряемого счетного образца определяют сравнением с исходным эталоном – образцовым источником, идентичным данному образцу. По такому источнику градуируют измерительную установку, то есть определяют ее чувствительность к бета-излучению.

$$A_x = A_э \frac{N_x}{N_э} \quad (4.23)$$

где A_x – радиоактивность измеряемого образца, Бк;

$A_э$ – радиоактивность образцового источника, Бк;

N_x – скорость счета измеряемого образца, имп/сек;

$N_э$ – скорость счета образцового источника, имп/сек.

4.5.4 Расчеты объемной (удельной) радиоактивности измеряемой пробы

А. Расчет объемной радиоактивности атмосферного воздуха по бета-излучению

Объемную активность атмосферного воздуха, по бета-излучению $A_{\text{возд}}$, Бк/м³, определяют по формуле:

$$A_{\text{возд}} = \frac{N_0 \cdot P_{\text{зол}}}{E \cdot P_{\text{навес}} \cdot V} \quad (4.24)$$

где $P_{\text{зол}}$ – вес золы фильтра, г;

$P_{\text{навес}}$ – навеска золы на подложке, г;

V – объем прокаченного воздуха, м³;

E – чувствительность (эффективность) радиометрической установки, имп/Бк·сек;

N_0 – скорость счета импульсов, имп/сек.

Б. Расчет объемной радиоактивности атмосферных выпадений по бета-излучению

Объемную бета-активность атмосферных выпадений $A_{\text{вып}}$, Бк(м²·сут) определяют по формуле:

$$A_{\text{вып}} = \frac{N_0 \cdot P_{\text{зол}}}{E \cdot P_{\text{навес}} \cdot S \cdot t} \quad (4.25)$$

где $P_{\text{зол}}$ – вес золы фильтра, г;

$P_{\text{навес}}$ – навеска золы на подложке, г;

S – площадь кюветы равная 0,25 м²;

t – экспозиция, сутки;

E – чувствительность (эффективность) радиометрической установки, имп/Бк·сек;

N_0 – скорость счета импульсов, имп/сек.

В. Расчет объемной радиоактивности воды по бета-излучению

Объемную бета-активность воды $A_{\text{вод}}$, Бк/м³ определяют по формуле:

$$A_{\text{вод}} = \frac{N_0 \cdot P_{\text{зол}}}{E \cdot P_{\text{навес}} \cdot V} \quad (4.26)$$

где $P_{\text{зол}}$ – вес золы фильтра, г;

$P_{\text{навес}}$ – навеска золы на подложке, г;

V – объем прокаченного воздуха, м³;

E – чувствительность (эффективность) радиометрической установки, имп/Бк·сек;

N_0 – скорость счета импульсов, имп/сек.

Г. Расчет удельной (объемной) радиоактивности почвы по бета-излучению

Удельную (объемную) активность почвы $A_{\text{почв}}$, Бк/м² определяют по формуле:

$$A_{\text{почв}} = \frac{N_0 \cdot P_{\text{зол}}}{E \cdot P_{\text{навес}} \cdot S} \quad (4.27)$$

где $P_{\text{зол}}$ – вес золы фильтра, г;

$P_{\text{навес}}$ – навеска золы на подложке, г;

$S = 6,75 \cdot 10^{-2}$ – площадь с которой отбирается проба почвы, м²;

E – чувствительность (эффективность) радиометрической установки, имп/Бк·сек;

N_0 – скорость счета импульсов, имп/сек.

Д. Расчет удельной радиоактивности донных отложений растительности, водорослей по бета-излучению

Удельная бета-активность донных отложений, растительности, водорослей, Бк/кг определяется по формуле:

$$A_{\text{дон}} = \frac{N_0 \cdot P_{\text{пр}}}{E \cdot P_{\text{навес}} \cdot P} \quad (4.28)$$

где $P_{\text{пр}}$ – общий вес прокаленного остатка, г;

$P_{\text{навес}}$ – навеска прокаленного остатка, г;

P – вес суховоздушной пробы, кг;

E – чувствительность (эффективность) радиометрической установки, имп/Бк·сек;

N_0 – скорость счета импульсов, имп/сек.

Е. Расчет удельной (объемной) радиоактивности сельскохозяйственных продуктов, рыбы, молока по бета-излучению

Удельную (объемную) радиоактивность сельскохозяйственных продуктов, рыбы, молока $A_{\text{прод}}$, Бк/кг (дм³), определяют по формуле

$$A_{\text{прод}} = \frac{N_0 \cdot P_{\text{золы}}}{E \cdot P_{\text{навес}} \cdot P(V)} \quad (4.29)$$

где $P_{\text{зола}}$ – общий вес золы, г;
 $P_{\text{навес}}$ – вес навески золы на подложке, г;
 $P(V)$ – вес (объем) пробы, кг (дм³);
 E – чувствительность (эффективность) радиометрической установки, имп/Бк·сек;
 N_0 – скорость счета импульсов, имп/сек.

4.5.5 Оценка погрешности измерений. Определение минимальной измеряемой радиоактивности

Относительную статическую погрешность измерения пробы δ , % рассчитывают по формуле:

$$\delta = \frac{100}{N_0} \sqrt{\left(\frac{N}{t} + \frac{N_{\phi}}{t_{\phi}}\right)} \quad (4.30)$$

где N – скорость счета пробы с фоном, имп/сек;

N_{ϕ} – скорость счета фона, имп/сек;

t – время измерения пробы, сек;

t_{ϕ} – время измерения фона, сек;

N_0 – скорость счета пробы за вычетом фона, имп/сек.

Минимальную измеряемую активность $A_{\text{мин}}$ исследуемой пробы при заданном времени измерения t (сек) и относительной статической погрешности δ (%) определяют по формуле:

$$A_{\text{мин}} = \frac{1 + \sqrt{1 + 8 \cdot N_{\phi} \cdot t \cdot \delta^2}}{2 \cdot t \cdot E \cdot P \cdot \delta^2} \quad (4.31)$$

Если рассчитанное значение радиоактивности нуклида меньше минимальной измеряемой активности, то в качестве результата используют $A_{\text{мин}}$.

4.5.6 Требования к препаратам для измерения радиоактивности

Большинство существующих методик приготовления препаратов отвечают требованиям, которые предъявляются к препаратам как при относительных, так и при абсолютных измерениях радиоактивности.

Для правильного проведения относительных измерений активности необходимо, чтобы стационарный препарат и препарат измеряемый были одинаковыми по форме и размеру. Они должны состоять из того же вещества или вещества одинаковой плотности; иметь одинаковое распределение радиоактивного вещества по объему или площади, если толщина слоя пренебрежимо мала; одинаковую массу и влажность; подложки, на которые нанесены измеряемые препараты. Кроме того, относительные измерения требуют соблюдения полной воспроизводимости условий измерения активности препарата и стандарта.

Если препараты предназначены для относительных измерений по конкретному виду излучения, то требования к ним упрощаются. Так основное требование, предъявляемое препаратам, испускающим гамма-кванты, состоит в соблюдении одинакового размера и формы препаратов, а

также одинакового характера распределения радиоактивного вещества по объему. Материал подложки препарата, и ее толщина, толщина слоя радиоактивного вещества могут несколько изменяться, поскольку эффект поглощения и отражения гамма-квантов малы и не увеличиваются при обычных размерах.

При изготовлении препаратов, испускающих бета-частицы, в особенности малой энергии, большое внимание уделяют получению слоев воспроизводимой толщины однородного распределения вещества на площади. Однако, сложность методики приготовления препаратов с воспроизводимой толщиной слоя вещества заставляет приготовить слой, толщина которого превышает максимальный пробег бета-частиц данного радионуклида (слой насыщения).

При изготовлении препаратов, испускающих альфа-частицы можно пренебречь рассеяниями альфа-частиц от подложки поскольку этот эффект чрезвычайно мал и не зависит от материала подложки. Существует еще одно специфическое требование, предъявляемое к альфа-излучателям при относительных измерениях: необходимо соблюдать постоянство степени дисперсности вещества, содержащего альфа-радионуклид, так как установлена зависимость скорости счета препарата от степени дисперсности альфа-радиоактивного вещества. Изменение дисперсности вещества вызывает пропорциональное изменение величины активности слоя насыщения к его удельной радиоактивности, что соблюдается для широких пределов размера частиц.

При абсолютных измерениях требования к препаратам значительно более высокие, чем при относительных измерениях. Главным является то, что радиоактивное вещество должно быть нанесено на поверхность подложки в виде тонкого слоя. В качестве подложки используют тонкие органические пленки.

Препараты, приготовленные в соответствии с требованиями, позволяют выполнить абсолютные и относительные измерения радиоактивности с минимальной погрешностью.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Практическая работа №1 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕГО ВРЕМЕНИ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ»

1. Перечислите методы определения разрешающего времени.
2. Дать определение понятия разрешающего времени.
3. Зачем вводится понятие разрешающее время?
4. Для чего вводится пересчетная схема в счетчик в данной работе?
5. При каком условии разрешающее время будет зависеть от регистрации скорости счета?
6. На чем основано измерение активности методом двух препаратов?
7. Что за величины и как соотносятся между собой n_1+n_2 и $n_{1,2}$ в данной работе?
8. Написать и объяснить формулу определения числа зарегистрированных импульсов.
9. Чему равно разрешающее время в отсутствии просчетов?
10. Чему равна доля не сосчитанных счетной установкой частиц при сравнительно малых скоростях счета импульсов?
11. При какой скорости счета вводится поправка на разрешающее время?
12. Почему время каждого измерения составляет 20 мин?
13. Написать и объяснить формулу определения разрешающего времени с учетом фона.
14. Написать и объяснить формулу определения поправки на разрешающее время.
15. Как влияет возраст установке на величину разрешающего времени?
16. Написать и объяснить формулу определения истинной скорости счета.
17. По какому критерию проводится оценка степени близости наблюдаемого распределения к распределению Пуассона (написать и объяснить формулу)?
18. Для каких скоростей счета следует проводить определение τ_p , $P(\tau_p)$?
19. Перечислите условия для получения более точного результата измерения и проверки стабильности работы прибора.
20. Что является целью лабораторной работы?
21. Когда вводится поправка на разрешающее время?
22. Вводится ли поправка на разрешающее время при измерении фона?
23. Верно ли соотношение $n_1 + n_2 \gg n_{1,2}$ и почему?
24. При каких значениях $\chi^2_{\text{эксп}}$ радиометрическая установка оценивается, как стабильная?

25. Отражает ли проведение лабораторной работе, в выполненном формате, необходимость расчета $\chi^2_{\text{экс}}$?

26. В чем сущность определения τ_p методом короткоживущих препаратов?

27. Почему необходимо оставлять неизменным условия измерений препаратов?

Практическая работа № 2

«МЕТОДЫ САНИТАРНО-ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ»

1. Что такое активность радионуклидного источника ионизирующих излучений и в каких единицах она выражается?

2. В чем состоит абсолютный метод измерения активности источника?

3. Дайте логическое объяснение формуле, по которой рассчитывается активность согласно абсолютному методу ее измерения.

4. Поясните смысл поправочных коэффициентов, входящих в формулу коэффициента регистрации.

5. Что такое эквивалентная доза ионизирующего излучения?

6. На что влияют условия измерения?

7. Назовите мероприятия по снижению дозы облучения при работе с закрытыми источниками излучения?

8. Что означает фраза «защита временем»?

9. Дайте определение закрытому источнику?

10. Что означает фраза «защита расстоянием и экраном»?

11. Дайте определение открытого источника?

12. Чем характеризуется ионизирующая способность излучения?

13. Объясните формулу расчета толщины экрана?

14. Написать и объяснить формулы для расчета экспозиционной дозы или мощности дозы.

Практическая работа № 3

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБСОЛЮТНОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕПАРАТОВ β -ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ ФИКСИРОВАННОГО ТЕЛЕСНОГО УГЛА»

1. Дайте определение телесного угла?

2. Почему радиоактивный препарат должен фиксироваться жестко по отношению к детектору?

3. Каким выражением определяется соотношение истинной скорости счета и его абсолютной активности?

4. На что влияют условия измерения?

5. Каким соотношением определяется истинная скорость счета?

6. Напишите отношение, определяющее коэффициент регистрации?
7. Сущность измерения активности методом ограниченного телесного.
8. Каким соотношением определяется величина геометрического коэффициента в случае точечного препарата?
9. Какое соотношение определяет абсолютную активность?
10. От чего зависит геометрический коэффициент?
11. Напишите отношение, определяющее коэффициент поглощения?
12. Что выражает коэффициент обратного рассеяния?
13. От чего зависит коэффициент самоослабления?
14. Что выражает коэффициент саморассеяния и при каких измерениях учитывается?
15. В чем сущность определение абсолютной активности методом бата-, гамма- совпадений.
16. Что выражает поправка на эффективности регистрации излучения
17. Какие существуют схемы распада, чем и как они определяются?
18. Какие мероприятия проводятся в данной работе для уменьшения влияния неравномерного распределения радиоактивного вещества по поверхности подложки, повышения точности определения активности?
19. При каких условиях не вводятся поправки на самопоглощение и саморассеяние?
20. От каких величин зависит поправки на отражение излучения от подложки?
21. Дать определение понятию практическая эффективность.
22. Сущность определения абсолютной активности методом ионизационной камеры.
23. В чем сущность калориметрического метода определение абсолютной активности.
24. Как и что выражает поправка на схему распада?
25. Какова цель лабораторной работы?
26. Что характеризует поправочный коэффициент δ_{∞} и в каких случаях применяется?
27. Какое соотношение $\frac{h}{r}$ является наилучшим?
28. В области каких толщин поглотителя отклонение по экспоненциальному закону составляет не более 5%?
29. Какой из коэффициентов является наибольшим по величине?
30. При какой толщине источника поправку на самопоглощение рассчитывают по формуле $S = 1,26 \frac{\Delta_{\beta}}{\delta_{\text{эн}0}}$?
31. При какой толщине источника поправку на саморассеяние рассчитывают по формуле $q = 1 + 0,8 \cos \alpha$?
32. В каких случаях не вводится поправка на саморассеяние и самопоглощение излучения?
33. Каким выражением определяется поправка на обратное рассеяние от алюминиевой подложки?

34. Каким выражением определяется поправка на обратное рассеяние от свинцовой подложки?
35. Что выражают условия проведения измерений?
36. Какие факторы влияют на самопоглощение?
37. Каким выражением определяется поправка на самопоглощение для источников, толщина которых превышает толщину слоя насыщения?
38. Что понимают под суммарной толщиной поглотителя?
39. Какая из величин больше $d_{эфф}$ или d_{Σ} ?
40. Каким соотношением определяется массовый коэффициент поглощения β - излучения?
41. Что выражает слой половинного ослабления?
42. Как соотносится скорость счета импульсов с расстоянием детектора от источника?
43. Дать формулировку эффективности счетчика.
44. В каких случаях эффективность β - частиц может превышать 100% и почему?
45. Что выражает поправка на телесный угол?
46. В каких единицах измеряется пространственный угол?
47. Как соотносятся пространственный угол Ω с поправкой на телесный угол?
48. Определение понятия разрешающее время
49. Ход работы

Практическая работа № 4 **«ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ** **ПРЕПАРАТА»**

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Основное выражение, определяющее условие проведения данного метода измерения.
3. Какие условия необходимо выполнить при подготовке источников для измерения $A_{абс}$ данным методом?
4. Какие условия необходимо выполнить при измерении источников в определении $A_{абс}$ данным методом?
5. Влияют ли на поправочные коэффициенты различные методы приготовления источников?
6. На какие коэффициенты влияют методы приготовления источников?
7. Почему необходимо проводить измерения на одной и той же установке?
8. На какой коэффициент будут влиять различия размеров источников?
9. Перечислить условия проведения лабораторной работы.
10. На какой поправочный коэффициент влияют условия измерения?
11. На какой поправочный коэффициент влияет материал подложки при измерении альфа-источника? бета излучателя?
12. Как влияют на коэффициенты самоослабления и обратного рассеяния

гамма -излучатели?

13. На какие коэффициенты и как влияют материал подложки и толщина препарата у бета-излучателей?

14. Можно ли готовить альфа препараты одной серии на различных подложках?

15. Что необходимо учитывать при выборе способа приготовления источника? Почему?

16. Можно ли готовить серию препаратов на подложках различной формы?

17. Можно ли готовить препарат методом выпаривания на плексигласе? полиэтилене? фильтровальной бумаге?

18. Будет ли влиять на результат измерения относительным методом при различных методах радиохимической подготовке пробы?

19. Какие знаете способы относительных измерений?

20. Каковы недостатки относительного метода измерения?

21. В чем смысл метода калиброванной аппаратуры в измерении относительным методом?

22. Написать поправку на радиоактивный распад?

23. В чем суть поправки на радиоактивный распад?

24. Необходимо ли учитывать $T_{1/2}$ источника при проведении измерения относительным методом?

25. На какой поправочный коэффициент влияет неравномерность активного слоя в препарате?

26. На измерение какого излучения влияет неровности и шероховатости подложки?

27. Какие методы приготовления тонких альфа активных препаратов известны?

28. Наиболее простой и распространенный метод приготовления препарата?

29. Какой физический эффект влияет на качество отбора пробы и как его не допустить?

30. Какие известны способы для нанесения пробы на подложку перед упариванием?

31. Какой готовится источник насыпным способом и в чем он готовится?

32. Какие готовятся бета-излучатели для РМ измерений?

33. Какие активные источники считаются тонкими, толстыми и промежуточными?

34. На какие эффекты влияет малое солесодержание в тонких источниках?

35. Для приготовления источников какой толщины применяется метод прессования?

36. Какие источники готовят для измерения альфа и бета препаратов?

37. Какие подложки необходимо использовать для тонких препаратов и почему?

38. Каковы основные условия проведения лабораторной работы?

39. Какое соотношение справедливо при условии равенства

коэффициентов регистрации для вычисления Аабс?

40. Что необходимо, если при измерении препарата и эталона нарушаются какие-либо условия измерения?

41. Что вызывает дополнительную погрешность при измерении?

42. В каких единицах измерения снимались показания?

43. Чем отличаются закрытые радиоактивные препараты от открытых?

44. Каково назначение радиофармпрепаратов?

45. Какие выполняются требования при приготовлении препаратов?

46. Какие химически активные соединения р/а растворов не совместимы с подложками?

47. Можно ли применять полиэтиленовую подложку с химически активными соединениями?

48. Что влияет на выбор типа препарата и способа его приготовления?

49. Необходимо ли подбирать эффективность измерения неизвестного р/а препарата?

50. Для каких целей и как обеспечить эффективность измерения р/а препарата?

51. Какова опасность открытого р/а препарата?

52. На чем основан относительный метод измерения активности препарата?

Практическая работа № 5 **«ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ МЕТОДОМ ПОЛНОГО** **ТЕЛЕСНОГО УГЛА»**

1. Сущность метода 4π счета.
2. Перечислите недостатки данного метода.
3. Укажите достоинства данного метода.
4. Какие поправки и зачем вводятся при расчете активности источника?
5. Изобразите схематично в разрезе 4π -счетчик проточного типа конструкции Баранова-Полевого.
6. Принцип работы 4π счетчика проточного типа конструкции Баранова-Полевого (описание конструкции, назначение деталей).
7. Что используется в качестве газа-наполнителя и сцинтилляторов в измерении активности источников в геометрии 4π ?
8. Перечислите условия, позволяющие увеличить точность определения абсолютной активности.
9. От чего зависят условия, позволяющие увеличить точность определения абсолютной активности?
10. Опишите первый метод экспериментального определения величины поправки (как определяется p_0 , K_p).
11. Опишите второй метод экспериментального определения величины поправки (как определяется p_0 , K_p).
12. Какими методами ведется учет самопоглощения?

13. Как производится экспериментальная оценка величины самопоглощения (график, описание)?

14. Напишите и объясните формулу определения поправки на самопоглощение через слой половинного ослабления.

15. Напишите и объясните формулу определения абсолютной активности источника.

16. Какие из поправок, определяющих η , влияют и как на величину абсолютной активности в данном методе?

Приложение А

Таблица 1- Характеристики радионуклидов

Элемент, №	Элемент, №	T _{1/2}	Энергия и вид излучения
Америций-241	241Am	433 года	E α = 5,49 (85); E γ = 0,06 (36)
Аргон-41	41Ar	1,83 ч.	E β - слаб.; E γ = 1,293 (99)
Барий-131	131Ba	11,8 сут.	E γ = 0,124 (28); E γ = 0,216 (19)
Барий-140	140Ba	12,7 сут.	E β = 1,02; E γ = 0,537 (34)
Бериллий-7	7Be	53,4 сут.	E γ = 0,477(10,3)
Бром-82	82Br	35,3 ч.	E β = 0,444; E γ = 0,777 (83); E γ = 0,554 (66)
Висмут-207	207Bi	38 лет	E γ = 0,570 (98); E γ = 1,064 (77)
Висмут-210	210Bi	5,01 сут.	E β = 1,160
Висмут-212	212Bi	60,6 мин.	E α = 6,05 (25); E β = 2,26 (55); E γ = 0,727(7)
Висмут-214	214Bi	19,9 мин.	E β = 3,26; E γ = 0,609 (47); E γ = 1,12 (17)
Вольфрам-185	185W	75 сут.	E β = 0,429
Вольфрам-187	187W	23,9 ч.	E β = 1,31 (15); E γ = 0,686 (27); E γ = 0,479 (23)
Гадолиний-153	153Gd	242 сут.	E γ = 0,099 (55)
Галлий-68	68Ga	68,1 мин.	E β = 1,9; E γ = 0,511; E γ = 1,078
Галлий-72	72Ga	14,1 ч.	E β = 3,15; E γ = 0,835 (96); E γ = 0,630 (27)
Гафний-181	181Hf	42,4 сут.	E β = 1,41; E γ = 0,482 (81); E γ = 0,133 (48)
Гельмий-166	166Ho	26,8 ч.	E β = 1,84; E γ — слаб.
Диспрозий-159	159Dy	144 сут.	E γ = 0,348; E γ = 0,058 (4)
Европий-152	152Eu	13,3 года	E β = 1,48; E γ = 0,344 (77); E γ = 0,122 (37)
Европий-154	154Eu	8,8 года	E β = 0,87; E β = 1,85 (10); E γ = 0,123 (38); E γ = 1,278 (37)
Европий-155	155Eu	4,96 года	E β = 0,25; E γ = 0,087 (32); E γ = 0,105 (20)
Железо-59	59Fe	44,5 сут.	E β = 0,475; E γ = 1,095 (56); E γ = 1,292 (44)
Золото-195	195Au	183 сут.	E γ = 0,099(10); E γ = 0,129(1)
Золото-198	198Au	2,70 сут.	E β = 0,962; E γ = 0,412 (95); E γ = 0,676 (1)
Золото-199	199Au	3,14 сут.	E β = 0,46; E β = 0,30; E γ = 0,158 (37); E γ = 0,208 (8)
Индий-113т	113mIn	1,66 ч.	E γ = 0,392
Индий-114	114In	71,9 с.	E β = 1,988; E γ — слаб.
Индий-114т	114mIn	45,5 сут.	E γ = 0,190 (17); E γ = 0,558 (3,5); E γ = 0,724 (3,5)
Иод-125	125I	60,14 сут.	E γ = 0,035 (7)
Иод-129	129I	1,57*10 ⁷ лет	E β = 0,150; E γ = 0,040 (9)
Йод-130	130I	12,4 ч.	E β = 1,04; E γ = 0,669 (100); E γ = 0,538 (99)
Йод-131	131I	8,04 сут.	E β = 0,606 (89); E γ = 0,364 (82);
Иридий-192	192Ir	73,8 сут.	E β = 0,67; E γ = 0,317 (81); E γ = 0,468 (49);
Иридий-194	194Ir	19,2 ч.	E β = 2,24; E γ = 0,368 (10); E γ = 0,64 (1)
Иттербий-169	169Yb	32,0 сут.	E γ = 0,063 (45); E γ = 0,198 (35); E γ = 0,177 (22)
Иттрий-90	90Y	64,1 ч.	E β = 2,27
Иттрий-91	91Y	58,5 сут.	E β = 1,545; E γ - слаб.

Элемент, №	Элемент, №	$T_{1/2}$	Энергия и вид излучения
Калий-40	40K	1,28*10 ⁹ лет	$E\beta = 1,314(89)$; $E\gamma = 1,46(10,7)$
Калий-42	42K	12,4 ч.	$E\beta = 3,52$; $E\gamma = 1,524 (18)$
Кальций-45	45Ca	164 сут.	$E\beta = 0,252$
Кальций-47	47Ca	4,54 сут.	$E\beta = 1,98(18)$; $E\beta = 0,67$; $E\gamma = 1,308 (74)$
Кадмий-109	109Cd	464 сут.	$E\gamma = 0,088 (4)$
Кадмий-115	115Cd	53,46 ч.	$E\beta = 1,11$; $E\gamma = 0,53 (26)$; $E\gamma = 0,49 (10)$
Кадмий-115т	115mCd	44,6 сут.	$E\beta = 1,62$; $E\gamma = 0,935 (1,9)$
Кобальт-57	57Co	271 сут.	$E\gamma = 0,122 (86)$; $E\gamma = 0,136 (11)$; $E\gamma = 0,014 (10)$
Кобальт-58	58Co	70,8 сут.	$E\gamma = 0,810 (99)$; $E\gamma = 0,511(30)$
Кобальт-60	60Co	5,27 года	$E\beta = 0,314 (99)$; $E\gamma = 1,173 (100)$; $E\gamma = 1,332 (100)$
Криптон-85	85Kr	10,7 года	$E\beta = 0,67$; $E\gamma$ - слаб.
Ксенон-133	133Xe	5,29 сут.	$E\beta = 0,346$; $E\gamma = 0,081 (37)$
Лантан-140	140La	40,3 ч.	$E\beta = 2,175 (6)$; $E\beta = 1,69 (15)$; $E\beta = 1,36$; $E\gamma = 1,596 (96)$
Лютеций-177	177Lu	6,71 сут.	$E\beta = 0,497$; $E\gamma = 0,208 (6,1)$; $E\gamma = 0,113 (2,8)$
Магний-28	28Mg	21,1 ч.	$E\beta = 0,9$; $E\beta = 0,46$; $E\gamma = 0,031 (96)$; $E\gamma = 1,35 (70)$
Марганец-54	54Mn	313 сут.	$E\gamma = 0,835 (100)$
Медь-64	64Cu	12,7 ч.	$E\beta = 0,573 (38)$; $E\beta = 0,656 (19)$; $E\gamma = 0,511 (38)$
Молибден-99	99Mo	66,0 ч.	$E\beta = 1,23$; $E\gamma = 0,704 (12)$; $E\gamma = 0,181(7)$
Мышьяк-74	74As	17,78 сут	$E\beta = 1,36 (32)$; $E\beta = 0,95 (26)$; $E\gamma = 0,596 (61)$; $E\gamma = 0,511 (59)$
Мышьяк-76	76As	26,32 ч.	$E\beta = 2,97 (32)$; $E\gamma = 0,559 (43)$; $E\gamma = 0,657 (6)$
Мышьяк-77	77As	38,83 ч.	$E\beta = 0,68$; $E\gamma = 0,239 (2,5)$
Натрий-22	22Na	2,60 года	$E\beta = 0,545$; $E\gamma = 0,511 (180)$; $E\gamma = 1,275 (100)$
Натрий-24	24Na	15,0 ч.	$E\beta = 1,389 (100)$; $E\gamma = 1,369 (100)$; $E\gamma = 2,754 (100)$
Неодим-147	147Nd	11 сут.	$E\beta = 0,9$; $E\beta = 0,81$; $E\gamma = 0,091 (28)$; $E\gamma = 0,533 (13)$
Никель-63	63Ni	100 лет	$E\beta = 0,067$
Ниобий-95	95Nb	35 сут.	$E\beta = 0,160$; $E\gamma = 0,765 (99,8)$
Осмий-191	191Os	15,4 сут.	$E\beta = 0,143$; $E\gamma = 0,129(25)$
Палладий-103	103Pd	16 сут.	$E\gamma = 0,362 (0,06)$
Палладий-109	109Pd	13,5 ч.	$E\beta = 1,028$; $E\gamma = 0,088 (5)$
Плутоний-238	238Pu	87,7 года	$E\alpha = 5,50 (72)$; $E\alpha = 5,46 (28)$; $E\gamma$ - слаб.
Плутоний-239	239Pu	24119 лет	$E\alpha = 5,15 (88)$; $E\alpha = 5,10 (11,5)$; $E\gamma = 0,039 (0,007)$; $E\gamma = 0,052 (0,020)$; $E\gamma = 0,129 (0,005)$; $E\gamma = 0,375 (0,0012)$; $E\gamma = 0,414 (0,0012)$;
Полоний-210	210Po	138 сут.	$E\alpha = 5,305 (100)$; $E\gamma$ = слаб.
Полоний-216	216Po	0,15 с.	$E\alpha = 6,78 (100)$
Полоний-218	218Po	3,05 мин.	$E\alpha = 6,00 (100)$
Празеодим-142	142Pr	19,1 ч.	$E\beta = 2,16$; $E\gamma = 1,57 (3,7)$
Празеодим-143	143Pr	13,6 сут.	$E\beta = 0,933$
Празеодим-144	144Pr	17,3 мин.	$E\beta = 2,99$; $E\gamma = 0,695 (1,5)$

Элемент, №	Элемент, №	$T_{1/2}$	Энергия и вид излучения
Прометий-147	147Pm	2,62 года	$E\beta = 0,224$
Протактиний-233	233Pa	27 сут	$E\beta = 0,568 (5); E\gamma = 0,31 (44)$
Протактиний-234	234Pa	6,7 ч.	$E\beta = 1,13 (13); E\gamma = 0,90 (70); E\gamma = 0,100 (50)$
Радий-226	226Ra	1600 лет	$E\alpha = 4,78 (95); E\gamma = 0,186(4)$
Радон-220	220Rn	55,6 с.	$E\alpha = 6,29 (100); E\gamma = 0,55 (0,07)$
Радон-222	222Rn	3,82 сут.	$E\alpha = 5,49 (100); E\gamma = 0,510 (0,07)$
Рений-186	186Re	90,6 ч.	$E\beta = 1,07; E\gamma = 0,137(9)$
Родий-106	106Rh	28,8 с.	$E\beta = 3,54; E\gamma = 0,512 (21); E\gamma = 0,622 (11)$
Рубидий-86	86Rb	18,7 сут.	$E\beta = 1,78; E\gamma = 1,078 (8,8)$
Рубидий-87	87Rb	$4,8 \cdot 10^{10}$ лет	$E\beta = 0,274$
Рутений-97	97Ru	2,9 сут.	$E\gamma = 0,215 (91); E\gamma = 0,324 (8)$
Рутений-106	106Ru	372 сут.	$E\beta = 0,039$
Ртуть-197	197Hg	64,1 ч.	$E\gamma = 0,077 (18); E\gamma = 0,191 (2)$
Ртуть-197т	197mHg	28,8 ч.	$E\gamma = 0,134 (42); E\gamma = 0,279 (7)$
Ртуть-203	203Hg	46,6 сут.	$E\beta = 0,214; E\gamma = 0,278 (81,5)$
Самарий-151	151Sm	90 лет	$E\beta = 0,076; E\gamma = 0,022 (4)$
Самарий-153	153Sm	46,7 ч.	$E\beta = 0,80; E\gamma = 0,103 (28)$
Селен-75	75Se	120 сут.	$E\gamma = 0,265 (60); E\gamma = 0,136 (57)$
Серебро-110	110Ag	24,6 с.	$E\beta = 2,87; E\gamma = 0,658 (4,5)$
Серебро-110т	110mAg	250 сут.	$E\gamma = 0,658 (96); E\gamma = 0,885 (71); E\gamma = 1,384 (21)$
Серебро-111	111Ag	7,45 сут.	$E\beta = 1,05; E\gamma = 0,342 (6)$
Сера-35	35S	87,2 сут.	$E\beta = 2,3; E\gamma = 1,57$
Свинец-210	210Pb	22,3 года	$E\beta = 0,061; E\gamma = 0,047 (4)$
Свинец-212	212Pb	10,64 ч	$E\beta = 0,346 (81); E\beta = 0,586 (14); E\gamma = 0,239 (47)$
Свинец-214	214Pb	26,8 мин.	$E\beta = 0,65 (50); E\gamma = 0,352 (36); E\gamma = 0,295 (19)$
Скандий-46	46Sc	83,8 сут.	$E\beta = 0,357; E\gamma = 0,889 (100); E\gamma = 1,120 (100)$
Стронций-85	85Sr	64,8 сут.	$E\gamma = 0,514 (100)$
Стронций-87т	85mSr	2,81 ч.	$E\gamma = 0,388 (80)$
Стронций-89	89Sr	50,6 сут.	$E\beta = 1,46; E\gamma - \text{слаб.}$
Стронций-90	90Sr	28,6 лет	$E\beta = 0,546$
Сурьма-122	122Sb	2,7 сут.	$E\beta = 2,0; E\beta = 1,4; E\gamma = 0,564(66);$
Сурьма-124	124Sb	60,2 сут.	$E\beta = 2,31; E\gamma = 0,603 (97); E\gamma = 1,691 (50)$
Сурьма-125	125Sb	2,73 года	$E\beta = 0,61; E\gamma = 0,427 (31); E\gamma = 0,599 (24)$
Таллий-204	204Tl	3,78 года	$E\beta = 0,766$
Тантал-182	182Ta	115 сут.	$E\beta = 0,522; E\gamma = 0,068 (42); E\gamma = 1,121 (34)$
Теллур-132	132Te	78,2 ч.	$E\beta = 0,22; E\gamma = 0,230 (90); E\gamma = 0,053 (17)$
Тербий-160	160Tb	72,3 сут.	$E\beta = 0,86; E\gamma = 0,603(97); E\gamma = 1,691(50)$
Технеций-99	99Tc	$2,13 \cdot 10^5$ лет	$E\beta = 0,292$

Элемент, №	Элемент, №	$T_{1/2}$	Энергия и вид излучения
Технеций-99т	99mTc	6,02 ч.	$E_{\gamma} = 0,1426$ (90)
Титан-44	44Ti	47,3 года	$E_{\beta} = 1,04$; $E_{\gamma} = 0,078$ (98); $E_{\gamma} = 0,068$ (90)
Торий-232	232Th	$14,1 \cdot 10^9$ лет	$E_{\alpha} = 4,01$ (77); $E_{\alpha} = 3,95$ (23)
Тритий -3	3H	12,4 года	$E_{\beta} = 0,005$
Тулий-170	170Tm	129 сут.	$E_{\beta} = 0,97$; $E_{\gamma} = 0,084$ (3,3)
Уран-234	234U	$2,45 \cdot 10^5$ лет	$E_{\alpha} = 4,77$ (72); $E_{\alpha} = 4,72$ (28); $E_{\gamma} = 0,053$ (0,2)
Уран-235 (6)	235U	$7,038 \cdot 10^8$ лет	$E_{\alpha} = 4,58$ (8); $E_{\alpha} = 4,40$ (62); $E_{\alpha} = 4,36$ (18); $E_{\alpha} = 4,22$ (6);
Уран-238	238U	$4,468 \cdot 10^9$ лет	$E_{\alpha} = 4,20$ (77); $E_{\alpha} = 4,15$ (23)
Углерод-14	14C	5730 лет	$E_{\beta} = 0,156$
Фосфор-32	32P	14,7 сут.	$E_{\beta} = 1,710$
Хлор-36	36Cl	$3,01 \cdot 10^5$ лет.	$E_{\beta} = 0,714$; E_{γ} -слаб.
Хром-51	51Cr	27,7 сут.	$E_{\gamma} = 0,320$ (10)
Цезий-134	134Cs	2,06 года	$E_{\beta} = 0,662$ (70); $E_{\gamma} = 0,796$ (99); $E_{\gamma} = 0,605$ (98)
Цезий-137	137Cs	30,0 лет	$E_{\beta} = 1,176$ (5); $E_{\beta} = 0,514$ (95); $E_{\gamma} = 0,662$ (85)
Церий-141	141Ce	32,5 сут.	$E_{\beta} = 0,581$; $E_{\gamma} = 0,145$ (48)
Церий-144	144Ce	285 сут.	$E_{\beta} = 0,31$; $E_{\gamma} = 0,134$ (11)
Цинк-65	65Zn	241 сут.	$E_{\gamma} = 1,115$ (49); $E_{\gamma} = 0,511$ (3,4)
Цинк-69	69Zn	55,6 мин.	$E_{\beta} = 0,90$
Цирконий-95	95Zr	64 сут.	$E_{\beta} = 0,396$; $E_{\gamma} = 0,724$ (49); $E_{\gamma} = 0,756$ (49)
Эрбий-169	169Er	9,4 сут.	$E_{\beta} = 0,34$; E_{γ} - слаб.

Обязательный комплект одежды для работы в РХЛ

Название элемента	Назначение	Внешний вид
Шапочка	Одежда дополнительная предназначена для защиты основной спецодежды и отдельных частей кожных покровов человека от контактного загрязнения радиоактивными и химически токсичными веществами.	
Халат	имеет высокую воздухопроницаемость, удобные, с трикотажными манжетами или эластичными резинками, завязки на шее и спине, длина до колен.	
Бахилы пластиковые	Предназначены для защиты ног и основной обуви от загрязнения радиоактивными и химически агрессивными веществами.	

Фартук ПВХ	Материал – ПВХ/полиэстер, размер 90x120 см, защита от радиоактивных вод и общих загрязнений.	
Нарукавники	Высококачественные виниловые нарукавники средней плотности без подкладки. Защита от загрязнения радиоактивными, токсичными веществами, кислотами и щелочами, спиртам, жирам, органическим растворителям, лакокрасочной продукции.	
Перчатки резиновые	Защита кистей рук, запястий, нижней половины предплечья.	



Вариант №1 Нарукавники, Полухалат, Фартук.	Вариант №2 Нарукавники, Полукомбинезон, Полухалат, Фартук	Комбинезон СЛ
--	---	-----------------------------

Одежда дополнительная предназначена для защиты основной спецодежды и отдельных частей кожных покровов человека от контактного загрязнения радиоактивными и химически токсичными веществами, а также от капельного воздействия кислот и щелочей средней концентрации при выполнении ремонтных, дезактивационных и других видов работ.

Комбинезон отрезной по линии груди, цельновыкроенный, без плечевых швов, рукава с ластовицей или без неё и бесшовная спинка.

Брючная часть, не отрезная по линии талии, без боковых швов.

Пояс на участке задних половинок стягивается настроенной с внутренней стороны эластичной лентой.

В низу рукава втачивается штрипка для его фиксации.

Ширина низа рукавов и брюк регулируется настроенной эластичной лентой.

Капюшон втачан в горловину. Капюшон по линии обтюрации регулируется настроенной эластичной лентой.

Спереди комбинезона центральная бортовая застежка молния, закрытая планкой-клапаном, фиксирующимся с помощью липучки.

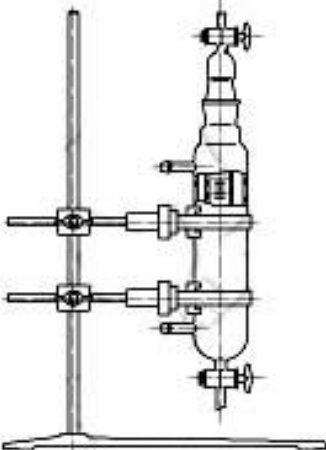
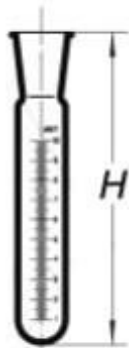
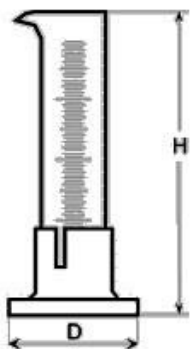
Спецодежда для защиты от радиации, спецодежда для защиты от радиоактивного излучения

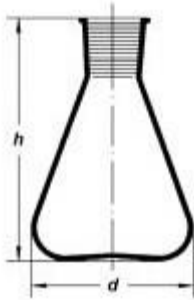
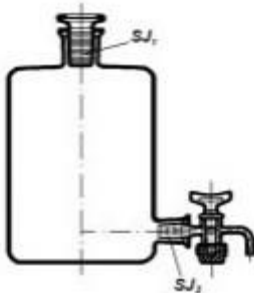


ЛЕГКИЙ ЗАЩИТНЫЙ КОСТЮМ

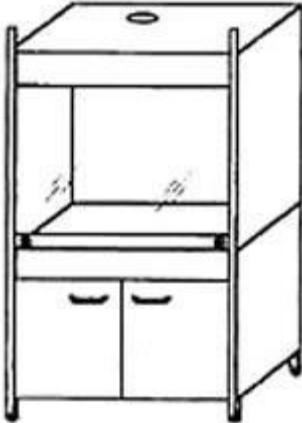
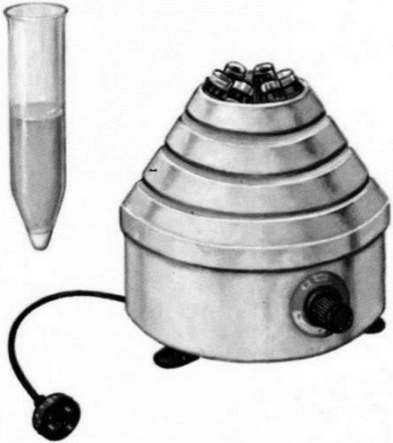
ЛЕГКИЙ ЗАЩИТНЫЙ КОСТЮМ ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ПРЕДОХРАНЕНИЯ КОЖИ, ОДЕЖДЫ И ОБУВИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ, РАДИОАКТИВНОЙ ПЫЛИ, ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ РАСТВОРОВ КИСЛОТ, ВОДЫ, ЩЕЛОЧЕЙ, МОРСКОЙ СОЛИ, ЛАКОВ, КРАСОК, МАСЕЛ, ЖИРОВ, И НЕФТЕПРОДУКТОВ, ЗАЩИТЫ ОТ ВРЕДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ДЕТАЗАЦИОННЫХ, ДЕЗАКТИВАЦИОННЫХ И ДЕЗИНФЕКЦИОННЫХ РАБОТ. КОСТЮМ СОСТОИТ ИЗ: КУРТКИ С КАПЮШОНОМ, ЦЕЛЬНОКРОЕННОГО ПОЛУКОМБИНЕЗОНА С БАХИЛАМИ, ДВУПАЛЫХ ЗАЩИТНЫХ ПЕРЧАТОК. ТКАНЬ: ПРОРЕЗИНЕННАЯ, ХИМСТОЙКАЯ. ПРОТИВОТАЗ НЕ ВХОДИТ В ДАННЫЙ КОМПЛЕКТ ХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ.

Лабораторное оборудование

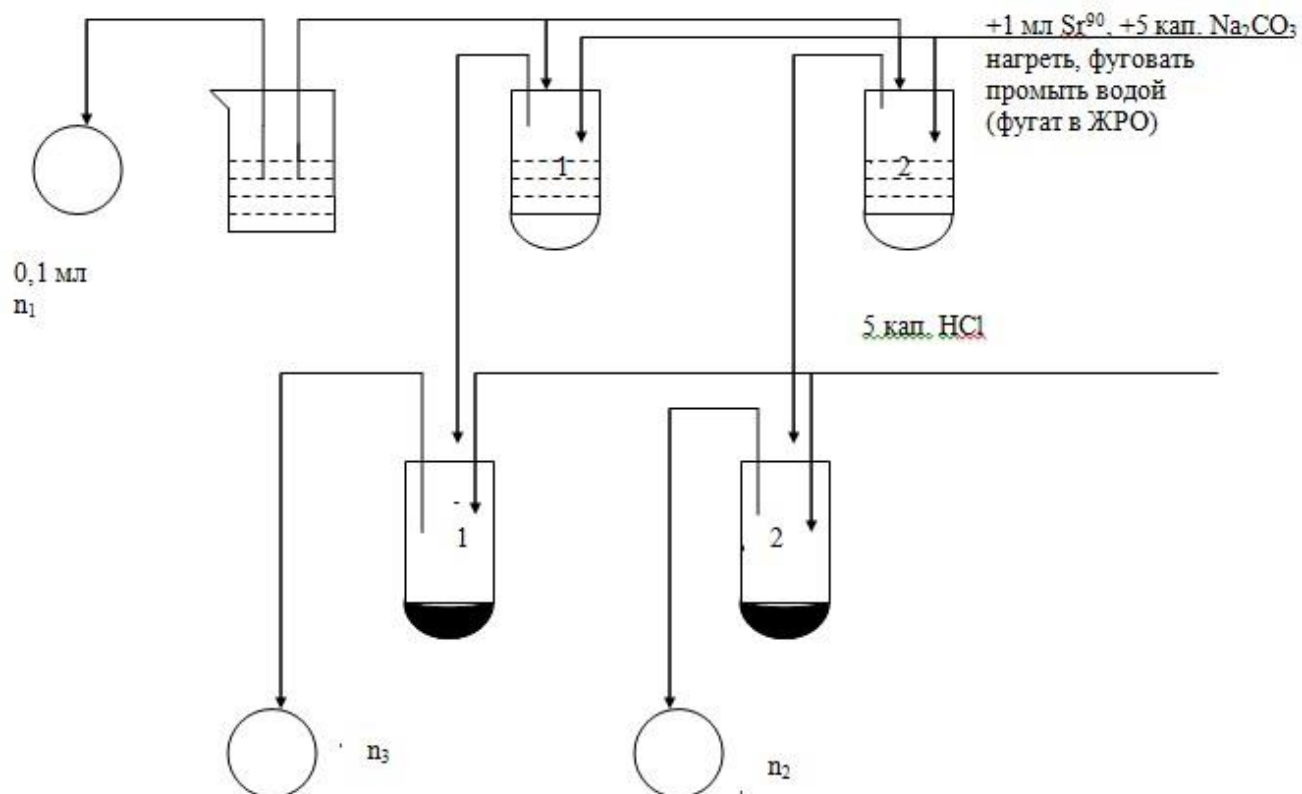
ШТАТИВ МАЙЛСА	Применяется для определения пенообразующей способности порошкообразных, пастообразных и жидких синтетических моющих средств.	
ПРОБИРКА мерная	Применяется для отмеривания определенных объемов жидкостей.	
Цилиндр носиком и пластмассовым основанием	Применяется для отмеривания определенного объема жидкости.	
Пипетка	Применяются для быстрого и точного отмеривания небольших объемов жидкостей	

Колба коническая	Лабораторная посуда типа колбы конические представляет собой тонкостенные конические емкости различной вместимости, предназначенные для использования в лабораторных условиях	
Колба мерная	Предназначены для проведения различных аналитических работ, разбавления растворов, растворения веществ в определенном объеме соответствующего растворителя.	
Чашка Петри	Для переноса подложек	
Бутыль Вульфа с краном	Для набора дистиллированной воды	
Воронки лаб.	Лабораторные воронки предназначены для переливания жидкостей из сосуда в сосуд, для фильтрования при помощи вкладного фильтра и для переноса сыпучих веществ в сосудах	

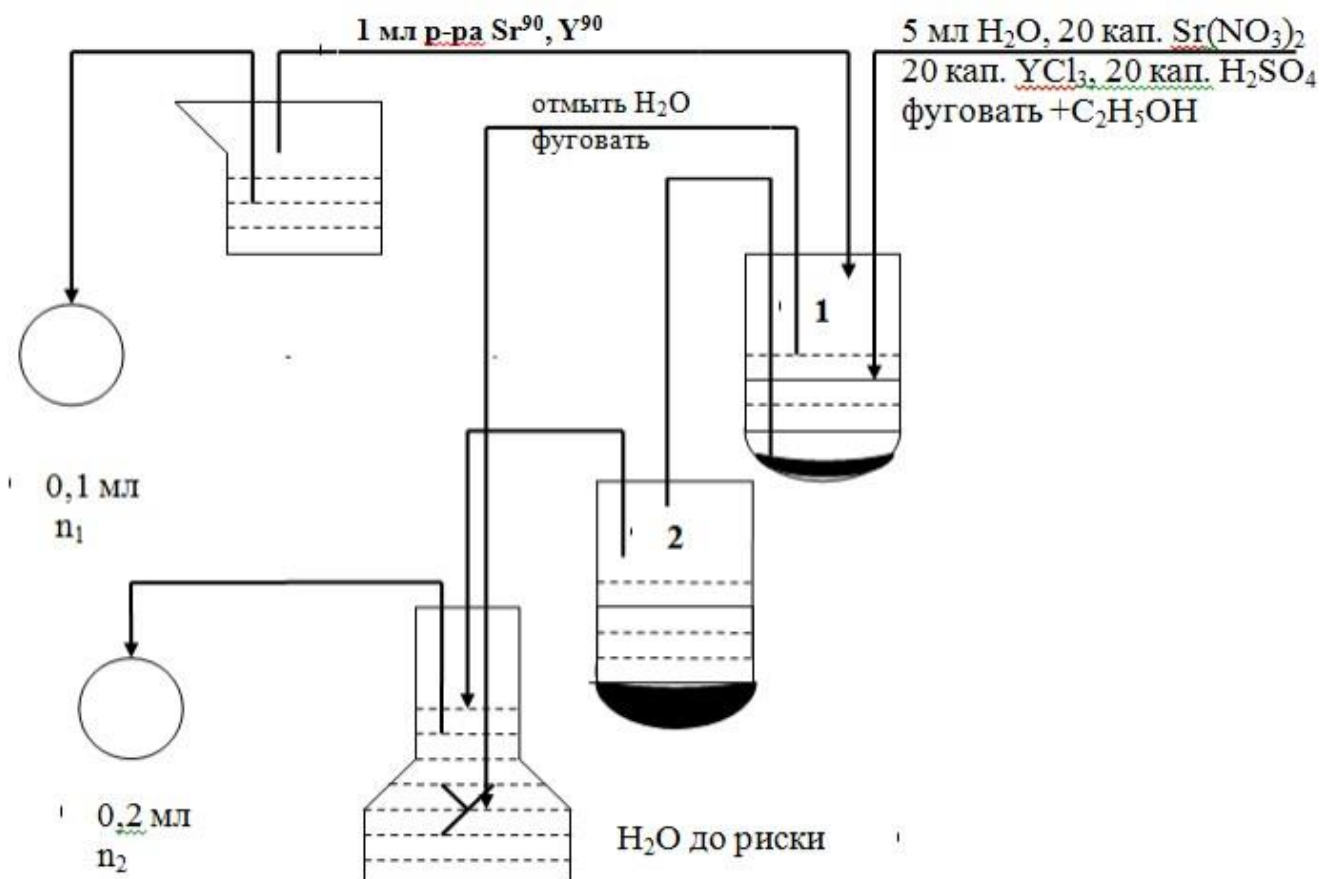
Палочка стеклянная	Применяется для перемешивания различных жидкостей, отбора небольших количеств реактивов.	
Воронка делит.	Воронка делительная цилиндрическая градуированная с пробкой служит для разделения двух несмешивающихся жидкостей.	
Пинцет	Для ликвидации контакта подложки и пробирки с руками	
Фильтр красная лента	Фильтры обеззоленные представляют собой кружки, вырубленные из фильтровальной бумаги марки ФБ, ФМ и ФС, обработанной кислотной смесью. Повышенная устойчивость при фильтровании горячих кислых, щелочных и нейтральных растворов.	

Шкаф вытяжной	Предназначен для проведения различных лабораторных работ, требующих применения вытяжной вентиляции.	
Центрифуга, центрифужная пробирка	Для интенсивного отделения осадка от жидкости	
Весы аналитические электронные AS 110/C	1 класс точности; жидкокристаллический символьный индикатор с подсветкой; внутренняя калибровка эталонной гирей.	
Баня БКЛ-1 водяная с электроподогревом	Баня лабораторная водяная БКЛ предназначена для нагревания образцов в химических стаканах, колбах или выпарительных чашках при проведении лабораторных работ. Баня может использоваться как водяная или песчаная баня.	

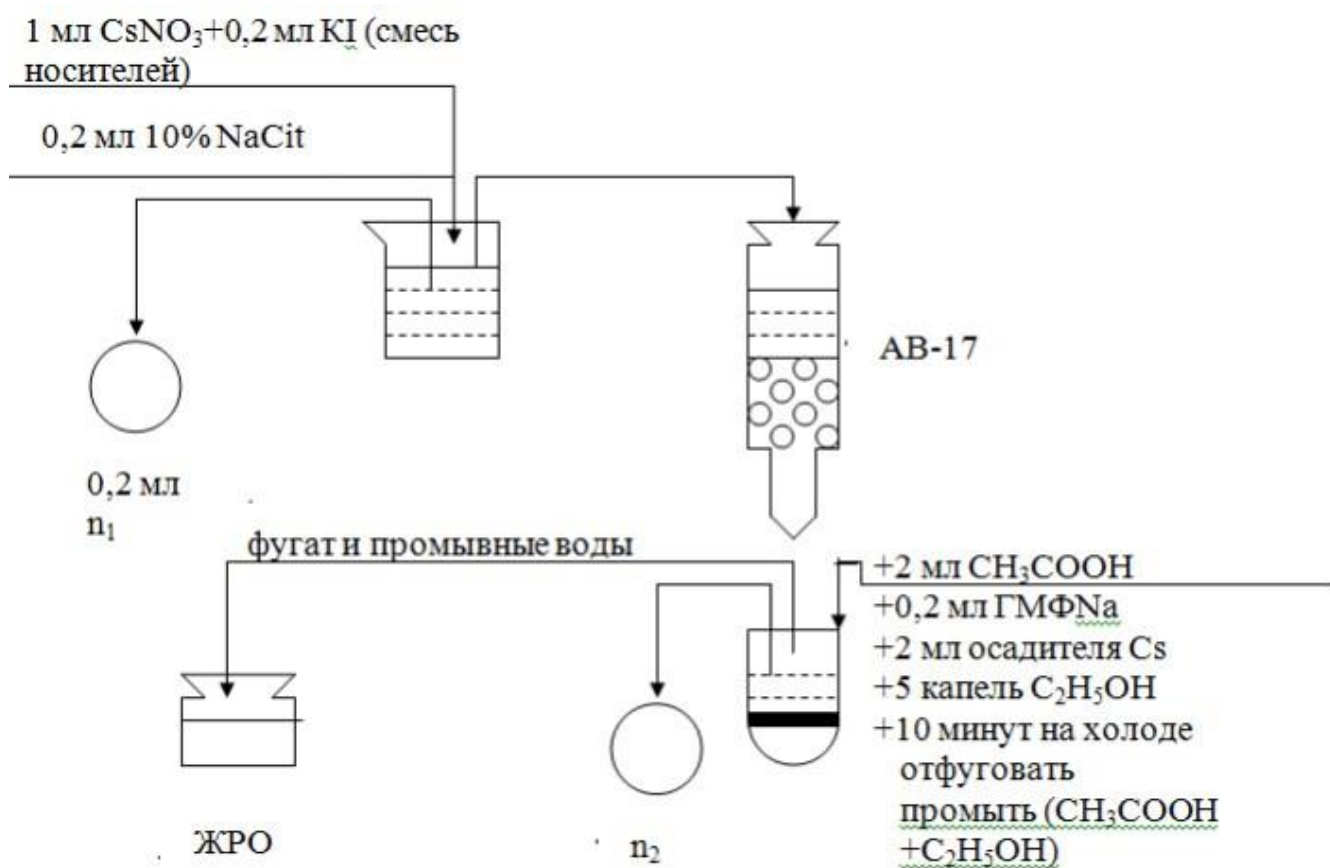
Приложение Г Схемы проведения лабораторной работы



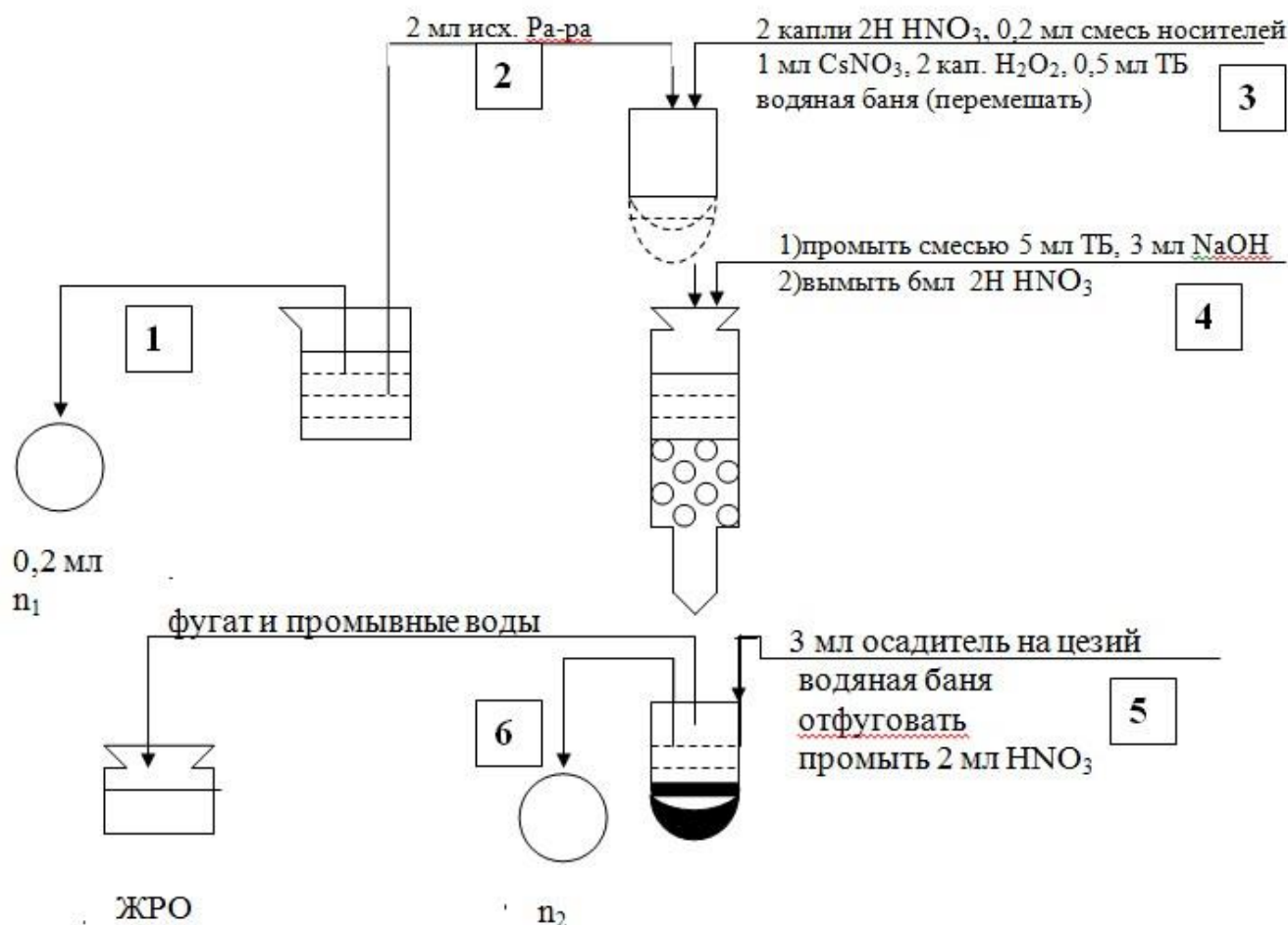
Определение радиоизотопов стронция в растворе методом изотопного разбавления



Выделение радиоизотопов Sr-90 и Y-90 соосаждением с изотопным носителем

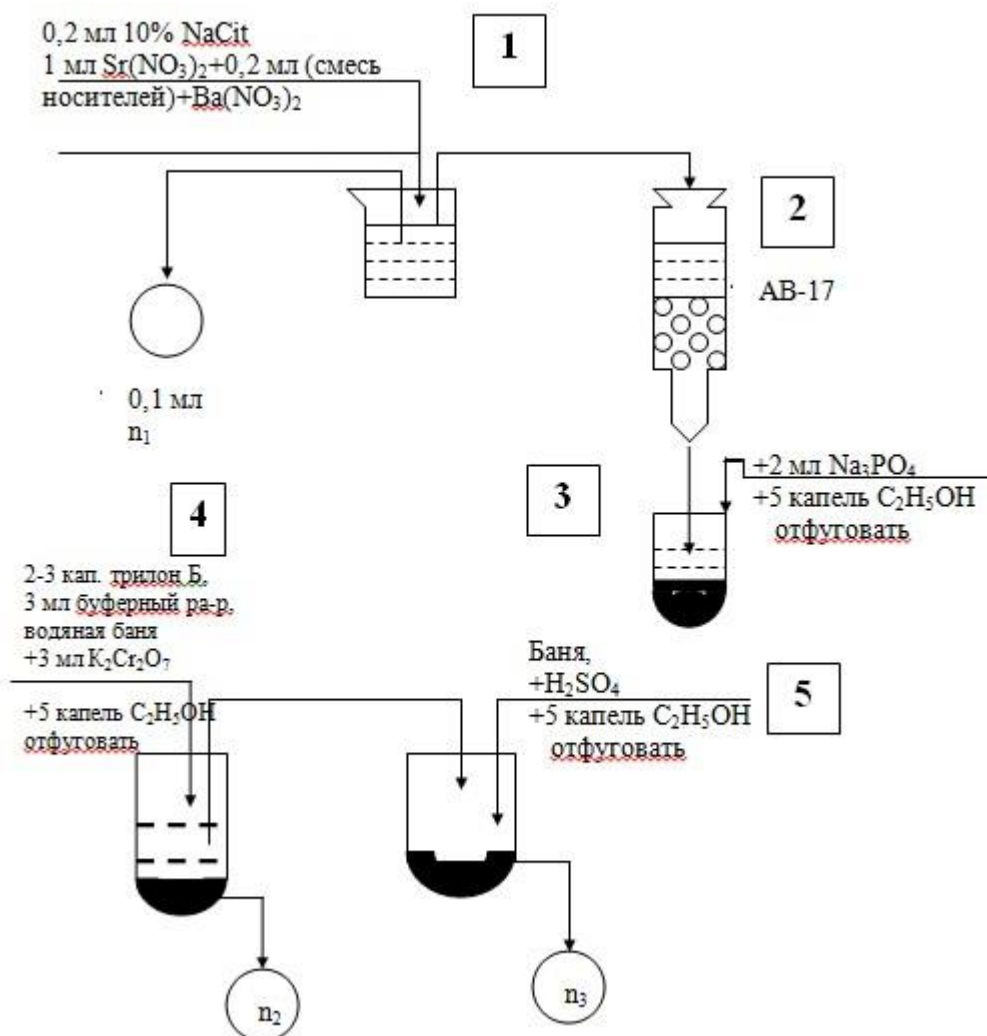


Выделение радиоизотопов цезия осаждением в виде висмутаодида цезия

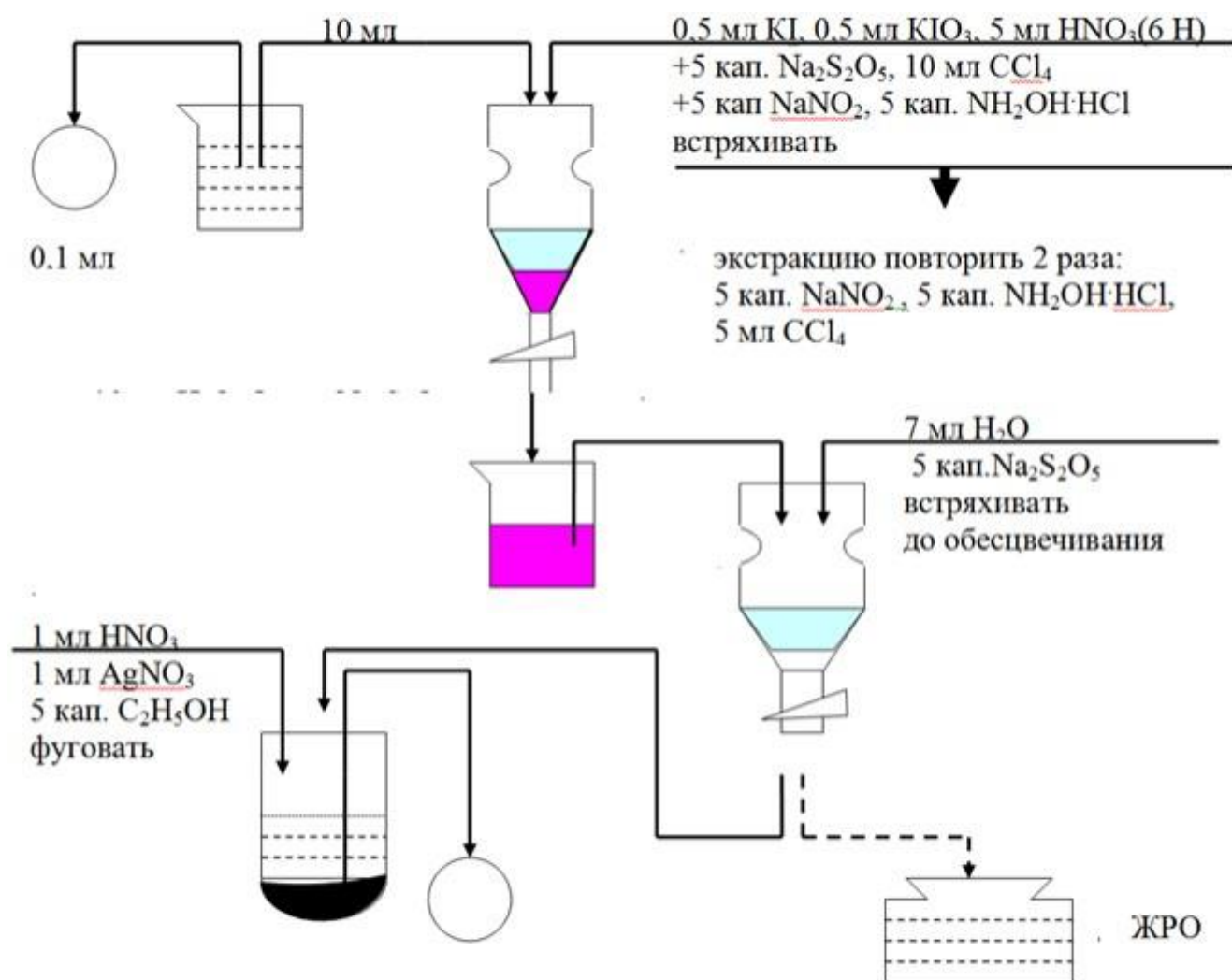


Выделение радиоизотопов цезия осаждением в виде фосформолибдата цезия

1. Отобрать 0,2 мл исходного раствора на подложку
2. Отобрать 2 мл исходного раствора в центрифужную пробирку
3. Отобрать в центрифужную пробирку 2 капли 2Н ННО₃, 0,2 мл смесь носителей, 1 мл CsNO₃, 2 кап. Н₂О₂, 0,5 мл ТБ, отнести на водяную баню (перемешать). Остывшую смесь пропустить через хроматографическую колонку.
4. Промыть колонку смесью 5 мл ТБ, 3 мл NaOH, вымыть задачу 6мл 2Н ННО₃ и собрать ее в центрифужную пробирку.
5. Добавить осадитель на цезий, центрифужную пробирку отнести на водяную баню, затем отфуговать, осадок промыть 2 мл ННО₃.
6. Фугат вылить в ЖРО, осадок поместить на подложку.



Определение стронция и бария в сложных смесях хроматным методом



Выделение радиоизотопов йода методом экстракции

Литература

1. Несмеянов А. Н. Радиохимия / А. Н. Несмеянов. — М. : Химия, 1978. — 300 с.
2. Радиохимия / В. Д. Нефедов [и др.]. - М. : Высшая школа, 1987. — 272 с.
3. Ерофеев В. А. Научно- технические принципы оценки состояния радиационно-опасных узлов ядерной энергетической установки / В. А. Ерофеев. - Севастополь, СХУЯЭиП, 2011 — 122с.
4. Руководство по практическим занятиям по радиохимии / Несмеянов Ан. Н. [и др.]. - М. : Высшая школа, 1970. — 649 с.
5. Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612–10. ОСПОРБ–99/2010 (ред. от 16.09.2013) 2013. – 87 с.
6. "Нормы радиационной безопасности (НРБ–99/2009)». Санитарные правила и нормативы : СанПиН 2.6.1.2523–09. – 2009. – 87 с.
7. Козлов В. Ф. Справочник по радиационной безопасности. – М. : Энергоатомиздат, 1991. - 352 с.
8. Коптелов Е. И. Радиометрия – ВМФ / Е. И. Коптелов, Г. И Котивец.– 1972. – 535 с.
9. Абрамов А. А. Методическое руководство к курсу. Основы радиохимии и радиоэкологии / А. А. Абрамов, Г. А. Бадун. – М., Баку, 2011. – С.140.
10. Бекман И. Н. Радиохимия. В 2 т. Т. 1. Фундаментальная радиохимия : учебник и практикум для академического бакалавриата / И. Н. Бекман. — М. : Юрайт, 2017. — 473 с.
11. Бекман И. Н. Радиохимия. В 2 т. Т. 2. Прикладная радиохимия и радиационная безопасность : учебник и практикум для академического бакалавриата / И. Н. Бекман. — М. : Юрайт, 2017. — 386 с.
12. Бекман, И. Н. Атомная и ядерная физика: радиоактивность и ионизирующие излучения : учебник для вузов / И. Н. Бекман. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Юрайт, 2022. — 493 с.

Учебное издание

Черкашина Наталья Игоревна

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
РАДИОХИМИИ.
Практическое руководство
по подготовке и проведению
радиохимического и радиометрического анализа**

Учебное пособие

В авторской редакции

Изд. № 79/2023. Объем 9,5 п.л. Усл. печ. л. 8,83. Уч.-изд. л. 9,31.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»