

## Лабораторная работа. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА ПОЛУРАСПАДА РАДИОНУКЛИДОВ

Для совокупности большого числа ядер число актов распада в единицу времени прямо пропорционально наличному количеству ядер. Это так называемый основной закон радиоактивного распада, который в дифференциальной форме записывается следующим образом:

$$-\frac{dN}{dt} = A = \lambda \cdot N, \quad (4.1)$$

где  $N$  – количество имеющихся радиоактивных ядер;

$\lambda$  – постоянная распада,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\frac{dN}{dt}$  – скорость распада (количество ядер радионуклида  $dN$ , которое распадается за интервал времени  $dt$ , т.е. это активность  $A$ ). Минус указывает на уменьшение количества радиоактивных ядер с течением времени.

Эта зависимость может быть представлена также в виде

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (4.2)$$

где  $N_t$  – количество ядер в момент времени  $t$ ;

$N_0$  – исходное количество ядер.

Время, за которое количество ядер радионуклида уменьшается вдвое, называется периодом полураспада ( $T_{1/2}$ ). Он указывает степень устойчивости ядра атома. Единицы измерения: секунда, час, день и т. д.

При  $t = T_{1/2}$   $N_t = N_0/2$ , тогда из уравнения (4.2) следует:

$$e^{-\lambda T} = \frac{1}{2},$$

откуда  $\lambda \cdot T = \ln 2 = 0,693$ , т.е. период полураспада и постоянная распада связаны между собой соотношением

$$T_{1/2} = 0,693/\lambda. \quad (4.3)$$

Каждый радиоактивный изотоп характеризуется своими значениями постоянной радиоактивного распада (постоянная распада)  $\lambda$  и периода полураспада  $T_{1/2}$ , которые являются справочными величинами. Постоянная распада указывает на относительное уменьшение количества радиоактивных ядер за определенное время, т. е. это доля атомов радиоактивного изотопа, распадающихся за единицу времени. Измеряется постоянная распада в единицах, обратных времени ( $\text{с}^{-1}$ ,  $\text{ч}^{-1}$ ,  $\text{день}^{-1}$  и т. д.).

Отсюда видно, что чем больше значение периода полураспада, тем меньше значение постоянной распада (распад идет медленнее) и, наоборот, чем меньше значение периода полураспада, тем больше значение постоянной распада.

Следует отметить, что значения периода полураспада и постоянной распада не зависят от внешних условий и определяются лишь свойствами самого радиоактивного ядра. Естественно, каждый радиоактивный изотоп имеет свое значение периода полураспада и постоянной распада. Численные значения этих величин определяются экспериментально.

**Цель работы:** освоить методики экспериментального определения периодов полураспада радиоактивных изотопов.

### Задание 4.1. Определение периода полураспада долгоживущего радионуклида

Если период полураспада радиоактивного изотопа настолько велик, что за время исследования активность препарата практически не меняется, то используют дифференциальную форму основного закона радиоактивного распада:

$$A = \lambda \cdot N.$$

С учетом соотношения (4.3) получаем

$$T_{1/2} = \frac{0,693 \cdot N}{A},$$

Чтобы найти количество имеющихся радиоактивных ядер  $N$ , нужно определить массу исследуемого изотопа и увязать ее с постоянной Авогадро:

$$N = \frac{m \cdot N_A}{M},$$

где  $m$  – масса исследуемого изотопа, г;

$N_A$  – постоянная Авогадро, равная  $6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>;

$M$  – молярная масса изотопа, г/моль.

В итоге получаем

$$T_{1/2} = \frac{0,693 \cdot m \cdot N_A}{A \cdot M}, \quad (4.4)$$

где  $a_m$  – удельная активность пробы, измеренная радиометром, Бк/кг;

$m_{\text{соли}}$  – масса исследуемой пробы, определяемая взвешиванием, кг.

В работе определяется период полураспада естественного радионуклида –  $^{40}\text{K}$ . Природный калий – это смесь изотопов калия, состоящая из  $^{39}\text{K}$  – 93,08%,  $^{40}\text{K}$  – 0,0118%,  $^{41}\text{K}$  – 6,91%. Из них  $^{40}\text{K}$  является радиоактивным изотопом.

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320 (РКГ-01 или радиометр КРВП-ЗБ), весы лабораторные, соли калия (KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> или др.)

### Выполнение работы

1. Подготовьте к работе радиометр.
2. Измерьте фон счетчика.
3. Определите массу пробы  $m_{\text{пробы}}$  (взвешиванием).
4. Измерьте удельную активность  $^{40}\text{K}$  в пробе и рассчитайте ее активность по формуле  $A = a_m \cdot m_{\text{пробы}}$ ,

где  $a_m$  – удельная активность пробы, Бк/кг;

$m_{\text{пробы}}$  – масса исследуемой пробы, кг.

5. Исходя из химической формулы соли и массы пробы ( $m_{\text{пробы}}$ ), определите общее содержание калия в пробе.

Например, в опыте используется проба сернокислого калия массой 1350 г. Молярная масса K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$$M = 39 \cdot 2 + 31 + 16 \cdot 4 = 173 \text{ г/моль.}$$

Общее содержание калия в пробе определяется из пропорции

173 г K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> содержит 78 г K, а

1350 г – X г.

Отсюда  $x = 1350 \cdot 78 / 173 = 608,7$  г.

6. Зная, что содержание изотопа  $^{40}\text{K}$  в природной смеси изотопов калия равно 0,0118%, определите количество радиоактивного калия в пробе в граммах:

$$m = \frac{608,7 \cdot 0,0118}{100} = 0,072 \text{ г.}$$

6. Подставьте полученные значения  $m$  и  $A$  в формулу (4.4) и рассчитайте период

полураспада  $^{40}\text{K}$  в секундах и годах.

7. Полученный результат сравните со справочным.

### Задание 4.2. Определение периода полураспада короткоживущего изотопа

Метод, описанный здесь, применяется для определения периодов полураспада, лежащих в интервале от нескольких минут до нескольких месяцев или даже лет. Этот метод основан на использовании интегральной формы основного закона радиоактивного распада:

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

где  $A_t$  – регистрируемая активность в момент времени  $t$ ;

$A_0$  – регистрируемая активность в начальный момент времени, т.е.  $t = 0$ ;

$\lambda$  – постоянная распада;

$t$  – время, в течение которого ведется наблюдение.

На практике поступают следующим образом. В строго постоянных условиях через некоторые промежутки времени определяют регистрируемую активность  $A_t$  данной пробы. Измерения продолжают до тех пор, пока активность не уменьшится по крайней мере в два раза.

При обработке результатов экспериментальных данных необходимо построить график распада данного изотопа. По оси абсцисс (горизонтальная ось) откладывается время  $t$ , прошедшее с момента начала измерений, а по оси ординат (вертикальная ось) – регистрируемая активность  $A_t$  или же ее логарифм, в зависимости от того, применяют полулогарифмическую или миллиметровую бумаги.

Если имеется полулогарифмическая бумага, то достаточно нанести значения регистрируемых активностей в зависимости от времени. Через полученные точки проводят прямую. Далее находят с помощью графика время, по истечении которого регистрируемая активность снизится в два раза. Это время и будет периодом полураспада.

При построении графика на миллиметровой бумаге находят значения логарифмов регистрируемой активности и наносят их на бумагу в зависимости от времени. Получают график. На оси ординат находят отрезок, численно равный  $\lg 2$  (отрезок, ординаты начала и конца которого отличаются между собой на  $\lg 2 = 0,3010$ ), и проектируют этот отрезок на ось абсцисс, определяя тем самым период полураспада. Постоянную распада можно определить графически через тангенс угла наклона построенной прямой к оси абсцисс.

**Материалы и оборудование:** радиометр КРВП-ЗБ; радиоактивный раствор фосфора-32; алюминиевые чашечки; вытяжной шкаф, инфракрасная лампа.

### Выполнение работы

1. Подготовьте к работе радиометр (см. работу №3 п.1–5).
2. С помощью пипетки поместите 2–3 капли радиоактивного раствора фосфора-32 в алюминиевую чашечку.
3. Высушите пробу. Для этого алюминиевую чашечку с раствором поставьте под инфракрасную лампу в вытяжной шкаф с включенной вентиляцией.
4. Поставьте чашечку с пробой на подставку, поместите в блок детектирования и измерьте число импульсов  $n_i$  за 5 мин ( $i$  – номер измерения). Рассчитайте скорость счета от радиоактивного источника с фоном:  $N_{i+f} = n_{i+f}/5$ .
5. Подсчитайте скорость счета от радиоактивного источника:  $N_i = N_{i+f} - N_f$ .
6. Выньте чашечку с пробой из блока детектирования и поместите в шкаф для хранения.
7. Через 7 и 14 суток снова произведите аналогичные измерения (до уменьшения

активности пробы минимум в два раза).

8. Результаты измерений и расчеты занесите в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Результаты измерений и расчетов

Номер изм.	Дата проведения измерения (число, месяц, часы, минуты)	Число импульсов от радиоактивного источника с фоном $n_{i+f}$ имп	Скорость счета от радиоактивного источника с фоном $N_{i+f}$ имп/мин	Скорость счета фона $N_f$ имп/мин	Скорость счета от радиоактивного источника $N_i$ имп/мин	Время, прошедшее от начала измерений $t$ , сут.
1						
2						
3						

9. Постройте график и определите период полураспада.

### Контрольные вопросы

1. Какими величинами характеризуется каждый радиоактивный изотоп?
2. Каков физический смысл постоянной распада?
3. Что называется периодом полураспада?
4. В каких единицах измеряется постоянная распада?
5. В чем измеряется период полураспада?
6. Как связаны между собой постоянная распада и период полураспада?
7. Влияют ли внешние условия на значения периода полураспада и постоянной распада?
8. Как определяются периоды полураспада долгоживущих изотопов?
9. Как определяется общее содержание калия в пробе?
10. Как определяется содержание радиоактивного калия в пробе?
11. Как определяются периоды полураспада короткоживущих радионуклидов?