

97-180



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6-97-180

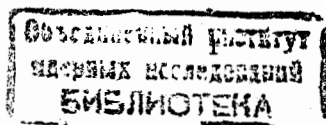
Я.Ваврышук, К.Я.Громов, В.Б.Злоказов,  
В.Г.Калинников, В.А.Морозов, Н.В.Морозова,  
В.И.Фоминых, В.В.Цупко-Ситников, И.Н.Чурин

УТОЧНЕНИЕ ПЕРИОДА ПОЛУРАСПАДА  $^{213}\text{Po}$

Направлено в журнал «Ядерная физика»

1997

Период полураспада  $^{213}\text{Po}$   $T_{1/2} = 4,2(8)$  мкс впервые был установлен в работе [1]. Уточнение значения периода полураспада  $^{213}\text{Po}$  было сделано в работе [2] —  $T_{1/2} = 3,75(4)$  мкс. В этой работе использовался однокристалльный временной спектрометр задержанных ( $\alpha$ — $\beta$ )—совпадений с регистрацией  $\alpha$ — и  $\beta$ —излучения полупроводниковым Si(Au)—детектором в геометрии, близкой к  $2\pi$  (расстояние источник—детектор было равно 3 мм, диаметр чувствительной области составлял 10 мм). Такой подход дал возможность существенно увеличить статистику зарегистрированных задержанных совпадений. Измерения проводились на источнике  $^{213}\text{Bi} \xrightarrow{\beta^-} ^{213}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} ^{209}\text{Pb} \xrightarrow{\beta^-} ^{209}\text{Bi}$ . Обстоятельство, которое позволило успешно провести эти измерения с малым уровнем случайных совпадений, заключалось в том, что энергетические спектры  $\alpha$ — и  $\beta^-$ —частиц сильно различались: энергия  $\alpha$ —частиц при распаде  $^{213}\text{Po}$  —  $E_\alpha = 8,376$  МэВ, а граничная энергия  $\beta^-$ —частиц при распаде  $^{213}\text{Bi}$   $E_\beta = 1,422$  МэВ. С помощью дифференциальных временных дискриминаторов удалось легко разделить каналы зарядки и разрядки основного состояния  $^{213}\text{Po}$ . В канале СТАРТ при помощи



дискриминатора выделялись  $\beta$ -частицы с энергией  $E_\beta = 0,35 \pm 0,90$  МэВ, а в канале СТОП выделялись  $\alpha$ -частицы с энергией  $E_\alpha = 8,38$  МэВ.

Наша работа была предпринята с целью уточнения значения периода полураспада  $^{213}\text{Po}$  и подтверждения данных, полученных в работе [2]. Поэтому для устранения возможных систематических ошибок в предыдущих измерениях использовалась несколько иная методика однокристалльной временной спектрометрии с применением трехмерного автокорреляционного однокристалльного временного спектрометра [3].

Данный спектрометр с одним интегральным дискриминатором с низким порогом регистрации излучения позволяет установить генетическую временную связь между статистически распределенными событиями во всем зарегистрированном энергетическом спектре, а также энергию излучения, заселяющего основное состояние радиоактивного ядра (или изомерного состояния ядра) и энергию излучения, разряжающего это состояние. Измерение периода полураспада  $^{213}\text{Po}$  проводилось на источнике сложного изотопного состава в радиоактивной цепочке, начинающейся с  $^{225}\text{Ac}$  (рис.1).  $^{225}\text{Ac}$  выделялся ионообменным методом [4] из  $^{229}\text{Th}$ .  $\alpha$ - $\beta$ - и  $e$ - излучение регистрировалось пластическим сцинтиллятором размером  $\varnothing 10 \times 6$  мм. Эффективность регистрации  $\gamma$ -излучения была незначительна. Источник осаждался непосредственно на пластический сцинтиллятор, что обеспечивало  $2\pi$ -геометрию регистрации излучения. В спектрометре использовался фотоумножитель ХР2020Q. Порог регистрации ядерного излучения был  $E > 70$  кэВ. Временное разрешение спектрометра не превышало 0,5 нс. Регистрация трехмерных спектров совпадений  $E_1 - T - E_2$  осуществлялась с помощью персонального компьютера. При такой постановке эксперимента

эффективность регистрации задержанных совпадений была заметно выше, чем в предыдущей работе [2]. Градуировка временного спектрометра производилась при помощи калибратора временных интервалов типа И1-8. Обработка экспериментальных временных спектров производилась с помощью программы UPEAK [5], позволяющей оценивать параметры экспонент методом наименьших квадратов. Процедура подгонки позволяла получить:

- 1) оценки амплитуд и периодов полураспада;
- 2) их среднеквадратичные отклонения  $\Delta A_i$ ,  $\Delta T_i$ ;
- 3) величины, характеризующие надежность подгонки и адекватности данных экспоненциальной модели:

$$\chi_n^2 / n, d\chi_n^2 \text{ и } \chi_n^{2+}, d\chi_n^{2+}.$$

Здесь:  $d\chi_n^2$  — доля точек, для которых подгонка хороша.

$\chi_n^2$  — значение  $\chi$  функционала подгонки, нормированное на  $n$  — число степеней свободы (число анализируемых каналов во временном спектре минус число свободных параметров).

$d\chi_n^2$  — корень квадратный из дисперсии, подчиненный  $\chi_n^2$  — распределению. В случае хорошей подгонки должно быть:

$$\chi_n^2 = 1 \pm kd\chi_n^2, \quad d\chi_n^2 = \sqrt{2/n},$$

где коэффициент  $k = 1, 2$  или  $3$  является критерием, характеризующим различную степень допустимых отклонений значений  $\chi_n^2$ ,  $\chi_n^{2+}$  — доля (от единицы) положительных значений в общем распределении  $\chi_n^2$ .

Последний критерий необходим, поскольку по ряду причин (например, неточно указанные веса, неправильный обрыв процесса вычислений и т.д.) один  $\chi_n^2$  — критерий может не привести к достоверному заключению. Критерий  $\chi_n^{2+}$  — является более устойчивым и менее

чувствительным к точности действий при подгонке. При хорошей подгонке должно быть:

$$\chi_n^{2+} = 0,5 \pm k\sigma^+, \text{ где } k = 1, 2, 3, \text{ а } \sigma^+ \approx 0,85/\sqrt{n}.$$

Полученное значение периода полураспада  $^{213}\text{Po}$  оказалось равным  $T_{1/2} = 3,65(4)$  мкс, что подтверждает данные работы [2]. При этом значение  $\chi^2 = 0,78(4)$  при  $k=1$ . Меньшее значение  $\chi^2$  по сравнению с 1 означает, что нами были несколько завышены ошибки экспериментальных данных. Значения  $\chi^{2+} = 0,53(1)$  при  $k=1$  свидетельствует о хорошей подгонке. Усредненная величина периода полураспада  $^{213}\text{Po}$  по двум последним работам дает значение  $T_{1/2} = 3,70(3)$  мкс. На рис.2,3 представлены спектры временных и энергетических распределений, полученных при изучении распада  $^{213}\text{Bi} - ^{213}\text{Po} - ^{209}\text{Pb}$ . Кривая 1 на рис.3 соответствует энергетическому спектру излучения всей цепочки, начинающейся с  $^{225}\text{Ac}$ , кривая 2 соответствует задержанному  $\alpha$ -излучению, возникающему при распаде  $^{213}\text{Po}$  ( $E_\alpha = 8,376$  МэВ).

Таким образом, на основе работы [2] и наших исследований существенно уточняется абсолютное значение в определении важной ядерной константы — значение периода полураспада радиоактивного нуклида  $^{213}\text{Po}$ , входящего в цепочку радиоактивных элементов ядерного топливного цикла. Были предприняты также попытки обнаружения короткоживущих изомерных состояний в радиоактивной цепочке, начинающейся с  $^{225}\text{Ac}$  и кончающейся  $^{209}\text{Bi}$ , при более низком пороге регистрации электронного излучения  $E > 30$  кэВ. Эти исследования позволяют утверждать, что в этой радиоактивной цепочке не

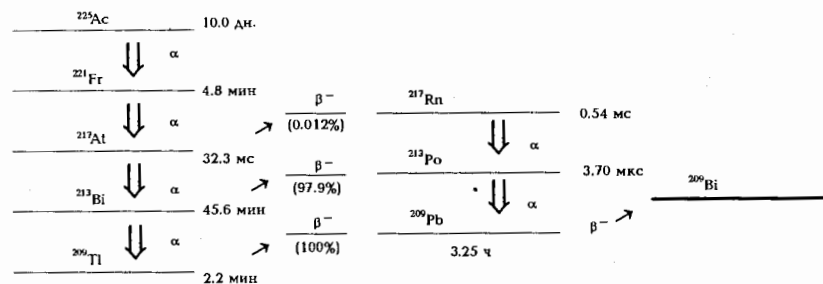


Рис.1. Радиоактивная цепочка  $^{225}\text{Ac}$

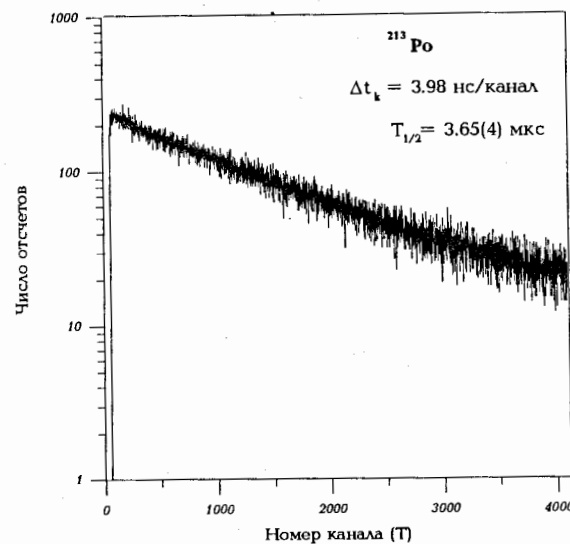


Рис.2. Кривая распада основного состояния  $^{213}\text{Po}$

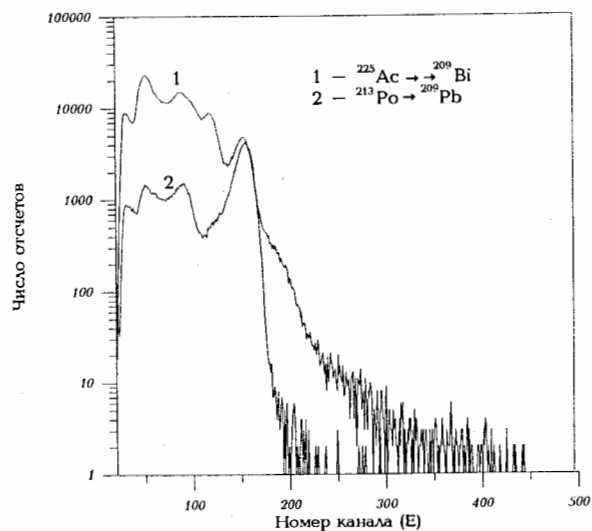


Рис.3. Энергетические спектры излучений источника  $^{225}\text{Ac}$  — 1 и задержанных  $(\beta - \alpha)$  — совпадений при распаде  $^{213}\text{Bi}$  — 2

установлено каскадов с интенсивностью в несколько % на распад, заселяющих изомерные состояния с  $T_{1/2} > 10$  нс.

В наших исследованиях была показана высокая эффективность поиска изомеров в длинных радиоактивных цепочках методом однокристаллической сцинтилляционной временной спектрометрии, что позволяет успешно использовать этот метод в on-line экспериментах при исследовании короткоживущих изотопов.

Авторы признательны В.Б.Бруданину за всестороннюю поддержку в проведении этих исследований. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №95-02-05686-а).

### Литература

1. Jelley J.I. // Can.J.Res. 1948. 26A, p.255.
2. Ваврышук Я., Юлгашев К.Б., Громов К.Я. и др. // — Препринт ОИЯИ, Р6-96-275, Дубна, 1996. — Изв. РАН сер. физ. (в печати).
3. Морозов В.А., Чурип И.Н., Морозова Н.В. // Препринт ОИЯИ, Р13-96-453 Дубна, 1996.
4. Tsouprko-Sitnikov V., Norseev Yu., Khalkin V. // J.Radioanal. Nucl. Chem. 1996. v.205. p.75.
5. Zlokazov V.B. // Comp.Physics Comm. 1978. v.13. No 5/6. p.389.

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 июня 1997 года.

Ваврышук Я. и др.

P6-97-180

Уточнение периода полураспада  $^{213}\text{Po}$

Проведено измерение периода полураспада  $^{213}\text{Po}$  с использованием трехмерного автокорреляционного однокристалльного сцинтилляционного временного спектрометра. Полученное значение  $T_{1/2} = 3,70(3)$  мкс уточняет абсолютное значение этой ядерной константы.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1997

Перевод авторов

Wawryszczuk J. et al.

P6-97-180

A More Precise Determination of Half-Life of  $^{213}\text{Po}$

The measurement of half-life of the ground state  $^{213}\text{Po}$  was performed by the three dimensional single crystal scintillation time spectrometer. A more precise value of this nuclear constant —  $T_{1/2} = 3.70(3)$   $\mu\text{s}$  has been received.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1997