

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА ПОЛУРАСПАДА РАДИОАКТИВНОГО ДОЛГОЖИВУЩЕГО ИЗОТОПА КАЛИЯ

Лабораторный практикум по ядерной физике

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2015

Определение периода полураспада радиоактивного долгоживущего изотопа калия

Цель работы: Изучение явления радиоактивности. Определение периода полураспада $T_{1/2}$ ядер радиоактивного изотопа К-40 (калий-40).

Оборудование:

- измерительная установка;
- мерный образец, содержащий известную массу хлористого калия (KCl);
- эталонный препарат (мера активности) с известной активностью К-40.

Теоретическая часть

В настоящее время известно большое количество изотопов всех химических элементов, ядра которых могут самопроизвольно превращаться друг в друга. В процессе превращений ядро испускает один или несколько видов так называемых ионизирующих частиц: альфа-(α), бета-(β) и других, а также гамма-квантов (γ). Такое явление называется **радиоактивным распадом ядра**.

Радиоактивный распад носит вероятностный характер и зависит только от характеристик распадающегося и образующегося ядер. Внешние факторы (нагревание, давление, влажность и др.) на скорость радиоактивного распада воздействия не оказывают. Радиоактивность изотопов практически не зависит также от того, находятся они в чистом виде или входят в состав каких-либо химических соединений. Радиоактивный распад является процессом стохастическим. Каждое ядро распадается независимо от других ядер. Нельзя сказать, когда конкретно распадется данное радиоактивное ядро, но для отдельного ядра можно указать вероятность его распада за определенное время.

Самопроизвольный распад радиоактивных ядер происходит в соответствии с законом кинетики радиоактивного распада, согласно которому число ядер $dN(t)$, распадающихся за бесконечно малый промежуток времени dt , пропорционально числу нестабильных ядер, имеющих в момент времени t в данном источнике излучения (мерном образце):

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

В формуле (1) коэффициент пропорциональности λ называется **постоянной распада** ядра. Ее физический смысл – вероятность распада отдельно взятого нестабильного ядра в единицу времени. Другими словами, для источника излучения, содержащего в рассматриваемый момент большое количество нестабильных ядер $N(t)$, постоянная распада показывает **долю** ядер, распадаю-

Определение количества ядер К-40 в мерном образце

Известно, что природный химический элемент калий состоит из трех изотопов – К-39, К-40 и К-41. Один из этих изотопов, а именно радионуклид ${}^{40}_{19}\text{K}$, массовая доля которого в природном калии составляет 0,0119 % (*относительная распространенность $\eta = 0,000119$*), является нестабильным.

Число атомов $N_{\text{K-40}}$ (соответственно, и ядер) радионуклида ${}^{40}_{19}\text{K}$ в мерной пробе определяется следующим образом.

Полное число N_{K} атомов природного калия в мерной пробе, содержащей m граммов (указывается преподавателем) хлористого калия, находится из соотношения

$$\frac{m}{M_{\text{KCl}}} = \frac{N_{\text{K}}}{N_{\text{A}}},$$

где $M_{\text{KCl}} = 74,5 \text{ г/моль}$ – молярная масса КСl; $N_{\text{A}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ – постоянная Авогадро.

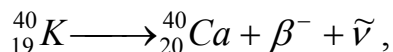
Следовательно, с учетом относительной распространенности, число атомов (ядер) радионуклида ${}^{40}_{19}\text{K}$ в мерной пробе будет определяться соотношением

$$N_{\text{K-40}} = \eta \cdot N_{\text{K}} = \eta \cdot \frac{m}{M_{\text{KCl}}} N_{\text{A}}. \quad (6)$$

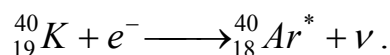
Определение активности радионуклида ${}^{40}_{19}\text{K}$ в мерном образце

Известно, что ядра радионуклида ${}^{40}_{19}\text{K}$ могут испытывать два вида ядерных превращений:

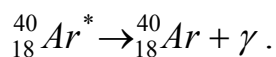
– с вероятностью $\nu_{\beta} = 0,89$ ядро К-40 превращается в ядро Са-40, испуская при этом β^{-} – частицу и антинейтрино (бета-распад):



– с вероятностью $\nu_{\gamma} = 0,11$ ядро захватывает электрон с ближайшей К-оболочки, превращаясь в ядро Аг-40 и испуская при этом нейтрино (электронный захват или К-захват):



Рожденное ядро аргона находится в возбужденном состоянии и практически мгновенно переходит в основное состояние, испуская при этом переходе γ – квант с энергией 1461 кэВ:



Вероятности выхода ν_β и ν_γ называются **относительным выходом β -частиц и γ – квантов на один распад ядра**, соответственно. На рис. 2 приведена схема распада К-40, иллюстрирующая вышеизложенное.

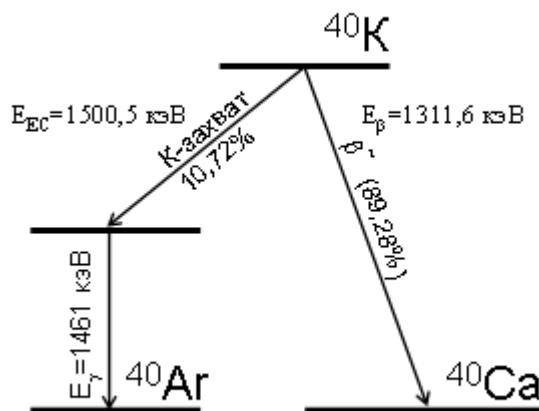


Рис. 2. Схема распада радионуклида ${}^{40}_{19}\text{K}$

Возникающие при радиоактивном распаде ядер ионизирующие частицы могут быть зарегистрированы специальной аппаратурой. В настоящей работе применяется измерительная установка, регистрирующая β -частицы, сопровождающие распад ядер радионуклида ${}^{40}_{19}\text{K}$, входящих в состав мерного образца.

Блок-схема измерительной установки приведена на рис. 3.

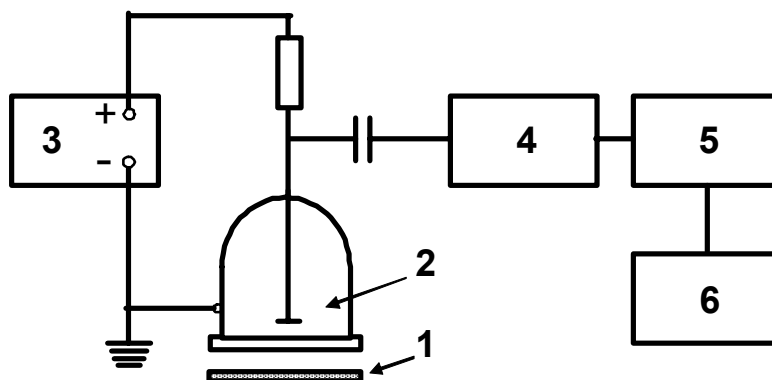


Рис. 3. Блок-схема измерительной установки:

1 – кювета с мерным образцом KCl; 2 – счетчик Гейгера-Мюллера;
3 – высоковольтный блок; 4 – формирователь импульсов; 5 – счетчик импульсов;
6 – таймер

Рассмотрим процесс регистрации бета-частиц, образующихся в мерном образце (источнике излучения), измерительной установкой:

- неизвестную активность радионуклида ${}^{40}_{19}\text{K}$ в мерном образце обозначим A_x . Это означает, что каждую секунду в образце распадается, в среднем, A_x ядер радионуклида ${}^{40}_{19}\text{K}$;

- регистрация излучения проводится в течение некоторого времени работы установки $t_{изм}$. Очевидно, что за это время в образце распадутся, в среднем, $A_x \cdot t_{изм}$ ядер;

- с учетом относительного выхода бета-частиц на один распад ядра, количество бета-частиц, рожденных в образце за время работы установки, будет равно $A_x \cdot t_{изм} \cdot \nu_\beta$;

- поскольку источник имеет конечные размеры, часть бета-частиц поглотится материалом самого источника. Вероятность Q поглощения бета-частицы, рожденной в источнике, материалом самого источника называют коэффициентом самопоглощения излучения. Отсюда следует, что из источника за все время измерения во всех направлениях (в телесный угол 4π) вылетит, в среднем, $A_x \cdot t_{изм} \cdot \nu_\beta \cdot (1-Q)$ бета-частиц;

- через детектор (счетчик Гейгера – Мюллера) пролетает только малая доля G всех вышедших из источника бета-частиц, зависящая от размеров и взаимного расположения образца и детектора. Остальные частицы пролетят мимо детектора. Поправка G называется геометрическим фактором системы «детектор – образец». Следовательно, полное количество бета-частиц, попавших за время работы установки из образца в рабочий объем детектора будет равно $A_x \cdot t_{изм} \cdot \nu_\beta \cdot (1-Q) \cdot G$;

- вследствие особенности работы детекторов ионизирующего излучения любых типов (в том числе и детекторов Гейгера-Мюллера), лишь некоторая доля ε (называемая эффективностью регистрации детектора) частиц, пролетевших через детектор, инициирует электрический импульс на его выходе. Остальные частицы детектор «не замечает». Данные электрические импульсы обрабатываются электронной схемой измерительной установки и регистрируются ее счетным устройством. Таким образом, за время работы установки счетное устройство зарегистрирует $n_X^{\Phi\Phi} = A_x t_{изм} \nu_\beta (1-Q) G \varepsilon$ «полезных» событий (импульсов), обусловленных распадом ядер K-40 в мерной пробе;

- одновременно с бета-частицами из мерного образца $n_X^{\Phi\Phi}$ – измерительная установка регистрирует и определенное количество n_ϕ – так называемых фоновых частиц, обусловленных естественной радиоактивностью окружающих строительных конструкций, конструкционных материалов, космического излучения и т. д.