

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Р.И. Крайденко

« \_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.

**В.В. Шагалов**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЧЕТА И АБСОЛЮТНОЙ  
АКТИВНОСТИ ПРЕПАРАТА**

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
по курсу «Химическая кинетика гетерогенных процессов»  
для студентов, обучающихся по специальности 240501 «Химическая технология  
материалов современной энергетики»

Томск 2015

УДК 539.1

ББК 2.22.38

**Шагалов В.В.**

Ш627 Методические указания для выполнения лабораторных работ для студентов IV курса, обучающихся по специальности 240501 «Химическая технология материалов современной энергетики» / В.В. Шагалов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 8 с.

**УДК 539.1**

**ББК 2.22.38**

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром кафедры  
химической технологии редких элементов ФТИ

«\_\_»\_\_\_\_\_ 201\_ г.

Зав. кафедрой ХТРЭ

доктор технических наук

\_\_\_\_\_ *Р.И. Крайденко*

*Рецензент*

доцент кафедры ХТРЭ, к.т.н.

*Усов В.Ф.*

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ

© Шагалов В.В., 2015

## Определение коэффициента счета и абсолютной активности препарата (Теоретический материал к коллоквиуму по работе)

### 1. Абсолютный $\alpha$ -метод

Для абсолютных измерений чаще всего используется импульсная камера с плоскими электродами. Геометрический коэффициент использования здесь величина определенная и равен 50 %. К этому коэффициенту необходимо сделать поправку на самопоглощение и на отражение  $\alpha$ -частиц от подложки.

#### 1.2 Поправка на самопоглощение

Для нахождения этой поправки необходимо знать толщину препарата ( $d$ ) и  $d_0$  – предельный слой, при увеличении которого скорость счета не изменяется, толщина которого несколько меньше пробега  $\alpha$ -частицы – 0,9, т.е. толщины  $\alpha$ -насыщенного слоя.

Пропорциональность скорости счета толщине слоя нарушается уже при  $d = 0,5 \text{ мг/см}^2$ . Пусть толщина препарата  $d$ .

1) При  $d \leq d_0$  поправочный множитель на самопоглощение

$$\delta = \frac{2}{2 - \frac{d}{d_0}}. \quad (1)$$

2) При  $d = d_0$   $\delta = 2$ .

3) Если  $d > d_0$ , то

$$\delta = 2 \frac{d}{d_0}. \quad (2)$$

Во всех случаях нам необходимо определить  $d_0$ . Это можно сделать или экспериментально, или вычислить по длине пробега  $\alpha$ -частиц, по правилу Брэгга-Климана (точность вычислений составляет  $\pm 15\%$ ), однако при экспериментальном определении сложно измерить малую толщину слоев препарата.

### 1.3 Поправка на обратное рассеяние от подложки

Так как лобовые столкновения  $\alpha$ -частицы и ядер подложки маловероятны, то  $\alpha$ -частицы, ушедшие вглубь подложки, не возвращаются.

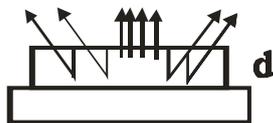


Рис. 1 Схема обратного рассеяния  $\alpha$ -частиц

Подавляющее большинство рассеиваемых  $\alpha$ -частиц выходит под углом, меньшим  $25^\circ$  (на Pt), а это относительно малая величина.

По теоретическим расчетам около 3,4 %  $\alpha$ -частиц  $\text{Pu}^{239}$  (пробег в воздухе 3,7 см), испускаемых в плоскую платиновую подложку, рассеиваются в обратном направлении т.е.  $q = 1,034$ , поэтому при геометрическом коэффициенте счета 50 % процент сосчитанных  $\alpha$ -частиц будет 51,7.

Измерения показали, что коэффициент обратного рассеяния  $\alpha$ -частиц  $\text{Pu}^{239}$  на платине  $q = (1,04) : 2 = 1,02$ , т.е. коэффициент счета 0,52 (при отсутствии поправки на самопоглощение).

Обратное рассеяние возрастает с уменьшением энергии  $\alpha$ -частиц, так что для  $\text{U}^{238}$  величина  $q$  больше, чем для  $\text{Pu}^{239}$ .

Обратное рассеяние  $\alpha$ -частиц на легких подложках меньше чем на платиновой на 3 %. Поскольку по абсолютной величине эта поправка мала (особенно на легких подложках), гораздо меньше, чем поправка на самопоглощение, то часто ее не учитывают, особенно когда измеряемый препарат размещается на легкой подложке.

$$A = \frac{I_{\text{пр+фон}} - I_{\text{ф}}}{A_w} = \frac{I}{A_w}; \quad A = \frac{I}{A_w} = \frac{I\delta}{w \cdot q} \quad (3)$$

Абсолютное измерение можно проводить и интегрирующим методом для более тонкого слоя,  $i_{\text{нас}} = nNe$ , если нет потерь энергии то можно определить  $N = \frac{E}{\varepsilon}$  и вычислить  $n$ . Правда, нужно знать значение  $E$ . Абсолютные измерения интегрирующим методом проводятся редко.

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda \cdot N_A \cdot \frac{m}{M}; \quad m = \frac{A_M}{\lambda N_A} = \frac{A_M \cdot T_{1/2}}{0,693 N_A}. \quad (4)$$

## 2 Абсолютные измерения по $\beta$ -лучам

Абсолютные измерения можно производить только импульсным методом, так как из-за большой длины пробега  $\beta$ -частиц в камерах используется только часть ее энергии. А учесть, какая часть энергии  $\beta$ -частицы используется в камере, трудно.

Проводя абсолютные измерения с помощью счетчика, мы получаем число зарегистрированных импульсов в счетчике. От числа этих зарегистрированных импульсов нам нужно перейти к числу распадов в препарате. Для этого перехода необходимо провести соответствующие вычисления с учетом ряда поправок.

**2.1 Геометрическая – W.** Необходимо учесть какая доля  $\beta$ -частиц, испускаемых препаратом, движется по направлению к счетчику. Эта доля оценивается геометрически по величине относительного телесного угла, под которым наблюдается от препарата входное окно счетчика (или рабочий объем трубки).

Если мы имеем точечный препарат, достаточно удаленный от входного окна торцевого счетчика, то относительный телесный угол, выраженный в долях полного угла ( $4\pi$ ), равен отношению площади входного окна счетчика к площади сферы, описанной радиусом, равным расстоянию от препарата до окна счетчика.

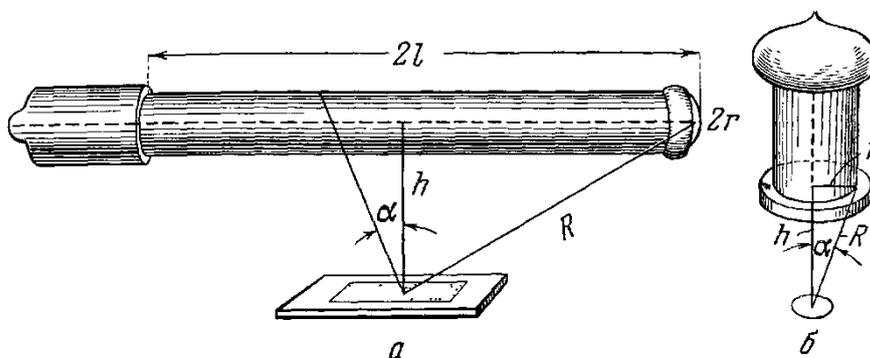


Рис. 2 – Счетчики радиоактивного излучения. Схема для расчета геометрической поправки  
а) цилиндрический; б) торцевой

Геометрическая поправка для торцевого счетчика

$$W = 0,5 \cdot (1 - \cos \alpha), \quad \cos \alpha = \frac{h}{\sqrt{h^2 + r^2}}. \quad (5)$$

Если мы имеем длинный цилиндрический счетчик и близко расположенный препарат небольших размеров с диаметром, меньшим диаметра корпуса счетчика

$$W = \frac{1}{180^\circ} \arcsin \frac{r}{h}; \quad \text{или} \quad W = \frac{1}{\pi} \cdot \arcsin \cdot \frac{r}{h} \quad (6)$$

**2.2 Поправка на поглощение слоем воздуха и стенками счетчика – d.** Нужно учесть, какая доля  $\beta$ -частиц, двигающихся по направлению к счетчику, достигнет его рабочий объем с учетом поглощения  $\beta$ -частиц воздухом, стенками или входным окном счетчика.

Для  $\beta$ -частиц справедлив экспоненциальный закон поглощения

$$I = I_0 \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot R} \quad (8)$$

считаем отдельно для воздуха и стенок

$$I = I_0 \cdot e^{-\frac{\mu_{\text{возд}}}{\rho_{\text{возд}}} \cdot R_{\text{возд}}} \cdot e^{-\frac{\mu_{\text{см}}}{\rho_{\text{см}}} \cdot R_{\text{см}}} \quad (9),$$

так как в первом приближении  $\frac{\mu}{\rho} = \text{const}$ , то

$$I = I_0 \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot (R_{\text{возд}} + R_{\text{см}})} \quad (10)$$

отсюда поправка на поглощение в воздухе и в стенках счетчика

$$d = \frac{I}{I_0} = e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot (R_{\text{возд}} + R_{\text{см}})} \quad (11)$$

доля  $\beta$ -частиц, прошедших через слой воздуха и стенку счетчика,

$$\text{причем для } E_{\text{max}} > 0,5 \text{ МэВ} \quad \frac{\mu}{\rho} = \frac{22}{E_{\text{max}}^{4/3}} \quad (12).$$

**2.3 Поправка на самопоглощение в слое препарата – k.**

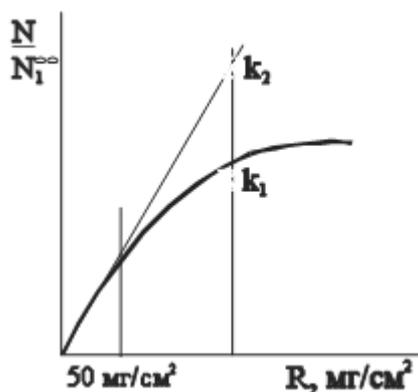


Рис.3 Зависимость скорости счета

скорости счета от толщины препарата. Для определенной толщины препарата  $R_1$  поправка на самопоглощение

$$k = \frac{I}{I_0} = \frac{1 - e^{-\frac{\mu}{\rho} R}}{\frac{\mu}{\rho} \cdot R} \quad \text{или} \quad k = \frac{1 - e^{-\mu x}}{\mu \cdot x} \quad (13)$$

$k$  – (доля вышедших из препарата), где  $x$  – линейная толщина препарата,  $R$  – весовая толщина препарата. Поскольку и в том, и в другом случае мы вносим ошибку, то предпочитают работать в области, где активность препарата линейно зависит от его толщины, т.е. где  $k = 1$ . В большинстве случаев линейность соблюдается до толщины  $50 \text{ мг/см}^2$ .

Такой толщины вполне достаточно для получения достаточной

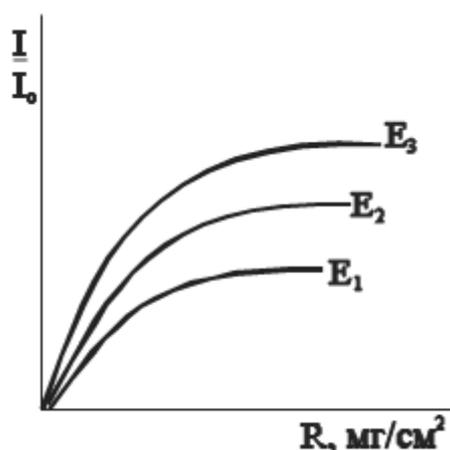


Рис. Зависимость коэффициента отражения от энергии  $\beta$ -излучения и толщины подложки

$$E_3 > E_2 > E_1$$

Необходимо учесть долю  $\beta$ -частиц, вышедшую из препарата, преодолев поглощение в слое препарата, т.е. ввести поправку на самопоглощение. Наиболее точные значения поправок на самопоглощение можно определить опытным путем, изучая зависимость

чувствительности. Поэтому при работе в этой области поправки на самопоглощение не вводятся.

#### 4. Поправка на отражение $\beta$ -частиц от подложки.

Нужно учесть, что к  $\beta$ -частицам,двигающимся к счетчику,

присоединяются  $\beta$ -частицы, отраженные от подложки.

Величина обратного рассеяния от подложки зависит от толщины подложки, от порядкового номера материала подложки и от энергии  $\beta$ -частиц.

Зависимость обратного рассеяния от толщины подложки имеет следующий характер: отражение растет по мере увеличения толщины подложки и при толщине, равной  $1/5$  максимального пробега  $\beta$ -частиц в веществе подложки, достигает максимального и постоянного значения. Поскольку с увеличением энергии увеличивается длина пробега  $\beta$ -частицы, то при этом увеличивается и толщина слоя максимального отражения, причем величина отражения увеличивается с ростом энергии.

Отражение от подложки растет с увеличением атомного номера материала подложки. Определить влияние отражения на скорость счета довольно трудно, так как нужно учитывать три фактора. Чтобы уменьшить количество факторов, влияющих на отражение, применяют или толстые подложки с максимальным отражением, тогда  $q$  зависит только от энергии  $\beta$ -частиц и от  $Z$  (при данном расположении препарата). А еще лучше применять тонкие подложки из легких материалов (с малым  $Z$ ): плексиглас, полиэтилен, этилцеллюлоза, бумага, картон и др. Отражением от тонких подложек можно пренебречь. Для них  $q = 1$ . Поправка на отражение от стенок свинцового домика в большинстве случаев не вносится, если изнутри домик выстлан легким материалом (плексиглас, алюминий).

## **2.5 Поправка на эффективность регистрации по отношению к данному виду излучения – $\varepsilon$ .**

$$\varepsilon = \frac{r_{имп}}{r_{вошедших\ частиц}} \quad (14)$$

Так как ионизирующая способность  $\beta$ -частиц сравнительно большая, то  $\beta$ -частица, попав в объем счетчика, обязательно дает хотя бы одну пару ионов, а

этого достаточно для появления разряда в гейгеровском счетчике. Поэтому эффективность  $\beta$ -счетчиков  $\varepsilon = 1$  (или 100 %).

## 2.6 Поправка на «мертвое время» – $E_\tau$

При большой интенсивности счета (более 5000 имп/мин) часть  $\beta$ -частиц, попавших в объем счетчика, может быть не зарегистрирована, если попадет в счетчик в «мертвое время». Доля незарегистрированных частиц пропорциональна «мертвому времени» ( $\tau$ ) и интенсивности препарата:

$$I_o = I(1 + \tau I_o) \quad (15)$$

$$I_o = I + I\tau I_o \quad \text{отсюда} \quad I_o = \frac{I}{1 - I\tau} \quad (16)$$

$$\text{и} \quad E_\tau = \frac{I}{I_o} = 1 - I\tau, \quad (17)$$

Здесь  $I_o$  – число частиц, прошедших через счетчик,  $I$  – зарегистрированное число.

«Мертвое время» большинства самогасящихся счетчиков равно  $2 \cdot 10^{-4}$  с. Его можно определить экспериментально по методу двух препаратов. Измеряются два препарата порознь и одновременно

$$I_{0(1,2)} = I_{0(1)} + I_{0(2)}, \quad \frac{I_{1,2}}{1 - I_{1,2} \cdot \tau} = \frac{I_1}{1 - I_1 \tau} + \frac{I_2}{1 - I_2 \tau}, \quad \text{решив его, найдем}$$

$$\tau = \frac{I_1 + I_2 - I_{1,2}}{2I_1 I_2} \quad (18)$$

Если скорость счета более 5000 имп/мин или  $5000/60 = 83$  имп./с

$$E_\tau = 1 - 100 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 1 - 0,02 = 0,98;$$

Теперь мы можем определить абсолютную активность препарата

$$A = -\frac{dn}{dt} = \frac{I_1 - I_\phi}{A_w} = \frac{I}{Wdkq\varepsilon \cdot E_\tau} \quad (19)$$

$$-\frac{dn}{dt} = A = -\Delta N = \lambda N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N_A \frac{m}{M} \quad (20);$$

$$m = \frac{A \cdot M \cdot T_{1/2}}{0,693 N_A} \quad (21)$$

где  $I_1$  - скорость счета препарата вместе с фоном,  $I_\phi$  – скорость счета фона,  $W$  – геометрическая эффективность,  $d$  – поправка на поглощение,  $k$  – поправка на самопоглощение,  $q$  – поправка на обратное отражение,  $\varepsilon$  - эффективность счетчика,  $E_\tau$  - поправка на «мертвое время»,  $A_w$  – общий коэффициент использования (или коэффициент счета).

Итак, для определения общего коэффициента использования нам нужно провести большое количество вычислений и ввести массу поправок. Поэтому иногда общий коэффициент счета определяется экспериментально. Для этого нам нужен  $\beta$ -эталон, причем для того, чтобы все поправки были одинаковы с неизвестным препаратом, энергия  $\beta$ -лучей эталона должна быть примерно одинаковой с энергией  $\beta$ -лучей неизвестного препарата. Если мы имеем  $m_2$  радиоактивного вещества, тогда общее количество атомов радиоактивного вещества,  $N = \frac{N_A}{M} \cdot m$ , где  $N_A$  – число Авогадро,  $M$  – молекулярный вес,  $P$  – вес радиоактивного вещества в (г).

$$N = N_A \cdot \frac{P}{M}, \quad A = \lambda N; \quad A = \frac{0,693}{T} \cdot N_A \frac{m}{M} \quad (22).$$

Число распадов будет:

$$A = -\Delta N = \frac{A_0}{M} P \cdot \lambda \quad (23)$$

Если выразить  $\Delta N$  через период полураспада, имеем:

$$\Delta N = \frac{N_A}{M} P \cdot \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (24)$$

Определив  $A_w$ , мы затем можем определить абсолютную активность других препаратов ( $\approx$  с той же энергией  $\beta$ -частиц), произведя измерения при тех же

условиях, что и эталон. По сути дела. Это уже будет относительный импульсный метод.

### 3 Абсолютный $\gamma$ -метод

Для определения с использованием счетчиков  $\gamma$ -активности препарата с помощью счетчика определяют зарегистрированное число импульсов и с помощью вычислений определяют общее число  $\gamma$ -квантов, испускаемых препаратом. Ход вычислений примерно тот же, что и при абсолютном  $\beta$ -методе, но соотношение и значение различных коэффициентов другое.

#### 3.1 Геометрический коэффициент счета

Определяется для цилиндрических счетчиков по формуле (6)

$$W = \frac{1}{180^\circ} \arcsin \frac{2}{h}, \text{ а для сцинтилляционных датчиков по (5) } W = 0,5 \left( 1 - \frac{h}{\sqrt{h^2 + r^2}} \right)$$

**3.2 Поглощение  $\gamma$ -лучей воздухом** ничтожно мало и, как правило, учитывается только для мягких  $\gamma$ -лучей. При этом мы не говорим о поглощении  $\gamma$ -излучения стенкой. Ведь этот процесс и является полезным для регистрации  $\gamma$ -квантов

**3.3 Самопоглощение** учитывается очень редко, только для очень мягких  $\gamma$ -лучей при большой толщине препарата.

по известной формуле (13):  $k = \frac{I}{I_0} = \frac{1 - e^{-\frac{\mu}{\rho} R}}{\frac{\mu}{\rho} \cdot R}$  или  $k = \frac{1 - e^{-\mu x}}{\mu x}$ . Значения для  $\mu/\rho$   $\gamma$ -

излучения будет меньше, чем при  $\beta$ -методе.

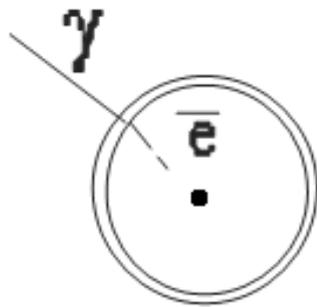
#### 3.3 Коэффициент отражения

$q \approx 1$ , т.е все  $\gamma$ -частицы ушедшие в подложку не возвращаются, не отражаются.

#### 3.4 Эффективность счета.

Если при абсолютном  $\beta$ -методе мы принимаем эффективность счетчика 1 (или 100 %), то при абсолютном  $\gamma$ -счете основное внимание мы должны обратить именно на определение эффективности счетчика. Эффективность регистрации счетчиком – отношение числа зарегистрированных  $\gamma$ -квантов к числу  $\gamma$ -квантов, прошедших рабочий объем счетчика.

Принцип действия  $\gamma$ -счетчика несколько от принципа действия  $\beta$ -счетчика.  $\gamma$ -излучение само непосредственно не ионизирует газ, наполняющий счетную



объемку. Ионизацию газа внутри счетчика производят преимущественно вторичные электроны, вырываемые  $\gamma$ -квантами из материала стенок счетчика. Поэтому эффективность  $\gamma$ -счетчика от вероятности взаимодействия  $\gamma$ -кванта с веществом, от материала

Рис.3 Схема

стенок, их толщины и от энергии  $\gamma$ -квантов.

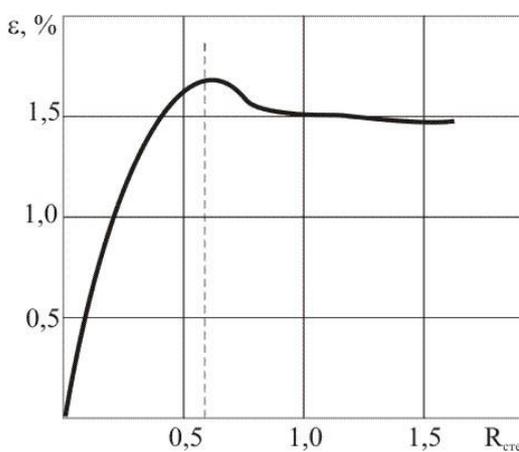


Рис. 4 – Эффективность регистрации  $\gamma$ -излучения от толщины стенки 0,6 мм – наиболее эффективная

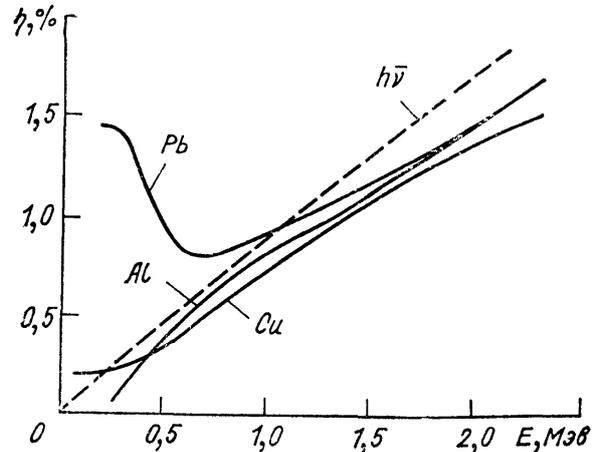


Рис. 5 – Эффективность  $\gamma$ -излучения от энергии для

сти счетчика от толщины стенки счетчика имеет следующий характер:  $\epsilon$  сначала возрастает, проходит через максимум, а затем медленно убывает. Наиболее эффективная толщина для каждого элемента слоя своя и зависит, в свою очередь, от энергии  $\gamma$ -лучей. Наибольшая эффективность наблюдается при толщине стенок, равной пробегу большинства вторичных электронов в веществе стенки.

Эффективность счетчика возрастает с увеличением атомного номера материала стенок. Так, для вольфрама и свинца она в 3–4 раза выше, чем для алюминия.

Зависимость эффективности счетчика от энергии  $\gamma$ -квантов в большинстве случаев проходит через минимум, а при больших энергиях (более 0,5 МэВ) – возрастает с увеличением энергии  $\gamma$ -квантов.

Но пользоваться таким графиком неудобно. Часто стенки состоят из различных материалов (например, стекло и медь). Кроме того, счетчики имеют стандартную толщину стенок, которая для некоторых энергий может и не быть оптимальной.

Удобнее пользоваться графиком, в котором дается эффективность стандартных счетчиков от энергии  $\gamma$ -лучей. Если известна энергия  $\gamma$ -квантов, то по такой кривой мы сразу находим эффективность применяемого счетчика. Если же исследуемый изотоп испускает  $\gamma$ -кванты различных энергий, то необходимо определить среднюю эффективность счетчика

$$\varepsilon = \frac{P_{\gamma_1}}{P_{\gamma}} \cdot \varepsilon_1 \cdot k_1 + \frac{P_{\gamma_2}}{P_{\gamma}} \cdot \varepsilon_2 k_2 + \dots \frac{P_{\gamma_n}}{P_{\gamma}} \dots \varepsilon_n k_n + \dots \quad (25)$$

Здесь  $P_{\gamma}$  - общее число  $\gamma$ -квантов,  $P_{\gamma_1}$  и  $P_{\gamma_2}$  – число  $\gamma$ -квантов данной энергии. Эти величины устанавливаются по схеме распада;  $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \dots$  - эффективность счетчика по отношению к  $\gamma$ -квантам соответствующей энергии;  $k_1, k_2$  - коэффициенты, учитывающие поглощение мягких  $\gamma$ -лучей стенкой счетчика.

Если толщина счетчика для какой-либо компоненты  $\gamma$ -излучения является оптимальной, то для нее принимается  $k_1=1$ , а для более жестких  $k_3=1$ .

Для более мягких компонент коэффициенты поглощения в стенке цилиндрического счетчика приблизительно равны:

$$k_2 = e^{-\mu_2 d_{эфф}} \quad (26),$$

где  $\mu_2$  – коэффициент линейного поглощения материала стенки счетчика для  $\gamma$ -квантов с энергией  $E_2$ . Для цилиндрического счетчика и близко расположенного препарата  $d_{эфф} \approx 2d$ , где  $d$  – толщина стенки счетчика (в см).  $d_{эфф}$  уменьшается с увеличением расстояния от препарата до 1,5d.

Поправка на отражение  $\gamma$ -излучение от подложки очень мало отличается от 1 и не учитывается.

С учетом всех этих поправок по известной уже формуле мы определяем общее число  $\gamma$ -квантов, испускаемое препаратом. Для перехода к числу распадов необходимо также знать квантовый выход, т.е. количество  $\gamma$ -квантов, приходящихся на один  $\alpha$ - или  $\beta$ -распад.

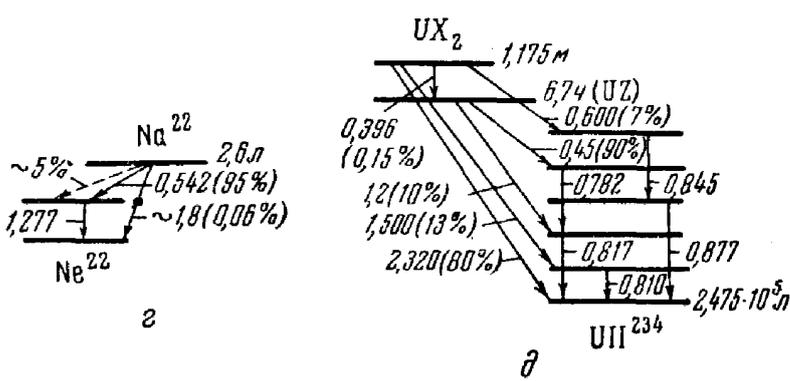


Рис. 6 – Схема радиоактивного распада

Но действительный квантовый выход не 0,25, а 0,22, так как это  $\gamma$ -излучение частично конвертировано, т.е. частично превращено в электроны и позитроны. 60% –  $\gamma$ -излучение, 88% – электроны внутренней конверсии (т.е. возбуждение частично снимается не при

испускании  $\gamma$ -кванта, а расходуется на выбивание электронов внутренней конверсии, чаще всего с внутренней k-оболочки). Поэтому необходимо знать не только картину распада, но и степень конверсии  $\gamma$ -излучения, т.е. квантовый выход с учетом внутренней конверсии.

Чтобы определить число  $\alpha$ - или  $\beta$ -распадов, необходимо общее число  $\gamma$ -квантов, испускаемое препаратом, поделить на квантовый выход. По определенному нами числу распадов и по известной радиоактивной постоянной распада ( $\lambda$ ) определяем количество радиоактивного изотопа

$$A = \frac{I}{A_w} = \frac{I}{W \cdot k \cdot \varepsilon \cdot E_\tau \cdot Q}; \quad (27)$$

### Лабораторная работа № 9

**Цель работы:** Приготовление эталонного препарата соли урана, определение коэффициента счета радиометрической установки и определение количества урана в контрольной пробе

**Коэффициентом счета** называется отношение числа сосчитанных импульсов к числу распадающихся атомов.

Коэффициент счета ( $K$ ) зависит от типа датчика и ряда условий. Так, для ионизационной камеры он зависит от диаметра электродов и расстояния между ними, а также от диаметра препарата. Сосчитываются только те  $\alpha$ -частицы, которые попадают в пространство между электродами и создают достаточную ионизацию между ними. При применении газового счетчика коэффициент счета зависит от расстояния между препаратом и счетчиком, диаметра препарата, толщины препарата, энергии  $\beta$ -частицы и  $\gamma$ -квантов.

Численное значение коэффициента счета для данных условий определяют по эталону по формуле:

$$K=I/a \quad (1),$$

где  $K$  - коэффициент счета,

$I$  - скорость счета импульсов в 1 минуту препарата с известным содержанием радиоактивного вещества,

$a$  - абсолютная активность радиана вещества – число актов распада в 1 минуту.

Абсолютная активность препарата находится расчетным путем исходя из основного закона радиоактивного распада, согласно которому число ядер  $dN$ , распадающихся за бесконечно малый промежуток времени  $dt$ , пропорционально числу ядер  $N$ , имеющихся налицо в момент времени  $t$ :

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2).$$

Коэффициент пропорциональности  $\lambda$  называется **постоянной распада ядра** и характеризует его неустойчивость. В первом приближении  $dn/dt$  можно принять равным  $a$ , т.е. абсолютной активности препарата или скорости распада.

Выражение (2) можно записать:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt;$$

при начальных условиях:  $t=0, N=N_0, \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda_0 \int_0^t dt, \ln N - \ln N_0 = -\lambda t,$

$$\ln \cdot \frac{N}{N_0} = -\lambda t, \quad \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t},$$

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Найдем величину радиоактивной постоянной для случая, когда известно время, в которое распадается половина радиоактивного вещества, т.е.  $N = \frac{N_0}{2}, t = T_{1/2}$ , где  $T_{1/2}$  – период полураспада. Подставив это в выражение (3), получим:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad \frac{1}{2} = e^{-\lambda T}, \quad \frac{1}{2} = e^{-\lambda T}, \quad \ln \frac{1}{2} = -\lambda T,$$

или, сменив знаки, получим:  $\ln 2 = \lambda t$ .

$$\text{Отсюда: } \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}, \quad \lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} \quad \text{и} \quad T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (4).$$

Как известно, число атомов или молекул в одном грамм/атоме или одной грамм/молекуле равно числу Авогадро, т.е.  $A_0 = 6,02 \cdot 10^{23}$ .

В одном грамме вещества количество атомов будет равно  $\frac{A_0}{M}$ , где  $M$  – атомный или молекулярный вес, а в “ $m$ ” граммах будет равно  $\frac{mA_0}{M}$ ; подставляя это выражение в формулу (2), получим:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda \frac{mA_0}{M}; \quad \text{так как знак нам не важен, то заменим } -\frac{dN}{dt} = a, \quad \text{получим:}$$

$$a = \frac{\lambda mA_0}{M}, \quad \text{или, пользуясь выражением (4), получим: } a = \frac{0,693 mA_0}{MT}.$$

Рассчитаем количество распадов, которое дает 1 грамм урана, при таких известных данных:

Изотоп	Содержание в ест. уране в вес. %	Период полураспада	Постоянная распада
--------	----------------------------------	--------------------	--------------------

Уран 238	99,2739	$4,50 \cdot 10^9$ лет	$4,883 \cdot 10^{-18}$ 1/с
Уран 235	0,7205	$7,13 \cdot 10^8$ лет	$3,081 \cdot 10^{-17}$ 1/с
Уран 234	0,0056	$2,475 \cdot 10^5$ лет	$8,8743 \cdot 10^{-14}$ 1/с

Для расчета возьмем время, равное 1 секунде. Тогда будем иметь активность 1 грамма естественного урана:

$$a_{U^{238}} = \frac{0,992739 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 4,883 \cdot 10^{-18}}{238} = 12260 \text{ расп/с}$$

$$+ a_{U^{235}} = \frac{0,007205 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 3,081 \cdot 10^{-17}}{235} = 570 \text{ расп/с}$$

$$+ a_{U^{234}} = \frac{0,000056 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 8,8743 \cdot 10^{-14}}{234} = 12785 \text{ расп/с.}$$

Значит, 1 грамм естественного урана будет давать  $12260+570+12785=25615$

расп/с. Количество распадающихся атомов  $U^{235}$  составляет  $\frac{570 \cdot 100}{25615} = 2,20\%$ ,

поэтому при расчетах его можно не учитывать. Количество распадающихся атомов  $U^{238}$  и  $U^{234}$  должно быть равно; ошибка объясняется неточностью подставляемых величин. Из этих рассуждений можно сделать вывод, что при измерении активности образцов естественного урана мы измеряем активность сразу двух изотопов и, следовательно, при подсчете активности, то есть абсолютного числа распадов естественного урана, необходимо полученную величину  $a_{U^{238}}$  удваивать. Причем необходимо учитывать, что все последующие радиоактивные изотопы радиоактивного семейства урана отделены в результате химических переработок (такие, как ионий, радий и пр.).

При измерении  $\beta$ -излучения на торцовом счетчике продумать соотношение интенсивности  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучений при условии радиоактивного равновесия между  $U_1$ ,  $U_{x1}$ ,  $U_{x2}$  и  $U_{п}$ .

### Ход работы

На тарелочке из нержавеющей стали выпаривается 0,2 мл раствора  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ , концентрацией 10 мг/мл. Поместить препарат в ионизационную

камеру с плоскими электродами или под счетчиком. Измерить скорость счета с точностью 3 % и определить коэффициент счета. После этого производится измерение абсолютной активности неизвестного препарата.

Контрольные вопросы:

- 1) Что такое коэффициент счета?
- 2) Что он характеризует?
- 3) Формула для расчета активности препарата.
- 4) Закон векового равновесия.

Остальные вопросы в соответствии с методичкой подготовки к коллоквиуму по данной лабораторной работе.