

### Лабораторная работа №13.

#### ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА РЕГИСТРАЦИЮ БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Как нам уже известно, методы измерения активности радионуклидов могут быть относительными и абсолютными. При относительных измерениях сравниваются между собой скорости счета для серии образцов одного и того же радионуклида. К категории относительных измерений относится так же сравнение измеряемого образца со стандартным (эталонным) образцом того же самого радионуклида, абсолютная активность которого заранее известна. Результаты относительных измерений активности очень часто выражаются в импульсах в минуту. Практически это удобно, хотя неявно подразумевает какие-то вполне определенные условия измерения – конкретный счетчик, данный тип излучения, конкретное расстояние от источника до счетчика и т.д. Несмотря на это, большинство измерений активности радионуклидов производится с помощью относительного метода, который оказывается вполне достаточным для решения целого ряда научных и практических задач.

Методы определения активности, основанные на подсчете полного числа распадающихся ядер, носят название абсолютных методов. В этом случае активность радиоактивного образца определяется непосредственно в абсолютных единицах – кюри, милликюри, микрокюри. Абсолютные измерения активности производят при помощи специальных так называемых  $4\pi$ -счетчиков, внутри которых помещается исследуемый радиоактивный образец. Это позволяет регистрировать излучение, испускаемое во всех направлениях, т.е. в пределах полного телесного угла  $4\pi$  ( $360^\circ$ ), и дает возможность исключить введение поправок на геометрию, поглощение и обратное рассеяние бета-излучения. Наряду с этим абсолютную активность (преимущественно бета-излучающих радионуклидов) часто определяют при помощи торцовых или цилиндрических счетчиков с фиксированной геометрией. В этом случае необходимо уметь правильно учитывать роль ряда факторов и вносить в результаты измерений соответствующие поправки. При всяких измерениях со счетчиками существенное влияние оказывают следующие факторы:

- 1) мертвое время счетчика;
- 2) фон;
- 3) воспроизводимость показаний;
- 4) геометрический фактор (величина относительного телесного угла);
- 5) эффективность счетчика;
- 6) поглощение бета-излучения в воздухе и стенках счетчика;
- 7) самопоглощение и саморассеяние бета-излучения в образце;
- 8) обратное рассеяние бета-излучения от подложки образца;
- 9) схема распада данного радионуклида;
- 10) статистические и другие ошибки измерений.

При абсолютных измерениях точный учет влияния всех перечисленных факторов совершенно необходим. Относительные измерения обычно требуют учета только первых трех поправок и вычисления статистических ошибок. Однако это справедливо лишь при условиях, обеспечивающих строгое постоянство действия других факторов при измерениях активности всех сравниваемых образцов. Например, если проводятся относительные измерения активности двух радиоактивных образцов различной толщины, то без учета самопоглощения бета-излучения в образцах результаты сравнивать нельзя. Если изменяется расстояние от образцов до счетчика, то необходимо вводить поправку на геометрический фактор. Поэтому изучение влияния каждого из 10 указанных факторов на результаты измерений тесно связано с требованием стандартизации условий относительных измерений. Если она в силу тех или иных причин нарушается, то необходимо вносить соответствующие поправки. Более подробно вопросы о влиянии всех упомянутых факторов на результаты относительных и абсолютных измерений, в том числе случаи, когда некоторыми из них можно пренебречь, будут рассмотрены в соответствующих работах.

В данной работе мы рассмотрим подробнее роль геометрических условий при измерении активности бета-излучающих радиоактивных образцов с помощью торцовых и цилиндрических счетчиков.

При измерении числа бета-частиц, испускаемых каким-либо радиоактивным образцом, прежде всего следует иметь в виду, что в подавляющем большинстве случаев в счетчик попадает (соответственно регистрируется прибором) только часть излучения, испускаемого исследуемым радиоактивным образцом. Связано это с тем, что излучение одинаково испускается образцом (источником) во всех направлениях, т.е. изотропно во все стороны пространства. А по направлению к чувствительному объему счетчика вылетает лишь часть бета-излучения. Эта часть излучения заключена в пределах некоторого телесного угла  $\alpha$ , под которым чувствительный объем счетчика "виден" из центра радиоактивного образца. Очевидно, что этот телесный угол и, следовательно, доля бета-излучения, регистрируемая счетчиком, зависят от радиуса окна счетчика  $r$  и расстояния от образца до чувствительного объема счетчика  $h$  (рис. 39).

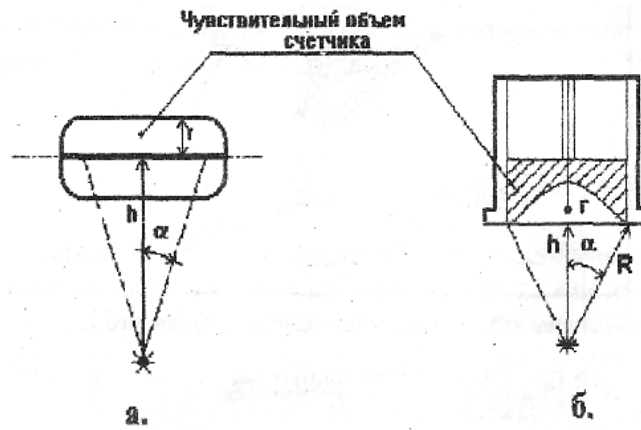


Рис. 39. Схема, поясняющая учет геометрического фактора:  
а – цилиндрический счетчик, б – торцовый счетчик.

Найдем величину телесного угла для торцового счетчика и точечного источника, расположенного на продолжении оси счетчика на расстоянии  $h$  от нижней границы его чувствительного объема. Под точечным обычно понимается источник, поперечные размеры которого много меньше диаметра окна счетчика и расстояния до счетчика. Необходимо учитывать, что чувствительный объем счетчика начинается на некотором расстоянии за окном торцового счетчика, которое определяется положением и размером стеклянной бусинки на нити счетчика. Точное определение нижней границы чувствительного объема затруднительно. Ориентировочно можно считать, что она проходит несколько выше (на 1 мм) верхнего края бусинки.

Телесным углом называют часть пространства, заключенную внутри конической поверхности (воронки). Величину телесного угла с вершиной в точке  $O$  определяют как отношение площади, вырезаемой телесным углом на поверхности шара, описанного произвольным радиусом из центра  $O$ , к квадрату радиуса этого шара (рис.40):

$$\Omega = S_{ABCD} / R^2.$$

Поэтому телесный угон счетчика с вершиной в центре источника будет равен

$$\Omega = S / R^2,$$

где  $S$  - площадь сферического сегмента, отсекаемого на сфере радиуса  $R$  нижней границей чувствительного объема счетчика;

$R$  - образующая конуса, равная длине пути крайних бета-частиц, попадающих из источника в чувствительный объем счетчика.  $R^2 = h^2 + r^2$ , откуда  $R = \sqrt{h^2 + r^2}$  (рис.39б).

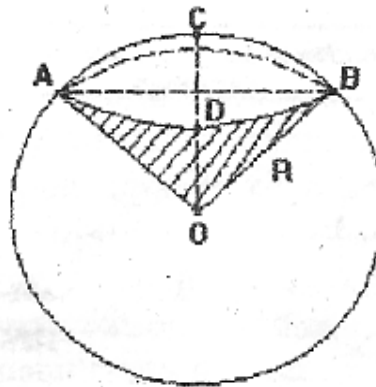


Рис.40. К определению величины телесного угла.

Зная, что площадь сферического сегмента определяется как  $S = 2\pi R(R-h)$ , и заменяя  $R$  на  $\sqrt{h^2 + r^2}$ , получим

$$\Omega = \frac{S}{R^2} = \frac{2\pi R(R-h)}{R^2} = 2\pi \frac{R-h}{R} = 2\pi \left(1 - \frac{h}{R}\right) = 2\pi \left(1 - \frac{h}{\sqrt{h^2 + r^2}}\right), \quad (1)$$

где  $h$  - расстояние от источника до чувствительного объема счетчика;

$r$  - радиус окна счетчика.

**Геометрический фактор (величина относительного телесного угла)** определяет, какая доля от общего числа  $N_0$  частиц, испускаемых источником изотропно по всем направлениям, направлена в чувствительный объем счетчика, то есть:

$$\omega = N/N_0, (\omega < 1), \quad (2)$$

где N - число частиц, летящих в чувствительный объем счетчика.

Это соотношение учитывает только геометрические условия, игнорируя действие других факторов. С другой стороны, геометрический фактор равен отношению телесного угла  $\Omega$  к полному телесному углу  $4\pi$ , в котором распространяется излучение источника. Таким образом,  $\omega = \Omega/4\pi$ , учтем формулу (1) и для торцового счетчика получим

$$\omega = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{h}{\sqrt{h^2 + r^2}}\right). \quad (3)$$

По определению косинуса некоторого угла в прямоугольном треугольнике это есть отношение прилежащего катета к гипотенузе (см. рис.40), то есть  $\cos\alpha = h/R = h/\sqrt{h^2 + r^2}$ .

$$\text{Тогда } \omega = 0,5(1 - \cos\alpha), \quad (4)$$

где  $\alpha$  - половина апертуры угла, под которым чувствительный объем счетчика "виден" из источника. Преобразовав формулу (3), получим

$$\omega = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + (h^2 + r^2)}}\right). \quad (5)$$

Как видно из данной формулы, величина геометрического фактора  $\omega$  увеличивается с увеличением радиуса  $r$  окна счетчика и уменьшением расстояния  $h$  от образца до чувствительного объема счетчика. Значения геометрического фактора  $\omega$  для различных соотношений  $h/r$  в случае точечного источника приведены в табл. 13.

Таблица 13. Геометрический фактор для торцового счетчика,  $\omega$

h/r	$\omega$	h/r	$\omega$	h/r	$\omega$	h/r	$\omega$
0,05	0,475	0,50	0,275	1,6	0,076	5,0	0,0097
0,10	0,450	0,60	0,245	1,8	0,063	6,0	0,0068
0,15	0,425	0,70	0,215	2,0	0,053	7,0	0,00505
0,20	0,400	0,80	0,190	2,5	0,037	8,0	0,00385
0,25	0,375	0,90	0,165	3,0	0,0255	9,0	0,00305
0,30	0,355	1,00	0,146	3,5	0,0195	10,0	0,0025
0,35	0,335	1,2	0,116	4,0	0,015		
0,40	0,315	1,4	0,093	4,5	0,012		

Укажем, что в случае цилиндрического счетчика для достаточно малого источника (предполагается, что размеры источника меньше радиуса катода счетчика), расположенного на расстоянии  $h$  от оси счетчика (см.рис.39), геометрический фактор вычисляется по формуле:

$$\omega = \frac{1}{180} \arcsin \frac{r}{h}, \quad (6)$$

где  $r$  - внутренний радиус катода;

$h$  - расстояние от источника до (нити) оси счетчика;

$\arcsin$  - выражается в градусах, тогда  $\omega$  получается в долях полного телесного угла.

Если на близком расстоянии от окна счетчика поставить круглую диафрагму, диаметр которой меньше его диаметра, то геометрический фактор по-прежнему будет выражаться формулой (3), но  $r$  будет соответствовать радиусу отверстия диафрагмы, а  $h$  - расстоянию от источника до верхней плоскости диафрагмы (рис. 41).

Диафрагмы изготавливают обычно из алюминия или латуни толщиной не менее слоя полного поглощения бета-частиц исследуемого радионуклида. Края диафрагмы делают скошенными по направлению крайних лучей от источника. Применение диафрагм позволяет точнее фиксировать относительный телесный угол, особенно если неизвестно точное положение чувствительного (эффективного) объема счетчика, Одновременно улучшается воспроизводимость показаний прибора. При измерениях высокой точности следует учитывать, что телесный угол счетчика частично экранируется бусинкой на конце нити.

При относительных измерениях активности бета-излучающих образцов последние помещают по возможности на одном и том же расстоянии от счетчика.

Но иногда приходится изменять расстояние, чтобы подобрать оптимальную скорость счета. Кроме того, нельзя гарантировать отсутствие смещений по вертикали центров образцов, что может быть связано с раз-

личной толщиной подставки, чашечки и т.п. Ошибки, обусловленные некоторым различием во взаимном расположении образца и счетчика, резко возрастают по мере приближения образца к счетчику.

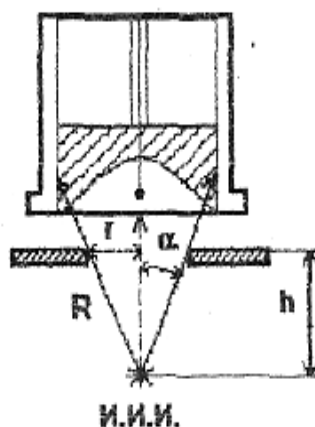


Рис. 41. К определению геометрического фактора при помощи диафрагмы.

Одновременно сильнее сказывается и неравномерность распределения активности в образцах. Поэтому при относительных измерениях рекомендуется помещать образцы по возможности дальше от счетчика. Но при этом необходимо учитывать, что при увеличении расстояния возрастает поглощение и рассеяние бета-излучения в воздухе, и из-за уменьшения величины телесного угла падает скорость счета.

Если размеры образца таковы, что он не может рассматриваться как точечный источник, то значения геометрического фактора будут отличаться от рассчитанных по формуле (3). Это особенно сказывается при расстояниях  $h \approx (0,5 \dots 0,7) \cdot r$ . При  $h > 2r$  поперечные размеры образца не так сильно влияют на величину телесного угла. В этом случае рекомендуется измерять образцы, диаметр которых не превышает радиуса окна счетчика. При этом с точностью до 2% можно пользоваться значениями, соответствующими точечному источнику.

Исходя из вышеизложенного, следует заключить: если при относительных измерениях сравниваются скорости счета двух или нескольких образцов, измеренные на различных расстояниях от окошка счетчика, необходимо для каждого из образцов определить геометрический фактор и ввести соответствующую поправку в результаты измерений.

При абсолютных измерениях активности бета-излучателей методом торцового счетчика с фиксированной геометрией (телесный угол фиксируется диафрагмой с калиброванным отверстием) поправка на геометрический фактор является необходимой и значительной. Погрешность в определении при этом методе составляет 1-2%. Для определения числа частиц  $N_0$ , испускаемых источником в единицу времени в полный телесный угол  $4\pi$ , нужно измеренную скорость счета  $N$  разделить на геометрический фактор по формуле (2). Этот расчет весьма приближенно дает число частиц, испускаемых источником в единицу времени, так как не учитывается поглощение и рассеяние излучения в воздухе и окошке счетчика, обратное отражение от подложки, самопоглощение в образце и т.д. Влияние этих факторов будет рассмотрено в других работах.

## Задание 2. Оценка абсолютной активности радиоактивного источника методом торцового счетчика с фиксированной геометрией.

### Выполнение работы:

1. Повторите пункты 1-4 задания 1;
2. На вторую позицию столика (отсчет позиций идет сверху вниз) поместите алюминиевую диафрагму с большим отверстием. Радиоактивный источник установите на шестую позицию столика;
3. Измерьте в течение 5 минут активность источника. Рассчитайте скорость счета  $N$  в имп/мин. Результаты измерений занесите в табл. 15;
4. Определите скорость счета без фона  $N_0$ . Результат запишите в табл. 15;
5. Определите расстояние от источника до верхней плоскости диафрагмы  $h$ . Толщина диафрагмы – 1 мм. Расстояние между соседними позициями – 5 мм. Результат запишите в табл. 15;
6. Найдите отношение  $r/h$ . Учтите, что  $r$  – радиус отверстия диафрагмы. Результат вычислений занесите в табл. 15;
7. Определите геометрический фактор по формуле (5). Результат вычислений занесите в табл. 15;
8. Пользуясь значением геометрического фактора  $\omega$  и соответствующей ему скорости счета  $N_0$ , определите число частиц  $N_{пр}$ , испускаемых источником в 1 минуту в полный телесный угол  $4\pi$ . При этом используют соотношение  $N_{пр} = N_0 / \omega$ . Полученный результат занесите в табл. 15;
9. Не меняя диафрагму, установите источник на 10-ю позицию столика и повторите пункты 3-8;
10. Не меняя диафрагму, установите источник на 14-ю позицию столика и повторите пункты 3-8;

Таблица 15. Результаты измерений

Радиус диафрагмы $g$ , мм	Расстояние $h$ , мм	$g/h$	$\omega$	Время измерения $t$ , мин	$n$ , имп.	Скор. счета $N=n/t$	Скорость счета без фона $N_0=N-N_{ф}$ , имп/мин.	$N_{пр}=N_0/\omega$
4				5				
4				5				
4				5				
2				5				
2				5				
2				5				

11. Замените диафрагму с большим отверстием на диафрагму с меньшим отверстием. Установите источник на 6-ю позицию столика;
12. Повторите пункты 3-8;
13. Не меняя диафрагму, установите источник на 10-ю позицию столика и повторите пункты 3-8;
14. Не меняя диафрагму, установите источник на 14-ю позицию столика и повторите пункты 3-8;
15. Оцените точность измерения по формуле  $E=m/\bar{N} \cdot 100\%$ ;
16. Определите абсолютную активность источника в микрокюри ( $1\text{мкКи} = 3,7 \cdot 10^4 \text{расп/с}$ ), пользуясь соотношением:

$$\bar{A} = \frac{\bar{N}}{3,7 \cdot 10^4 \cdot 60} = \frac{\bar{N}}{2,22 \cdot 10^6}.$$

17. Постройте график зависимости геометрического фактора  $\omega$  от расстояния  $h$ , используя данные табл. 15. По оси ординат (вертикальная ось) отложите значение геометрического фактора  $\omega$ . По оси абсцисс (горизонтальная ось) отложите расстояние  $h$  в мм;
18. Сравните полученные значения  $N_{пр}$  для диафрагм разных диаметров, но для одного и того же расстояния  $h$  (используйте данные табл. 15). Сделайте вывод о том, как влияет уменьшение (увеличение) радиуса  $g$  диафрагмы на величину геометрического фактора  $\omega$ ;
19. Если в обоих, заданиях вам раздавался источник одной и той же активности, то сравните, в каком случае (без диафрагмы или методом с фиксированной геометрией) точность результатов измерений выше. Объясните почему?

### Контрольные вопросы

1. Какие методы измерений вы знаете?
2. Определите, какие измерения являются относительными?
3. Какие методы измерения являются абсолютными?
4. В чем сущность метода с фиксированной геометрией?
5. Какие факторы оказывают существенное влияние при любых измерениях бета-излучающих источников (образцов)?
6. Учет каких факторов необходим при абсолютных и относительных измерениях?
7. Дайте понятие телесного угла.
8. Как определить величину телесного угла  $\Omega$  ?
9. Дайте определение геометрического фактора  $\omega$ .
10. Чем отличается геометрический фактор  $\omega$  от телесного угла  $\Omega$ ?
11. Как зависит геометрический фактор  $\omega$  от расстояния  $h$  между источником и чувствительным объемом счетчика?
12. Как зависит геометрический фактор  $\omega$  от радиуса  $g$  окна счетчика (радиуса отверстия диафрагмы)?
13. В каком случае применяют диафрагмы?
14. В каких случаях нельзя использовать формулу (5) для расчета геометрического фактора  $\omega$ ?
15. Как учесть геометрический фактор  $\omega$  при определении числа частиц, испускаемых источником (образцом) в единицу времени в полный телесный угол?
16. При расчете геометрического фактора  $\omega$  для цилиндрического счетчика что обозначают  $g$  и  $h$ ?
17. При использовании метода с фиксированной геометрией, как определяют  $g$  и  $h$ ?
18. Можно ли принять измеренную абсолютную активность радиоактивного источника за истинную? Ответ поясните.