Основы радиохимии и радиологии

3 курс ХФ

309 гр. Занятие № 2

27 сентября

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.

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

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

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

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

Разнообразные трековые детекторы, компьютерная и авто-радиография

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

Измерили радиоактивность препарата $^{58}Co^{35}SO_4$ 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 $1 \cdot 10^{-4}$ с, диаметр окна детектора 2 см, расстояние от препарата до счетчика 5 см. Препарат без носителя (тонкий), покрыт алюминиевой фольгой толщиной 0,01 см. При расчете отражением излучения от подложки можно пренебречь. Плотность алюминия 2,7 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

Примеры задач для подготовки к контрольной № 1

Краткая характеристика заданий контрольной работы № 1

Схемы распада, энергия распада, энергия частиц

Основной закон радиоактивного распада

Равновесия подвижное и вековое

Накопление РН при реакторном облучении мишени

Ослабление потока ионизирующего излучения

Зависимость скорости счета от условий измерения

Задача 6. Зависмость скорости счета от условий измерения

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 ($d \le 0{,}3\, R_{max}$) описывается эмпирической экспоненциальной зависимостью. В этом случае коэффициент *k* можно определить по формуле:

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

где μ - массовый коэффициент ослабления в см^2/г (табл. П.4); $d = d_1 + d_2$ – суммарная толщина слоя воздуха и окна в г/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 самоослабление *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 ($q = I_{qS}/I_S$)

Измерили радиоактивность препарата $^{58}Co^{35}SO_4$ 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 $1 \cdot 10^{-4}$ с, диаметр окна детектора 2 см, расстояние от препарата до счетчика 5 см. Препарат без носителя (тонкий), покрыт алюминиевой фольгой толщиной 0,01 см. При расчете отражением излучения от подложки можно пренебречь. Плотность алюминия 2,7 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

Расчетные формулы

Поправка на схему распада *p* - из таблиц изотопов

Истинная скорость счета (поправка на время т)

$I = [I_c/(1-I_c*т)] – I_{фон}$

Геометрический коэффициент $η= S_{окно}/S_{шар} = π*r^2/4π*R^2$

Определение d (г/см^2) и коэффициента ослабления

значение $d = d_{Al} + d_{возд.} + d_{окно}$

$k = exp(-μd)$ для случая $(d/Rmax) < 0.3$; или значение k по эмпирическому графику

Коэффициент самоослабления **$S = [1-exp(-μd_{пр.})]/ μd_{пр}$**

Расчет коэффициента **ф** и активности **$A = фI$**

Решение. Поправка на разрешающее время

$[I_c = (6100)/60 = 101.67$ (имп/с)]

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

геометрический коэффициент $\eta = \pi*1^2/4\pi*5^2 = 0.01$

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

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

^{58}Co $k = \exp(-\mu d) = \exp(-43*0.0375 = 0.2$; $(d/Rmax) < 0.3$.

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

$N_S = N_{Co}$; $N_{Co} = A/\lambda = 3.0915*10^{12}$

$A_S = \lambda N = [\ln 2/(87*24*3600)]* 3.0915*10^{12} = 285077$ (Бк)

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

Задачи для домашней подготовки к КР

Для измерения активности нуклида ***A**, содержащегося в препарате толщиной 20 мг/см^2, использовали торцовый счетчик. Точечный препарат находился на расстоянии 6 см от окна детектора диаметром 1 см. Измеренная скорость счета препарата составила 4070 имп/мин, скорость счета фона – 30 имп/мин. Вычислите коэффициент регистрации и определите активность радионуклида, если известно, что разрешающее время установки $\tau = 2{,}1 \cdot 10^{-4}$ с, толщина окна счетчика 6 мг/см^2. Эффективность счетчика принять равной 1, коэффициент обратного рассеяния – 1,3.

Тип распада	$E_{\beta,max}$, МэВ	R_{max}, г/см^2	$d_{1/2}$, г/см^2	μ, см^2/г
β^- (93%) Э.З. (7%)	0,650	0,235	0,027	26,0

«Равновесия»

Задача (решение на слайде 13)

Имеется цепочка превращений $^{95}Zr \rightarrow ^{95}Nb \rightarrow ^{95}Mo_{стаб.}$. В начальный момент радиоактивность препарата ^{95}Zr, очищенного от ^{95}Nb, равнялась 20 МБк. Определите активность ^{95}Nb через 128 суток и его максимальную активность. Периоды полураспада ^{95}Zr и ^{95}Nb равны, соответственно, 64 и 35 сут.

Задача «равновесие»

Имеется цепочка превращений $^{95}Zr \rightarrow ^{95}Nb \rightarrow ^{95}Mo_{стаб.}$. В начальный момент радиоактивность препарата ^{95}Zr, очищенного от ^{95}Nb, равнялась 20 МБк. Определите активность ^{95}Nb через 128 суток и его максимальную активность. Периоды полураспада ^{95}Zr и ^{95}Nb равны, соответственно, 64 и 35 сут.

По условию подвижное равновесие ещё НЕ наступило. $128 < 10*35$

Универсальная формула (при $N_{1,0} = 0$)

$$a_2 = a_{1,0}[\lambda_2/(\lambda_2 - \lambda_1)][\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)];$$

$$\lambda_1 = \ln 2/64 = 0{,}01083\ (\text{сут}^{-1}); \quad \lambda_2 = 0{,}019804\ (\text{сут}^{-1});$$

$$(\lambda_2 - \lambda_1) = 0{,}0089738\ (\text{сут}^{-1}); \quad \lambda_2/(\lambda_2 - \lambda_1) = 2{,}20687$$

При $t = 128$ сут.

$$a_{2,128} = 20*2{,}20687*[\exp(-128\lambda_1) - \exp(-128\lambda_2)] = 7{,}5356\ (\text{МБк});$$

$$t_{max} = T = [1/(\lambda_2 - \lambda_1)]\ln(\lambda_2/\lambda_1) = 67{,}2586\ \text{сут.}$$

$$a_{2,T} = 20*2{,}20687*[\exp(-T\lambda_1) - \exp(-T\lambda_2)] = 9{,}654\ (\text{МБк})$$

Примечание. Формулу $a_2/a_1 = \lambda_2/(\lambda_2 - \lambda_1)$ можно применять лишь при наступления подвижного равновесия, т.е. в случае $t > 10\ T_{1/2,2}$

Если её использовать (ошибка), то получим $a_{2,128} = 11{,}035$ МБк

Задача для домашней подготовки

Ниже приведена цепочка превращений:

***A→*B→C**(стаб.).

Нуклид **A** после очистки от продуктов распада имел радиоактивность 100 МБк. Период полураспада **A** составляет 50 суток, **B** – 1 час. Определите: а) через какое минимальное время накопится 70 МБк нуклида **B**; б) радиоактивность нуклида **B** в препарате через 100 суток; в) отношение чисел атомов N(**A**):N(**B**) в препарате через 15 суток; г) через какое время суммарная активность препарата составит 80 МБк.

Вековое равновесие

III.3. Препарат ^{210}Pb, активность которого после отделения продуктов распада составляла 20 кБк, хранился в лаборатории в течение несколько лет. Проведенные в настоящее время измерения показали, что поток α-частиц, испускаемых препаратом, равен 5530 част./с. Определите время хранения препарата и рассчитайте количества вещества атомов ^{210}Bi, ^{210}Po и ^{206}Pb, накопившихся в препарате за это время.

Схема ядерных превращений (ряд ^{235}U): $^{210}Pb \rightarrow {}^{210}Bi \rightarrow {}^{210}Po \rightarrow {}^{206}Pb$.

Периоды полураспада радионуклидов свинца, висмута и полония: 22 года, 5 суток и 138 суток, соответственно.

Решение III.3.

Вековое равновесие (по условию t >> 138 сут.)

В настоящее время *(t)* $a(^{210}Pb) = a(^{210}Po) = a(^{210}Bi) = 5530$ Бк

$5530 = a_0\exp(-\lambda t) = 20\cdot10^3\exp(-\lambda t)$; $\lambda(^{210}Pb) = t\cdot ln2/22 \Rightarrow t = 40{,}8$ года;

$\lambda(^{210}Bi) = 1{,}604507\cdot10^{-6}$ с$^{-1}$ $\boldsymbol{\lambda(^{210}Po)} = 5{,}81343\cdot10^{-8}$ с$^{-1}$

$v(^{210}Bi) = a/\lambda N_A = (5530/\lambda N_A) = 5{,}72515\cdot10^{-15}$ (моль)

$v(^{210}Po) = a/\lambda N_A = (5530/\boldsymbol{\lambda} N_A) = 1{,}58014\cdot10^{-13}$ (моль)

Расчет $v(^{206}Pb)$.

$N(^{206}Pb)$ = число распавшихся ядер $^{210}Pb = \Delta N$; Для расчета используем следующие данные: $t_1 = 0$, $t_2 = 40{,}8\cdot365\cdot24\cdot3600$ (с); $I_0 = 20000$ (с$^{-1}$) ;

$\lambda = \mathbf{ln}2/(22\cdot365\cdot24\cdot3600)$

$$\Delta N = \int_{t_1}^{t_2} I_0 e^{-\lambda t}dt = I_0\left(\frac{e^{-\lambda t_2}}{-\lambda} - \frac{e^{-\lambda t_1}}{-\lambda}\right) = 1{,}4483\cdot10^{13}$$

Из ΔN(Pb) надо вычесть N(Bi) и N(Po), содержащиеся в образце в момент t.

Второй вариант. Учитывая тот факт, что время наблюдения (40,8 лет) > периода полураспада (22 года), можно определить ΔN по разности числа ядер ^{210}Pb в момент $t_1 = 0$ и $t_2 = 40{,}8$ года.

$\Delta N = (20000/\lambda) - (5530/\lambda) = 1{,}44835\cdot10^{13}$ ⇒ далее вычесть число атомов висмута и полония.

Задачи «основной закон распада»

Удельная радиоактивность океанической воды по ^{40}K составляет 12 кБк/м^3. Рассчитайте концентрацию солей калия в океане (моль/л). Период полураспада ^{40}K составляет $1{,}28 \cdot 10^9$ лет, его содержание в природной смеси изотопов калия 0,012%.

$a = \lambda N$; $\lambda = \ln 2/T_{1/2} = 1{,}7171525 \cdot 10^{-17}$ (c^{-1});

В 1000 л океанической воды $N(^{40}K) = a/\lambda = 12000/\lambda = 6{,}9883 \cdot 10^{20}$ (Бк);

Число атомов К $N(K) = N(^{40}K)/\omega = 5{,}82354 \cdot 10^{24}$;

$C = N(K)/1000N_A = 0{,}00967$ (моль/л)

Основной закон распада.
Задачи для домашней подготовки к КР

1. Элемент калий помимо двух стабильных нуклидов ^{39}K и ^{41}K (массовая доля 93,08 и 6,91%), содержит также радионуклид ^{40}K (0,012 %). Период полураспада ^{40}K $1{,}28 \cdot 10^9$ лет, При распаде ^{40}K испускаются или β-частицы (вероятность 89,3 %) или γ-кванты (вероятность 10,7 %). Калий является биогенным (жизненно необходимым) элементом и входит в состав всех продуктов питания. Рассчитайте массовую долю элемента калий в образце зерен кофе, если установлено, что за 10 минут 10 г этого образца испускает 321 гамма-квант.

Ответ: массовая доля калия в зернах $\omega = 1.61$ %

2. В радиоизотопном термоэлектрогенераторе «ИЗУ-1М» кинетическая энергия β-частиц, появляющихся при распаде ^{90}Sr (^{90}Y), преобразуется сначала в тепловую, затем - в электрическую. Через 14,35 лет после начала эксплуатации тепловая мощность «ИЗУ-1М» составила 1500 Дж/с. Определите тепловую мощность этого генератора и соответствующую массу находившегося в нем $^{90}SrTiO_3$ через 30 дней после начала эксплуатации. При расчете полагать, что кинетическая энергия частиц полностью преобразуется в тепловую.
Периоды полураспада ^{90}Sr и ^{90}Y равны 28,7 лет и 64,4 ч, соответственно.
Максимальная энергия β-частиц ^{90}Sr равна 546 кэВ (р = 100%), β-частиц ^{90}Y – 2274 кэВ (р = 100%)

Ответ: $m(^{90}SrTiO_3)$ ….(г)

Задание «Ослабление потоков ИИ»

Параллельные потоки моноэнергетических электронов, β^-- частиц и α-частиц проходят через алюминиевые экраны толщиной 1 мм. Энергия частиц каждого типа равна 1,0 МэВ, плотность их потоков 1000 $см^{-2}\cdot с^{-1}$. Оцените плотность потока частиц за экраном.

Экран $d = 2{,}7 \cdot 0{,}1 = 0{,}27$ г/$см^2$.

Для электронов R_{max}= 412 мг/$см^2$ (см. решение **1**). Задерживается 65,5% потока, проходит 34,5%; за экраном плотность потока электронов ~340 $см^{-2}\cdot с^{-1}$.

Для β-частиц с энергией 1 МэВ R_{max} = 0,410 г/$см^2$, μ= 13 $см^2$/г (табл. П.4). Отношение d/R_{max} = 0,659 > 0,3. По графику зависимости коэффициента ослабления k от отношения d/R_{max} находим значение $k \approx 0{,}01$. Только 1 из 100 частиц проходит за экран; плотность потока за экраном ~ 10 $см^{-2}\cdot с^{-1}$.

Ответ II. 2 . F_e ~340 $см^{-2}\cdot с^{-1}$; F_β ~ 10 $см^{-2}\cdot с^{-1}$; $F\alpha = 0$