

Определение содержания радиотория в веществах методом запаздывающих совпадений распадов атомов Tn^{220} и Po^{216}

А. А. ПОМАНСКИЙ, С. А. СЕВЕРНЫЙ

УДК 543.52:546.841

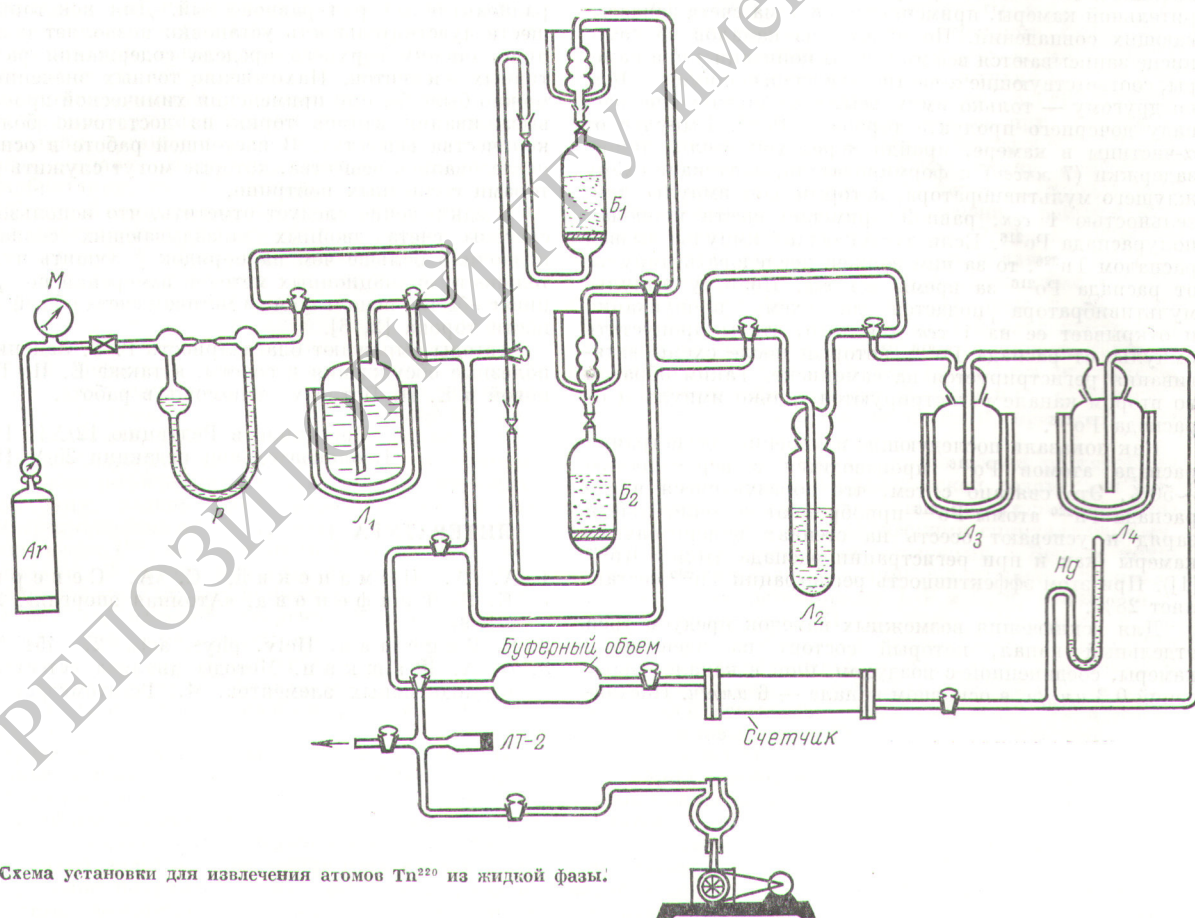
Для постановки экспериментов по регистрации излучений низкой интенсивности необходимо знать, каково содержание в детекторах излучений радиоактивных элементов, которые могут быть источниками фона. К числу таких радиоактивных элементов относятся U^{238} , Ra^{226} , Th^{232} , $RdTh^{228}$. По оценкам разных авторов, для регистрации, например, солнечных нейтрино содержание этих радиоактивных изотопов в разных детекторах должно быть на 4–5 порядков ниже содержания их на земле (кларковое содержание).

В связи с этим возникла проблема создания высокочувствительных методов, позволяющих измерять такую низкую концентрацию радиоактивных элементов в различных материалах. Метод определения сверхмалых количеств Ra^{226} был описан в работе [1]. В настоящей работе описывается высокочувствительный метод измерения содержания элементов ториевого ряда, основанный на счете запаздывающих совпадений между α -частицами распада атомов благородного газа Tn^{220}

и продукта его распада Po^{216} . Торон, являясь эманацией тория, имеет период полураспада $T_{1/4} = 54,5 \text{ сек}$ и распадается посредством испускания α -частицы с энергией 6,28 Мэв на Po^{216} , который в свою очередь также распадается с $T_{1/2} = 0,158 \text{ сек}$, испуская α -частицы с энергией 6,77 Мэв. Извлекая атомы торона из анализируемого раствора и регистрируя их распады, можно определить содержание $RdTh^{228}$, а также его предшественников по радиоактивному ряду в растворе.

Так как торон имеет относительно короткий период полураспада, для регистрации его распада необходимо создать такую систему, которая позволяла бы с наибольшей эффективностью за относительно короткое время ($< 1 \text{ мин}$) извлекать единичные атомы торона и регистрировать их распад.

На рисунке представлена схема такой установки. Торон непрерывно извлекается аргоном из анализируемого раствора и проходит через ионизационную камеру, где регистрируются распады Tn^{220} и Po^{216} . Аргон пред-

Схема установки для извлечения атомов Tn^{220} из жидкой фазы.

варительно проходит через ловушку L_1 , содержащую активированный уголь и охлаждаемую до -78°C для того, чтобы в ней поглощался торон, который может присутствовать в потоке газа — носителя аргона. Скорость потока газа-носителя измеряется с помощью реометра P и контролируется игольчатым вентилем. Один из барботеров B_1 наполняется эталонным раствором с известным содержанием в нем тория, другой B_2 — анализируемым раствором. После барботера газ поступает в ловушку L_2 (если в качестве анализируемого раствора используются кислоты), наполненную NaOH , для поглощения паров кислоты. Ловушки L_3 и L_4 охлаждаются до температуры -78°C для того, чтобы избежать конденсации паров при прохождении газа через ионизационную камеру. С помощью манометра Hg контролируется давление газа в системе, которое поддерживается постоянным и равным 800 мм рт. ст. Большая ионизационная камера объемом $3,6\text{ л}$ сделана из электролитической меди. Камера имеет окно из тонкой алюминиевой фольги толщиной 5 мк для градуировки внешним α -источником.

Система регистрации трехканальная. Запись импульсов производится на быстродействующем самописце типа НЗ20-3. Импульсы камеры поступают на усилитель и затем идут по двум каналам. Для того чтобы отличить импульсы, соответствующие распаду торона, от фоновых импульсов, возникающих при распаде радиоактивных элементов, присутствующих в стенках измерительной камеры, применяется система счета запаздывающих совпадений. По одному из каналов на самописце записываются все импульсы ионизационной камеры, соответствующие α -частицам с энергией выше 1 Мэв , по другому — только импульсы, соответствующие распаду дочернего продукта торона — Po^{216} . Импульс от α -частицы в камере, пройдя через усилитель, линию задержки (7 мксек) и формирователь, запускает схему ждущего мультивибратора, который дает импульс длительностью 1 сек , равной примерно шести периодам полураспада Po^{216} . Если запускающий импульс вызван распадом Tn^{220} , то за ним должен последовать импульс от распада Po^{216} за время $<1\text{ сек}$. Поэтому импульс мультивибратора подается на схему пропускания и открывает ее на 1 сек для того, чтобы пропустить импульс от распада Po^{216} , который после схемы задерживания регистрируется на самописце. Таким образом во втором канале регистрируются только импульсы от распада Po^{216} .

Как показали последующие измерения, регистрация распада атомов Po^{216} производится с вероятностью $\sim 50\%$. Это связано с тем, что образующиеся после распада Tn^{220} атомы Po^{216} приобретают положительный заряд и успевают осесть на стенках измерительной камеры (как и при регистрации распада атомов Rn^{222} [1]). При этом эффективность регистрации Tn^{220} составляет 28% .

Для исключения возможных наводок предусмотрен отдельный канал, который состоит из идентичной камеры, соединенной с воздухом. Фон в канале совпадений $0,3\text{ имп/ч}$, в основном канале — 6 имп/ч . Настоя-

Содержание (Q) радиотория и тория в некоторых веществах

Вещество	$Q(\text{RhTh}^{228})$, г радиотория г вещества	$Q(\text{Th}^{232})$, г тория г вещества	C , кюри/г
Жидкий сцинтиллятор уайт-спирит	$1,2 \cdot 10^{-19}$	$8,7 \cdot 10^{-10}$	$9,6 \cdot 10^{-17}$
Йодистый натрий	$1,3 \cdot 10^{-18}$	10^{-8}	$1,1 \cdot 10^{-15}$
Перхлорэтилен	$\leq 7,1 \cdot 10^{-20}$	$\leq 5,3 \cdot 10^{-10}$	$\leq 5,8 \cdot 10^{-17}$
Вода	$\leq 8,1 \cdot 10^{-20}$	$\leq 6 \cdot 10^{-10}$	$\leq 6,6 \cdot 10^{-17}$
Хлористый литий	$\leq 2,8 \cdot 10^{-19}$	$\leq 2,1 \cdot 10^{-9}$	$\leq 2,3 \cdot 10^{-16}$

Примечание. C — активность данного вещества.

щая методика позволяет измерять концентрацию до $7 \cdot 10^{-20}\text{ г RdTh}^{228}$ ($5 \cdot 10^{-10}\text{ г Th}^{232}$) на 1 мл раствора.

В таблице представлены результаты анализа некоторых веществ. Во второй графе таблицы приведено содержание Th^{232} , вычисленное в предположении, что радиоактивный ряд равновесный. Для некоторых веществ чувствительность установки позволяет получать лишь оценку верхнего предела содержания радиоактивных элементов. Нахождение точных значений возможно было бы при применении химической процедуры высаживания атомов тория из достаточно большого количества вещества. В настоящей работе в основном исследовались вещества, которые могут служить детекторами солнечных нейтрино.

В заключение следует отметить, что использование системы счета двойных запаздывающих совпадений позволило больше чем на порядок улучшить чувствительность эманационных методов измерений по сравнению с обычно используемым методом счета общей активности торона [2, 3].

Авторы выражают благодарность Г. Т. Зацепину за полезные обсуждения и советы, а также Е. П. Трифоновой и Е. П. Петрову за помощь в работе.

Поступило в Редакцию 12/XII 1969 г.
В окончательной редакции 25/V 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Поманский, С. А. Северный, Е. П. Трифонова. «Атомная энергия», 27, 36 (1969).
2. F. Begeman. Helv. phys. acta, 27, 451 (1954).
3. В. А. Шапкин. Методы анализа естественных радиоактивных элементов. М., Госатомиздат, 1961.