

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Раздел 1. Учебная дисциплина «Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений»

Практические задания

1. Человек находится в течение года на загрязненной территории с уровнем гамма-радиации 100 мкР/час. За счет вдыхания воздуха, содержащего радон, легкие человека получают поглощенную дозу 0,01 Гр в год. За счет накопления в костях стронция-90 эквивалентная доза, приходящаяся на красный костный мозг, составляет 0,1 бэр за год. Рассчитайте годовую эффективную эквивалентную дозу, которую получит человек в этих условиях.

Решение

В указанных условиях человек получает внешнее и внутреннее облучение. Эффективная эквивалентная доза будет равна сумме доз внешнего и внутреннего облучения. Поглощенная доза ($D_{\text{п}}$) за счет внешнего облучения составит:

$$100 \text{ мкР/час} \times 365 \text{ с/г} \times 24 \text{ час/с} \times 0,97 \text{ рад/Р} = 0,85 \text{ рад/г} = 0,0085 \text{ Гр/г},$$

а эквивалентная доза внешнего облучения тогда будет:

$$H_{\text{внеш}} = D_{\text{п}} \times K = 0,0085 \text{ Гр/г} \times 1 \text{ Зв/Гр} = 0,0085 \text{ Зв/г}.$$

Доза внутреннего облучения рассчитывается по формуле:

$H_{\text{внутр}} = H_{\text{л}} \times W_{\text{л}} + H_{\text{км}} W_{\text{км}}$, где $H_{\text{л}}$ и $H_{\text{км}}$ – эквивалентные дозы на легкие и костный мозг соответственно,

W – коэффициенты радиочувствительности легких и красного костного мозга.

$$H_{\text{внутр}} = H_{\text{л}} \times W_{\text{л}} + H_{\text{км}} W_{\text{км}} = 0,01 \text{ Гр/г} \times 20 \text{ Зв/Гр} \times 0,12 + 0,1 \text{ бэр/г} \times 0,013 \text{ Зв/бэр} \times 0,2 = 0,024 \text{ Зв/г} + 0,0002 \text{ Зв/г} = 0,0242 \text{ Зв/г}$$

Тогда эффективная эквивалентная доза ($H_{\text{эф}}$) составит:

$$H_{\text{эф}} = H_{\text{внеш}} + H_{\text{внутр}} = 0,0085 \text{ Зв/г} + 0,0242 \text{ Зв/г} = 0,0327 \text{ Зв/г}.$$

2. Какую эквивалентную дозу облучения получит оператор за рабочий день, если точечный источник Со-60 активностью 1 кюри расположен в контейнере из железа толщиной 1 см на расстоянии 1 метр от оператора? Облучение равномерное в изотропной геометрии. Гамма постоянная – 12,85 (Р см²)/(ч мКи), коэффициент ослабления железа – 0,268 см⁻¹, фактор накопления (В) – 1,45.

3. Рассчитайте толщину слоя свинца и воды, который будет ослаблять интенсивность гамма-излучения кобальта-60 в 10 раз, если коэффициенты ослабления равны 0,658 и 0,0631 см⁻¹ соответственно.

4. Рассчитайте плотность потока энергии γ -излучения, создаваемого радиоактивным источником кобальта-60 активностью 1 кБк на расстоянии 1 метр от источника.

Литература

1. Регистрация ионизирующих излучений : учебное пособие / И.Р. Гулаков. – Минск : Вышэйшая школа, 2021. – 287 с.
2. Иванов В.И. Курс дозиметрии: Учебник для вузов/4-е изд., перераб.и доп.-М.: Энергоатомиздат, 1988– 400 с.

Раздел 2. Учебная дисциплина «Радиационная химия»

1. Рассчитайте, при какой поглощенной дозе (СИ), концентрация ионов Fe^{3+} в растворе увеличится на 10^{-4} моль/литр при облучении ферросульфатного дозиметра? Ответ выразить в единицах СИ. Как изменится необходимая доза при удалении кислорода из раствора? Радиационно-химический выход ионов Fe^{3+} для насыщенных воздухом растворов – $G_{\text{Fe}^{3+}} = 15,5 \frac{\text{молек}}{100 \text{ эВ}}$; плотность дозиметрической системы – $1,024 \text{ г/см}^3$;

Решение:

$$D = \frac{9.65 \times 10^6 \times C}{\rho \times G_{\text{Fe}^{3+}}} = \frac{9.65 \times 10^6 \times 10^{-4} \text{ М}}{1.024 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \times 15.5 \frac{\text{молек}}{100} \text{ эВ}} = 60,8 \text{ Гр}$$

Как изменится необходимая доза при удалении кислорода из раствора?

При удалении кислорода из раствора выход ионов Fe^{3+} снижается примерно в 2 раза, а следовательно, примерно 2 раза вырастет и доза облучения.

2. Пусть при облучении водного раствора вещества «А» ($\rho = 1 \text{ г/см}^3$) происходит образование вещества «Б» с радиационно-химическим выходом 1 молекула/100 эВ. Считать что вещество «А» взято в избытке. Мощность дозы принять равной 4.5 рад/с. Рассчитать время облучения, за которое произойдет образование 10^{-3} моль вещества «Б» в 1 литре раствора. Время выразить в минутах.

3. Напишите схемы реакций протекающих на химической стадии радиолиза чистой воды. Известно что чистая вода в изолированных условиях практически не разлагается, приведите схемы реакций объясняющие это.

4. В чем заключаются особенности протекания радиационно-химических процессов в газовой фазе?

5. Что общего имеет радиационная химия твёрдого тела с радиационной химией газов и жидкостей? Основные отличия?

Литература

1. Пикаев А.К. Современная радиационная химия, 1-3 т. М.: Наука, 1985 – 1989 гг.

Раздел 3. Учебная дисциплина «Инструментальные и хроматографические методы анализа»

Ситуационные задания

1. При определении калия в разбавленных растворах с помощью ИСЭ исследователь решил заменить насыщенный (примерно 4М) раствор KCl раствором NaCl соответствующей концентрации. Допустима ли такая замена? Как она повлияет на величину э. д. с., наклон электродной функции, на достоверность результатов измерения? Ответ мотивируйте. Подвижности ионов K^+ , Cl^- , Na^+ составляют: (8,00; 8,11; 5,47) $10^{-9} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1} \text{ Дж}^{-1} \text{ моль}$.

Решение

Такая замена недопустима, поскольку диффузионный потенциал на границе электрод сравнения / исследуемый раствор будет непостоянным. Из уравнения Гендерсона следует, что для элиминирования диффузионного потенциала необходимо использовать равнопереносящий электролит с высокой концентрацией во внутреннем растворе электрода сравнения. Равнопереносящим является тот электролит, у которого подвижности катиона и аниона равны (или близки). Раствор KCl близок к равнопереносящему, в отличие от NaCl (у которого подвижности катиона и аниона заметно отличаются), следовательно, диффузионный потенциал будет непостоянным.

2. С целью снижения мешающего влияния KCl, вытекающего из электрода сравнения, на потенциал ИСЭ, концентрацию KCl в электроде сравнения снизили до 0,01М. Как повлияет подкисление исследуемого раствора соляной кислотой до pH 2, или подщелачивание раствором NaOH до pH 12 на величину э. д. с., если ионы H^+ и Na^+ не оказывают влияния на потенциал K^+ -СЭ? Концентрация KCl в исследуемом растворе равна 0,001М. Подвижности ионов K^+ , H^+ , Cl^- , Na^+ , OH^- равны (8,00; 37,6; 8,11; 5,47; 20,6) $10^{-9} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1} \text{ Дж}^{-1} \text{ моль}$. Изменением коэффициентов активности ионов калия при подкислении (подщелачивании) раствора пренебречь.

3. Какой из детекторов Вы выбрали бы для анализа методом газовой хроматографии каждой из следующих проб, которые могут содержать следующие соединения:

1) H_2 , O_2 , N_2 , NO , NO_2 , SO_2 , CO , CO_2 , CH_4 .

2) гексахлорбензол, динитробензол, тетраэтилсвинец, трихлоруксусная кислота, ацетилацетон

3) смесь ароматических и алифатических углеводородов, включая алканы, алкены и алкины.

4. Рассеяние света без изменения длины волны может использоваться в качестве аналитического сигнала. При этом может измеряться интенсивность света, рассеянного средой под некоторым углом (обычно 90°), либо ослабление интенсивности светового потока при прохождении через рассеивающую среду. В первом случае метод называется нефелометрическим, во втором – турбидиметрическим. Оба метода находят применение для анализа мутных сред. Дайте сопоставительную характеристику этих методов в плане доступности оборудования, точности и чувствительности.

5. Дайте сравнительную характеристику флуоресцентного и молекулярно-абсорбционного анализа по параметрам чувствительности, селективности, универсальности, простоты и доступности оборудования, точности, диапазона измеряемых концентраций.

6. Определение марганца и хрома при совместном присутствии основано на их предварительном окислении до перманганата- и дихромат-ионов с помощью персульфата аммония и их дальнейшем спектрофотометрическом определении. Однако при определении концентрации ионов методом калибровочного графика получились неверные результаты. Предложите способ одновременного определения перманганата и дихромата при совместном присутствии (подсказка: спектры поглощения перманганата и дихромата в видимом диапазоне излучения частично перекрываются).

Литература

1. Аналитическая химия. Методы разделения веществ и гибридные методы анализа : учебное пособие для вузов / А.А. Ганеев, И.Г. Зенкевич, Л.А. Карцова [и др.] ; под ред. Л.Н. Москвина. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 332 с.

2. Аналитическая химия. Методы идентификации и определения веществ : учебник для вузов / М.И. Булатов, А.А. Ганеев, А.И. Дробышев [и др.] ; под ред. Л.Н. Москвина. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 584 с.

3. Методы и достижения современной аналитической химии: учебник для вузов / Г.К. Будников, В.И. Вершинин, Г.А. Евтюгин [и др.] ; под ред. В.И. Вершинина. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 588 с.

4. Жебентяев, А.И. Аналитическая химия. Хроматографические методы анализа : учебное пособие / А.И. Жебентяев. – М. : ИНФРА-М, 2021. – 206 с.

5. Жебентяев, А. И. Аналитическая химия. Инструментальные методы анализа : учеб. пособие / А. И. Жебентяев, А. К. Жерносек, И. Е. Талуть. – Минск : Новое знание,

Раздел 4. Учебная дисциплина «Водоподготовка в ядерной энергетике»

Ситуационные задания

1. Идея применения воды сверхкритического давления в водоохлаждаемых реакторах обсуждается с начала 60-х годов прошлого столетия. Впервые вопрос об использовании теплоносителя с закритическими параметрами применительно к канальным ядерным реакторам был поднят в докладе Н.А.Доллежала и др. на 3-й Международной конференции ООН по использованию атомной энергии в мирных целях. Впоследствии был предложен вариант корпусного реактора ВВЭР-СКД. Охарактеризуйте его преимущества.

Решение

- Жесткий (быстрорезонансный) спектр нейтронов, позволяющий достичь высокого коэффициента воспроизводства топлива (около 1), обеспечить использование ^{238}U , выжигание радиоактивных отходов.
- Увеличение коэффициента полезного действия цикла до 44 – 45% вместо существующих на АЭС 33 – 34%
- Уменьшение расхода теплоносителя через активную зону, связанное с возможностью увеличения подогрева теплоносителя в активной зоне от 280 до 540°C, т.е. на 270°C по сравнению с подогревом в ВВЭР – 30 – 35°C. Уменьшение расхода снижает затраты энергии на прокачку теплоносителя, уменьшает количество петель (до двух), сокращает проходные сечения трубопроводов (в 2,5 – 3,0 раза), размеры запорнорегулирующей аппаратуры, мощности и главных циркуляционных насосов.
- Исключается проблема водородной безопасности при использовании оболочек ТВЭЛов из никелевых сплавов или нержавеющей стали, снимается необходимость в соответствующих компонентах этой системы (датчики водорода, рекомбинаторы и пр.)
- Прямоточная схема АЭС сокращает количество оборудования, позволяет отказаться от парогенераторов – оборудования второго контура, компенсаторов давления, насосов второго контура, сепараторов.
- Уменьшается металлоемкость РУ почти в два раза по сравнению с существующими ВВЭР, сокращаются объем и сроки строительных работ.
- Уменьшается объем защитной оболочки, что также снижает капитальные затраты и сроки строительства

2. В процессах первапорации модуль разделен мембраной на две камеры. Охарактеризуйте, что находится в каждой из камер, по какому механизму происходит мембранное разделение и для чего в ядерной энергетике может быть использован метод первапорации.

3. Коагуляция – это физико-химический процесс укрупнения коллоидных частиц в крупные агрегаты (флокулы), который завершается выделением вещества в осадок, удаляемый осаждением и фильтрованием. Коагуляция является одним из этапов предварительной обработки воды для удаления коллоидно-дисперсных примесей. Эффективность коагуляции повышается при подщелачивании или известковании. Поясните, с чем это связано.

4. Заместитель генерального директора по научной работе ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» Георгий Карзов совместно с сотрудниками Я.И. Штромбахом и А.В. Дубом в 2013 году были удостоены Государственной премии в области науки и технологий за создание нового класса материалов для атомных реакторов. Поясните, в чем заключается уникальность таких материалов.

Литература

1. Воронов В.Н., Ларин Б.М., Сенина В.А. Химико-технологические режимы АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами. – М.: Изд-во МЭИ, 2022. – 390 с.
2. Шачнева Е.Ю. Водоподготовка и химия воды: учебно-метод. пособие/Е.Ю. Шачнева. СПб.: М.: Краснодар: Лань, 2022.–102 с.
3. Физико-химические процессы в водном теплоносителе электростанций: учебник/ Т.И.Петрова, В.Н.Воронов, Ф.В.Дяченко. – М.: Изд-во МЭИ, 2021. – 384 с.
4. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС: учебно-метод. пособие/ В.А. Чиж и др. Мн.:БНТУ.– 2015 г. – 105 с.