

Основы радиохимии и радиологии

3 курс ХФ

Первое занятие

О проведении практических занятий.

I. Практикум (4 академических часа) 1 раз в 2 недели. Вам необходимо выполнить 6 (7) практических (лабораторных) работ и отчитаться по их выполнению. Кроме того, во время практикума будут рассматриваться некоторые разделы лекционного курса с целью подготовки к контрольным работам

II. Оценка знаний студентов 3 курса («Рейтинг» 2020/21 г.). Этот документ перешлем на электронный адрес группы.

III. Обязательный инструктаж по технике безопасности будет проведен непосредственно перед проведением первой практической работы «offline»

II. Учебно-методическое обеспечение дисциплины. Основная литература

- 1. Презентации лекций по курсу «Основы радиохимии и радиозэкологии».**
- 2. Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков Радиоактивность. М.: Лань. 2013, 304 с.**
- 3. Основы радиохимии и радиозэкологии. Практикум Под ред. М.И. Афанасова. М.: ЗАО «Принт-ателье», 2016, 112 с.**
4. В.Б. Лукьянов, С.С. Бердоносков, И.О. Богатырев, К.Б. Заборенко, Б.З. Иофа. Радиоактивные индикаторы в химии. Основы метода. М.: Высшая школа, 1985, 287 с.
5. Г.А. Бадун, А.В. Гопин, В.Г. Петров, М.Г. Чернешева. Основы радиохимии и радиозэкологии. Пособие по подготовке к экзамену. М.: Химический факультет МГУ, 2018, 137 с.
6. М.И. Афанасов, А.А. Абрамов, С.С. Бердоносков. Основы радиохимии и радиозэкологии. Сборник задач. М.: типография МГУ, 2012, 116 с.

Книги №№ 2-5 можно получить в БУПе МГУ или в библиотеке химфака МГУ.

Электронные версии книг №№ 3-6 есть на странице кафедры радиохимии на сайте химического факультета МГУ

Дополнительная литература

И.Н. Бекман. Радиохимия, т. 1 и 2, М.: Юрайт, 2014 (книга доступна в электронной библиотечной системе biblio-online.ru)

И.Хала, Дж. Навратил. Радиоактивность, ионизирующее излучение и ядерная энергетика. Пер. с англ./под ред. Б.Ф. Мясоедова, С.Н. Калмыкова. М.: ЛКИ, 2013. 432 с.

Детектор (индикатор) ионизирующего излучения – объект или устройство, позволяющее обнаружить наличие ионизирующего излучения за счет непосредственного взаимодействия этого излучения с веществом детектора. Детекторы также служат для определения энергии и других характеристик ионизирующих излучений.

Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом

Ионизация среды (газ, жидкость, твердое тело), возникновение электронов и ионов (первичных или вторичных). Возникновение импульса электрического тока если среда находится в электрическом поле.

Ионизационные детекторы:
ионизационные камеры, газоразрядные, полупроводниковые, pin-диодные,

Возбуждение атомов среды с последующей релаксацией системы с испусканием квантов фотонного излучения - сцинтилляции

Сцинтилляционные детекторы:
жидкие, твердые, газовые, детекторы Черенковского излучения и тд.

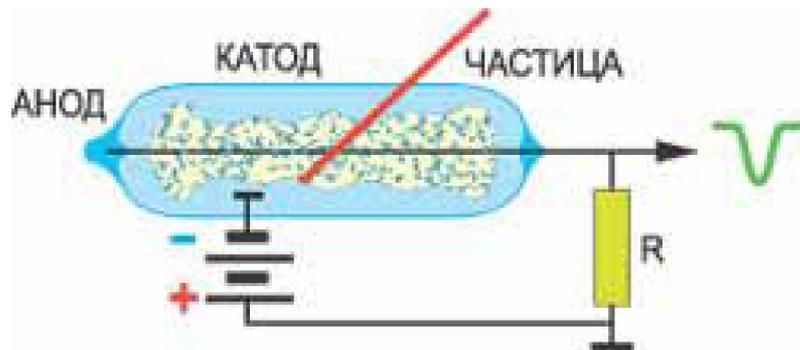
Первичные или вторичные химические реакции, приводящие к визуализации частицы или ее трека

Разнообразные трековые детекторы, компьютерная и авто-радиография

При поглощении ионизирующего излучения также возможно изменение температуры объекта – основа калориметрических детекторов

СЧЕТЧИК ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА (ГМ)

Счётчик Гейгера (или счётчик Гейгера-Мюллера (ГМ)) – газонаполненный счётчик заряженных элементарных частиц, электрический сигнал с которого усилен за счёт вторичной ионизации газового объёма счётчика и не зависит от энергии, оставленной частицей в этом объёме. **Изобретён в 1908 г. Х. Гейгером и Э. Резерфордом, позднее усовершенствован Гейгером и В. Мюллером.**



РАБОТА 1. ИЗМЕРЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ С ПОМОЩЬЮ СЧЕТЧИКОВ ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА

В работе используются цилиндрические самогасящиеся галогенные счетчики Гейгера-Мюллера типа СТС, рабочий объем заполнен смесью аргона (основной компонент) и хлора или паров брома (гасящая добавка). Стенки цилиндра являются катодом, а натянута по оси счетчика тонкая металлическая нить – анодом. На электроды подается рабочее напряжение 400÷450 В. Поскольку диаметры электродов различаются между собой в сотни раз, напряженность поля вблизи нити на 2-3 порядка выше, чем около стенки цилиндра.

Рабочее напряжение обеспечивает появление так называемого «прерываемого коронного разряда». Электроны и ионы, образовавшиеся как при прохождении ядерной частицы (фотона) через рабочий объем детектора, так и на следующих стадиях развития разряда, ускоряются электрическим полем и приобретают энергию, достаточную для ионизации и возбуждения большого числа атомов. **В рабочем объеме детектора образуется до 10^9 пар ионов, причем их число не зависит от первичной ионизации.**

Электроны быстро (менее, чем за 10^{-6} с) собираются на аноде, что вызывает импульс напряжения на сопротивлении R и позволяет зарегистрировать частицу. При этом вокруг анода остается «чехол» малоподвижных положительных ионов и напряженность поля уменьшается настолько, что разряд прерывается, а следующая ядерная частица не может вызвать новых лавин.

Время восстановления «работоспособности» детектора определяется скоростью дрейфа положительных ионов и составляет примерно 10^{-4} с, что соответствует минимальному интервалу времени между двумя последовательными частицами, которые могут быть зарегистрированы раздельно (разрешающее время детектора τ).

Если счетчик заполнен только Ar, то после восстановления напряжения на электродах коронный разряд развивается уже без участия ядерной частицы. Нейтрализация положительных ионов Ar на катоде и (или) фотоионизация материала стенок приводит к появлению свободных электронов, которые порождают новые ионные лавины и, соответственно, ложный импульс. Через $\sim 10^{-4}$ с цикл повторяется, возбуждается прерывистый коронный разряд и детектор становится нечувствителен к ядерным излучениям.

Для устранения ложных разрядов в рабочий объем вводят вещества, молекулы которых имеют существенно более низкий потенциал ионизации, чем атомы Ar.

При столкновениях ионы аргона передают заряд и энергию возбуждения молекулам примеси. Дезактивация этих возбужденных молекул происходит, в основном, безизлучательно и сопровождается их диссоциацией. Гасящие добавки резко уменьшают вероятность появления ложных импульсов и исключают возможность «неуправляемого» коронного разряда.

Выполнение работы

1. Измерение фона

Определение скорости счета фона проводят в тех же условиях, что и измерения радиоактивности препарата, т.е. при закрытой крышке защитного домика. Проводят 3 измерения продолжительностью $t = 50$ с (или 1 мин), заполняют таблицу.

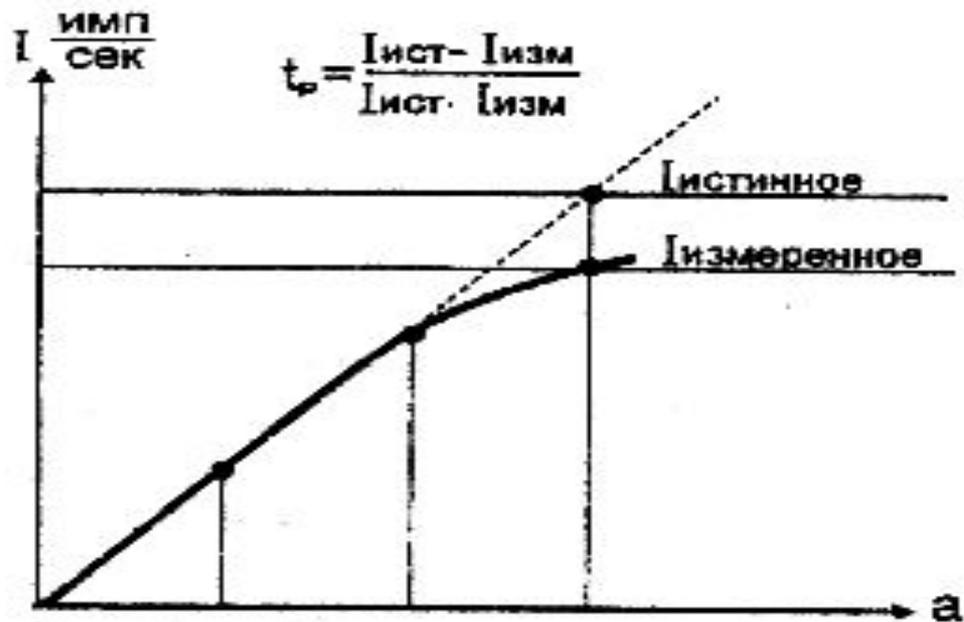
2. Проверка стабильности работы аппаратуры

Статистический характер радиоактивного распада дает возможность проверить стабильность (надежность) работы регистрирующего прибора. С этой целью в строго одинаковых условиях проводят 10 последовательных измерений N_i продолжительностью $t = 50$ с (или 1 мин) для препарата со скоростью(*) счета $1000 \div 3000$ имп/мин.

$$\chi_p^2 = (n-1) \frac{s_I^2}{\sigma_{n(I)}^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{\bar{I} / t}$$

3. Определение разрешающего времени

Для определения разрешающего времени измеряют скорость счета $I_{c,i}$ шести стандартных препаратов с известной абсолютной активностью A_i .



РАБОТА 2. **Определение абсолютной активности методом фиксированного телесного угла**

Регистрируемая активность I связана с абсолютной активностью A образца, содержащего нуклид с простой схемой распада, соотношением

$$I = \varphi A = [\eta (p \varepsilon k S q)] A$$

Эффективностью детектора (ε) к данному виду излучения - вероятность того, что частица (квант), передав часть своей энергии атомам рабочего вещества детектора, вызовет в нем процессы, позволяющие зарегистрировать эту частицу или квант. **Коэффициент эффективности ε** - отношение числа частиц (квантов) I_ε , вызвавших такие процессы, к общему числу частиц (квантов) I_d , проникших в рабочий объем детектора ($\varepsilon = I_\varepsilon / I_d$)

Коэффициент ослабления k учитывает потери излучения на пути от источника до **рабочего вещества** детектора.

Ослабление потока β -частиц сравнительно тонкими поглотителями ($d \leq 0,3 R_{max}$) описывается эмпирической экспоненциальной зависимостью. В этом случае коэффициент k можно определить по формуле:

$$k = \exp(-\mu d)$$

где μ - массовый коэффициент ослабления в $\text{см}^2/\text{г}$ (табл. П.4); $d = d_1 + d_2$ - суммарная толщина слоя воздуха и окна в $\text{г}/\text{см}^2$

Поправка на схему распада p . Доля излучения данного вида (или данной энергии) в спектре испускаемых ядром частиц (квантов) называется поправкой на схему распада p . Значения коэффициентов p_i приведены в таблицах изотопов (табл. П.1)

Геометрический коэффициент η учитывает потери излучения, обусловленные взаимным расположением препарата и счетчика. Равен отношению числа частиц (квантов) I_η , испускаемых препаратом, находящимся на бесконечно тонкой подложке, в направлении чувствительного объема детектора к общему числу частиц (квантов).

Коэффициент самоослабления S учитывает поглощение (рассеяние) ядерного излучения в самом радиоактивном веществе

Коэффициент обратного рассеяния q – отношение числа частиц I_{qS} , испускаемых в направлении детектора с поверхности препарата, находящегося на подложке конечной толщины, к числу частиц I_S , испускаемых в направлении детектора с поверхности того же препарата при бесконечно тонкой подложке ($q = I_{qS} / I_S$)

Определение абсолютной активности препарата $^{90}\text{Sr}(^{90}\text{Y})$

$$A_x = \frac{I_x}{I_{\text{эм}}} \frac{\sum_j p_j \varepsilon_j k_j S_j q_j}{\sum_i p_i \varepsilon_i k_i S_i q_i} A_{\text{эм}}$$

$$A_x = A_{\text{Sr}(Y)} = \frac{I_{\text{Sr}(Y)}}{I_{\text{Tl}}} \cdot \frac{0,98 \cdot k_{\text{Tl}}}{(k_{\text{Sr}} + k_{\text{Y}})} A_{\text{Tl}}$$

Измерили радиоактивность препарата $^{58}\text{Co}^{35}\text{SO}_4$ с помощью торцового счетчика Гейгера-Мюллера с окном толщиной 4 мг/см^2 . Скорость счета этого препарата составила 6100 имп/мин при фоне 20 имп/мин . Определите суммарную радиоактивность препарата, если разрешающее время счетчика $1 \cdot 10^{-4} \text{ с}$, диаметр окна детектора 2 см , расстояние от препарата до счетчика 5 см . Препарат без носителя (тонкий), покрыт алюминиевой фольгой толщиной $0,01 \text{ см}$. При расчете отражением излучения от подложки можно пренебречь. Плотность алюминия $2,7 \text{ г/см}^3$. Некоторые характеристики радионуклидов и их излучений приведены в таблице

Радионуклид	Тип распада	Период полураспада	$E_{\beta, max}$, МэВ	R_{max} , Г/см ²	μ , см ² /Г
^{35}S	β^- (100%)	87 сут	0,167	0,032	210
^{58}Co	β^- (15%) ЭЗ (85%)	71 сут	0,475	0,147	43

Решение. Поправка на разрешающее время

$$[I_c = (6100)/60 = 101.67 \text{ (имп/с)}]$$

$$I = [I_c / (1 - I_c \cdot \tau)] - I_{\text{фон}} = [101.67 / (1 - 101.67 \cdot 10^{-4})] - 0.33 = 102.38 \text{ (имп/с)}$$

$$\text{геометрический коэффициент } \eta = \pi \cdot 1^2 / 4\pi \cdot 5^2 = 0.01$$

$$\text{значение } d = d_{\text{Al}} + d_{\text{возд.}} + d_{\text{окно}} = 0.01 \cdot 2.7 + 0.0013 \cdot 5 + 0.004 = 0.0375 \text{ г/см}^2$$

^{35}S $d > R_{\text{max}}$. **β -частицы ^{35}S не регистрируются**

$$^{58}\text{Co} \quad k = \exp(-\mu d) = \exp(-43 \cdot 0.0375) = 0.2; \quad (d/R_{\text{max}}) < 0.3.$$

$$I = I_{\text{Co}} = (\eta \cdot p \cdot k \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1) \cdot A = (0.01 \cdot 0.15 \cdot 0.2) \cdot A = 102.38; \quad A_{\text{Co}} = 341267 \text{ (Бк)}$$

$$N_{\text{S}} = N_{\text{Co}}; \quad N_{\text{Co}} = A/\lambda = 3.0915 \cdot 10^{12}$$

$$A_{\text{S}} = \lambda N = [\ln 2 / (87 \cdot 24 \cdot 3600)] \cdot 3.0915 \cdot 10^{12} = 285077 \text{ (Бк)}$$

$$A_{\text{препарат}} = 341267 + 285077 = 626344 \text{ (Бк)}$$