

## Работа 5.13

### Определение периода полураспада долгоживущего изотопа

**Оборудование:** счетная установка, соль калия (KCl), секундомер, эталонный препарат.

#### Введение

Ядра большого количества изотопов могут самопроизвольно превращаться друг в друга. При этом происходит излучение  $\alpha$  -,  $\beta$  - и  $\gamma$  -лучей, а иногда и других частиц. Это явление называется *радиоактивным распадом*.

Радиоактивный распад носит вероятностный характер, и зависит только от внутреннего состояния ядра. Никакие внешние действия (нагревание, давление, влажность и др.) на скорость радиоактивного распада воздействия не оказывают. Радиоактивность изотопов не зависит также от того, находятся они в чистом виде или входят в состав каких-либо химических соединений. Радиоактивный распад является процессом *статистическим*. Каждое ядро распадается независимо от других ядер. Нельзя сказать, когда конкретно распадется данное радиоактивное ядро. Для отдельного ядра можно лишь указать вероятность распада за определенное время. Вероятность распада за единицу времени определяется *постоянной радиоактивного распада* и обозначается буквой  $\lambda$ . Если имеется большое число  $N$  одинаковых нестабильных ядер, то их уменьшение  $dN$  за интервал времени  $dt$  пропорционально числу ядер  $N$  и этому интервалу  $dt$ :

$$dN = -\lambda N dt. \quad (1)$$

Знак минус означает, что в процессе распада число радиоактивных ядер уменьшается. Учитывая, что постоянная распада не зависит от времени, после интегрирования выражения (1) получим:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где  $N_0$  — число радиоактивных ядер в момент времени  $t = 0$ ,  $N$  — число ядер, которые к моменту времени  $t$  еще не распались.

Промежуток времени, на протяжении которого число радиоактивных ядер изменяется в два раза, называется *периодом полураспада*  $T$ . Из формулы (2) находим:  $N/N_0 = e^{-\lambda t} = 1/2$ , откуда

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (3)$$

Из выражения (1) можно определить число распадов, происходящих за единицу времени

$$A = - \frac{dN}{dt} = \lambda N. \quad (4)$$

Эта величина характеризует интенсивность излучения радиоактивного препарата (скорость распада) и называется его *активностью*.

По известной величине  $\lambda$  можно вычислить *среднее время жизни* радиоактивных изотопов:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}. \quad (5)$$

Диапазон значений периода полураспада разных нестабильных изотопов очень большой (от миллиарда лет до долей секунды), поэтому методы измерения величины  $T$  разных изотопов значительно отличаются друг от друга.

Для определения периода полураспада  $T$  (или постоянной распада  $\lambda$ ) короткоживущего изотопа достаточно исследовать кривую распада, это означает, что необходимо определить зависимость активности препарата от времени. При определении периода полураспада долгоживущих изотопов этот метод уже использовать нельзя, так как во время измерений активность препарата будет оставаться неизменной:

$$A = \lambda N. \quad (6)$$

Однако, если известно число атомов исследуемого изотопа  $N$ , то постоянная распада

$$\lambda = \frac{A}{N}, \quad (7)$$

а период полураспада

$$T = \frac{0,693}{\lambda} = 0,693 \frac{N}{A}. \quad (8)$$

В эксперименте достаточно определить абсолютную активность препарата  $A$ . В данной работе определяется период полураспада долгоживущего изотопа  $^{40}_{19}\text{K}$ . Препарат готовится из соли хлористого калия (KCl).

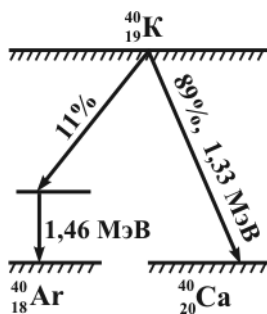
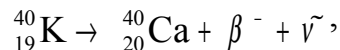


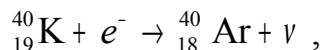
Рис. 5.34

Известно, что природный калий состоит из трех изотопов  $^{39}_{19}\text{K}$ ,  $^{40}_{19}\text{K}$ ,  $^{41}_{19}\text{K}$ , причем изотоп  $^{40}_{19}\text{K}$ , доля которого в природном калии составляет 0,0119 %, радиоактивный. Большая часть его атомов при электронном  $\beta^-$ -распаде превращается в кальций:



где  $\tilde{\nu}$  — антинейтрино.

Вторая часть (около 11 %) превращается в аргон в результате процесса  $K$ -захвата:



который сопровождается выходом нейтрино  $\nu$ . При этом  ${}^{40}_{18}\text{Ar}$  находится в возбужденном состоянии и при переходе в основное состояние излучает  $\gamma$  - квант с энергией 1,46 МэВ. Схема распада изотопа  ${}^{40}_{19}\text{K}$  приведена на рис. 5.34.

Число радиоактивных атомов  $N$  в препарате с KCl может быть определено, если известна масса препарата и процентное содержание калия в природной смеси его изотопов. Число атомов калия  $n$  в массе соли KCl определим из соотношения:

$$\frac{m}{M} = \frac{n}{N_A}, \quad (9)$$

где  $M = 74,55 \cdot 10^{-3}$  кг/моль — молярная масса KCl,  $N_A = 6,025 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup> — постоянная Авогадро.

Если учесть, что в природной смеси изотопов калия содержится  $\beta = 0,0119$  % радиоактивного изотопа  ${}^{40}_{19}\text{K}$ , то можно определить число радиоактивных атомов калия в препарате:  $N = \beta n$ . С учетом выражения (9)

$$N = \beta \frac{m}{M} N_A. \quad (10)$$

После подстановки выражения (10) в соотношение (8), получим:

$$T = 0,693\beta \frac{m}{M} \frac{N_A}{A}. \quad (11)$$

Таким образом, для определения периода полураспада долгоживущего изотопа  $T$  необходимо определить массу препарата  $m$  и его активность  $A$ .

**Описание установки и метода.** Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 5.35.

Радиоактивный препарат KCl 1 расположен вблизи слюдяного окошка торцового счетчика Гейгера — Мюллера 2, который питается от выпрямителя 3.

Импульсы, возникающие при попадании в счетчик  $\beta$  - частиц, усиливаются усилителем 4 и подсчитываются декартонным счетчиком 5.

При определении абсолютной активности препарата с помощью торцового счетчика, необходимо учитывать, что счетчик регистрирует не все  $\beta$  - частицы, излучаемые препаратом. Часть из них не попадает в рабочий объем счетчика, часть поглощается воздухом и слюдой, имеет место рассеивание и поглощение  $\beta$  - частиц в самом препарате и т. д. Все это приводит к необходимости введения поправок, точный подсчет которых не всегда возможен.

Поэтому часто пользуются *методом относительных измерений активности препарата*. Этот метод можно использовать при наличии эталонного источника радиоактивного излучения с известной активностью  $A_э$ , такой же формы и размеров, содержащий такой же радиоактивный изотоп, что и

Рис. 5.35

исследуемый препарат. В этом случае все поправочные коэффициенты для исследуемого и эталонного препаратов будут одинаковые и отношение зарегистрированных импульсов исследуемого  $n$  и эталонного  $n_{\text{э}}$  препаратов будет равно отношению их активностей:

$$\frac{n}{n_{\text{э}}} = \frac{A}{A_{\text{э}}},$$

отсюда

$$A = A_{\text{э}} \frac{n}{n_{\text{э}}}. \quad (12)$$

### Порядок выполнения работы

1. Включите установку и дайте ей прогреться. По фону счетчика ( $n_{\text{ф}}$ ) установите его рабочий режим.
2. Подготовьте образец препарата с KCl (навеска 0,5 г — 1 г).
3. Установите исследуемый образец под окошко счетчика на расстоянии (1 — 2) см. Определите скорость подсчета  $n$ . Введите поправку на фон.
4. Вместо исследуемого образца под окошко счетчика на таком же расстоянии установите эталонный образец. Определите скорость подсчета  $n_{\text{э}}$ . Введите поправку на фон. Измерьте скорость подсчета исследуемого, эталонного препаратов и фона со статистической точностью 5 %.
5. По формуле (12) определите активность препарата  $A$ . Активность эталонного препарата указана на установке. Введите поправку на схему распада (из всех радиоактивных ядер изотопа  $\beta$ -активными являются только 89 %).
6. По формуле (11) определите период полураспада. Сравните полученные значения с табличными. Результаты запишите в таблицу:

№ п/п	$M$ , кг/моль	$m$ , г	$n_{\text{ф}}$	$n$	$n_{\text{э}}$	$A_{\text{э}}$ , Бк	$A$ , Бк	$T$ , сут	$T_T$ , сут
-------	---------------	---------	----------------	-----	----------------	---------------------	----------	-----------	-------------



### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните, как понимать выражение «ядра не стареют»?
2. Запишите различные варианты закона радиоактивного распада.
3. Что характеризует активность распада? От чего она зависит?
4. Сформулируйте правило смещения при электронном  $\beta$ -распаде.
5. При каких условиях электронный  $\beta$ -распад сопровождается излучением  $\gamma$ -квантов?

6. Почему при измерении абсолютной активности препарата необходимо вводить поправку на скорость подсчета?

7. При каких условиях можно использовать относительный метод измерения  $\beta$ -активности?

8. Каким образом вводят поправку на схему распада?

9. В каких единицах измеряется активность препарата?

10. Каким из четырех типов фундаментальных взаимодействий обусловлен  $\beta$ -распад? Поясните.