

# 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](http://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  $\tau$ ).

**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.

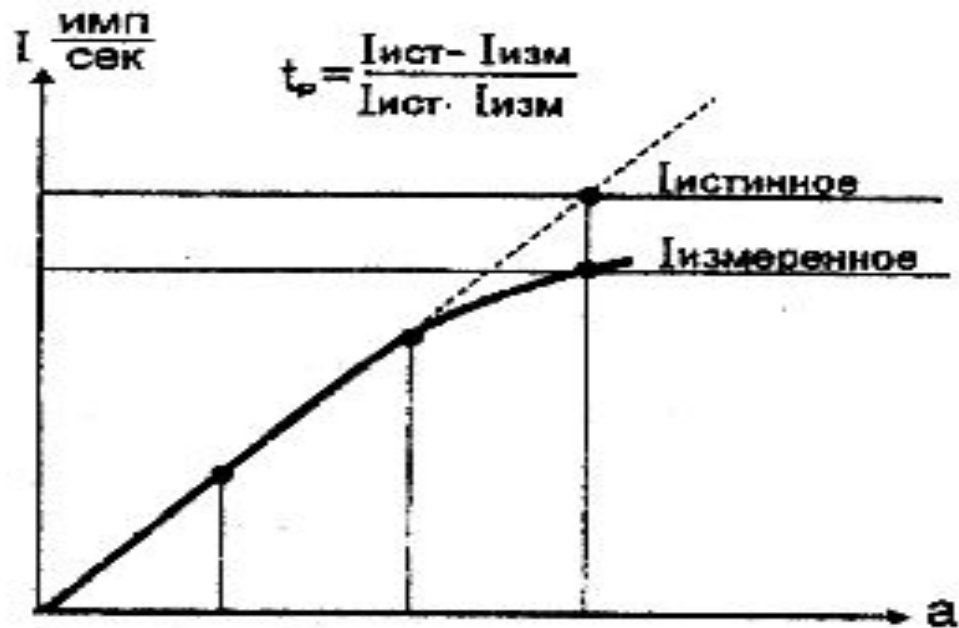
### 2. Проверка стабильности работы аппаратуры

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 ( $\varepsilon$ )** 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  $\varepsilon$**  - отношение числа частиц (квантов)  $I_\varepsilon$ , 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  $\beta$ -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  $\mu$  - 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  $\eta$**  учитывает потери излучения, обусловленные взаимным расположением препарата и счетчика. Равен отношению числа частиц (квантов)  $I_\eta$ , 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  $4 \text{ мг/см}^2$ . Скорость счета этого препарата составила  $6100 \text{ имп/мин}$  при фоне  $20 \text{ имп/мин}$ . Определите суммарную радиоактивность препарата, если разрешающее время счетчика  $1 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ , диаметр окна детектора  $2 \text{ см}$ , расстояние от препарата до счетчика  $5 \text{ см}$ . 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 <sup>2</sup>	$\mu$ , см <sup>2</sup> /Г
$^{35}\text{S}$	$\beta^-$ (100%)	87 сут	0,167	0,032	210
$^{58}\text{Co}$	$\beta^-$ (15%) ЭЗ (85%)	71 сут	0,475	0,147	43

Решение. Поправка на разрешающее время

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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