

Р6-2002-159

В. Г. Калинин, Ж. К. Саматов, А. А. Солнышкин,  
Ж. Сэрээтэр, Н. А. Лебедев, В. Г. Чумин, Я. С. Ибрахим

**КАЛИБРОВКА  $\beta$ -СПЕКТРОМЕТРА ТИПА  
«МИНИ-АПЕЛЬСИН» ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ  
С ПОМОЩЬЮ  $\beta^-$ -СПЕКТРА  $^{90}\text{Sr}$**

Бета-спектрометр с Si(Li)-детектором электронов и магнитным фильтром типа «мини-апельсин» [1] имеет определенные преимущества:

- эффективность регистрации электронов на выбранном участке увеличивается в 5-10 раз,
- исключается регистрация позитронов,
- уменьшается загрузка детектора электронами малых энергий и х-лучами.

Для калибровки  $\beta$ -спектрометра типа «мини-апельсин» по энергии и эффективности обычно используются долгоживущие радиоактивные источники  $^{152}\text{Eu}$  ( $T_{1/2}=13,5$  лет) и  $^{207}\text{Bi}$  ( $T_{1/2} = 31,8$  лет). Энергии и интенсивности линий конверсионных электронов при распаде этих нуклидов измерены с высокой точностью [2,3]. Однако при калибровке  $\beta$ -спектрометра типа «мини-апельсин» по эффективности в области энергий больше 500 кэВ возникают трудности.  $^{207}\text{Bi}$  имеет малое число линий конверсионных электронов (три  $\gamma$ -перехода 569,7, 1063,6 и 1770,2 кэВ). При распаде  $^{152}\text{Eu}$  в области 500 ÷ 1400 кэВ возникает несколько линий конверсионных электронов, но линии лежат на сплошном  $\beta$ -спектре и имеют малую интенсивность. В связи с этим использование непрерывного  $\beta$ -спектра от радиоактивного источника  $^{90}\text{Sr}$  (28,5 лет) для калибровки  $\beta$ -спектрометра типа «мини-апельсин» оказывается привлекательным.

Целью настоящей работы является разработка конкретной процедуры калибровки  $\beta$ -спектрометра по эффективности с использованием  $\beta$ -источника  $^{90}\text{Sr}$ .

С этой целью на  $\beta$ -спектрометре типа «мини-апельсин» с магнитами и без них в одной и той же геометрии измерялись спектры  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{207}\text{Bi}$ . Источник  $^{90}\text{Sr}$  был изготовлен выпариванием препарата  $^{90}\text{Sr}$ . Его толщина была несколько микрограмм на 1 см<sup>2</sup>. Поскольку в измерениях с магнитами и без них был использован один и тот же источник, его толщина для решения поставленной

задачи была несущественна. Для измерения спектра конверсионных электронов  $^{207}\text{Bi}$  использовался тонкий источник. Разрешение Si(Li)-детектора для линии K1063  $^{207}\text{Bi}$  было 2,2 кэВ. Размеры источников  $^{207}\text{Bi}$  и  $^{90}\text{Sr}$  были одинаковыми ( $\phi$  5 мм).

Эффективность регистрации электронов  $\beta$ -спектрометром типа «мини-апельсин» (трансмиссия) в случае регистрации одиночной электронной линии определяется выражением

$$T = \frac{N_a}{N_0} (1 - k_0) \cdot \Omega_0, \quad (1)$$

где  $N_a$  - площадь пика в спектре, измеренном с магнитами,

$N_0$  - площадь пика, измеренного без магнитов,

$k_0$  - доля рассеянных от детектора электронов в измерениях без магнитов,

$\Omega_0$  - телесный угол, выделяемый детектором, в измерениях без магнитов.

В случае измерений непрерывного  $\beta$ -спектра, как в измерениях с магнитами, так и в измерениях без магнитов, следует учитывать рассеяние электронов от детектора. Измеренное количество электронов определенной энергии (счет импульсов в канале K), равное  $N_m(K)$ , есть сумма числа электронов этой энергии, падающих на детектор  $N_t(K)$  с учетом рассеяния -  $N_t(K) (1-k)$ , и числа электронов более высоких энергий, испытавших рассеяние и зарегистрированных в канале K,  $N_{sc}(K)$ :

$$N_m(K) = N_t(K) (1-k) + N_{sc}(K).$$

Отсюда число падающих на детектор электронов равно

$$N_t(K) = \frac{N_m(K) - N_{sc}(K)}{1 - k}. \quad (2)$$

Как и в работе [4], сделаем следующие упрощающие предположения:

- в измерениях без магнитов (угол падения электронов на детектор  $\sim \pi/2$ ) доля рассеянных электронов  $k_0$  не зависит от энергии,
- в измерениях с магнитами средний угол падения электронов на детектор изменяется и доля обратнорассеянных электронов  $k$  зависит от энергии. В интервале энергий электронов от 0 до энергии  $E_0$ , которая соответствует максимуму  $\beta$ -спектра  $^{90}\text{Sr}$ , эта доля линейно убывает от  $k_a$  до  $k_0$  и после  $E_0$  постоянна и равна  $k_0$ ,
- рассеянные от детектора электроны с начальной энергией  $E$  (канал  $K$ ) распределяются равномерно между всеми каналами меньшей энергии (от канала  $K-1$  до  $K=0$ ).

Величина  $k_a$  определяет долю рассеянных электронов при измерениях с магнитами. Средний угол падения электронов на детектор рассчитывается исходя из взаимного расположения источника, магнита и детектора, а значения  $k_a$  определяются из зависимости  $k$  от угла падения по формуле, приведенной в работе [5].

Пусть канал с номером  $K_f$  соответствует граничной энергии  $^{90}\text{Sr}$  ( $E_{\text{гп}}=2,28$  МэВ). Тогда количество рассеянных электронов в канале  $K_n$  можно определить так:

$$N_{\text{sca}}(K_n) = \sum_{K=K_n+1}^{K_f} N_t(K) \cdot \frac{k(K)}{K-1}.$$

Подставляя  $N_t(K)$  из (2), получаем для измерений с магнитами:

$$N_{\text{sca}}(K_n) = \sum_{K=K_n+1}^{K_f} \frac{N_{m0}(K) - N_{\text{sca}}(K)}{K-1} \cdot \frac{k(K)}{1-k(K)}. \quad (3)$$

В случае измерений без магнитов можно получить аналогичное выражение:

$$N_{\text{sca}0}(K_n) = \sum_{K=K_n+1}^{K_f} \frac{N_{m0}(K) - N_{\text{sca}0}(K)}{K-1} \cdot \frac{k_0}{1-k_0}. \quad (4)$$

Таким образом выражения (3) и (4) определяют вклады рассеянных электронов  $N_{sc}(K)$  для каждого канала  $K$ . Вычисленные значения вкладов рассеянных электронов  $N_{sca}(K_n)$  и  $N_{sco}(K_n)$  поканально вычитаются из соответствующих измеренных спектров, и отношение полученных спектров после вычитания дает относительную эффективность (трансмиссию) спектрометра типа «мини-апельсин».

Программа экстраполирует спектры  $^{90}\text{Sr}$ , снятые спектрометром с магнитами так, чтобы отношения числа импульсов в спектре, снятом с магнитами, к числу импульсов в спектре, снятом без магнитов, совпадали с соответствующими значениями отношений, полученными для линий конверсионных электронов  $^{207}\text{Bi}$ . При этом параметры  $k_a$ ,  $k_0$  и  $E_0$  варьируются.

Зависимости эффективности регистрации электронов от энергии, полученные с помощью спектрометра с магнитными сборками 8А и 6А, представлены на рис. 1 и 2 соответственно. На рисунках указаны расстояния от центральной плоскости магнитного фильтра до детектора ( $f$ ) и источника ( $g$ ), а также значения  $k_a$ ,  $k_0$  и  $E_0$ , обеспечивающие лучшее согласие. Точки кривой эффективности отражают значения эффективностей для линий ЭВК источника  $^{207}\text{Bi}$ .

Таким образом, разработана методика определения эффективности  $\beta$ -спектрометра с магнитным фильтром типа «мини-апельсин» в области энергии электронов от 0,5 до 2,0 МэВ с точностью ~10 %.

Авторы благодарят профессора К.Я.Громова за полезные обсуждения и ценные замечания в ходе выполнения работы, доктора В.А.Морозова и О.Чулуунбаатара за большую помощь при обработке результатов измерений.

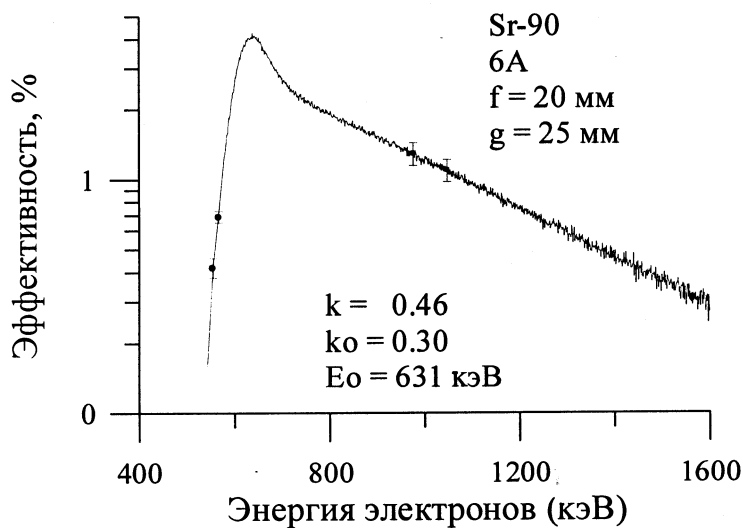


Рис.1. Эффективность регистрации электронов  $\beta$ -спектрометра с магнитной сборкой 6А

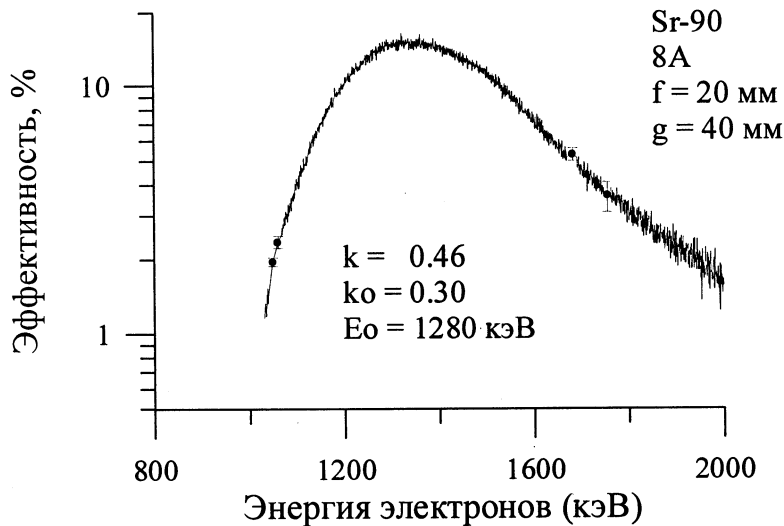


Рис.2. Эффективность регистрации электронов  $\beta$ -спектрометра с магнитной сборкой 8 А

#### Литература:

1. В.М.Горожанкин, К.Я.Громов, В.Г.Калинников и др.  
Бета-спектрометр с магнитным фильтром типа «мини-апельсин».  
Техника ядерного эксперимента №3, 1997, с. 8-13.
2. W.H.Trzaska. Recommended data on selected gamma-ray and conversion electron calibration sources.  
Nucl. Instr. & Meth. A297(1990), 223-229.
3. J. Goswamy et al. Precision measurements of conversion electrons in  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  and  $^{160}\text{Tb}$  decays. Appl.Radiat. Isot. Vol.42, No.11, pp.1025-1032, 1991.
4. K. Farzin, K.Uebelgunn and H. von Buttler.  
Experimental determination of the transmission of a mini-orange  $\beta$ -spectrometer.  
Nucl. Instr. & Meth. in Physics Research. A240 (1985), 329 -332.
5. W.Neumann, L.Kleemann, J.Eberth et al. Details of conversion electron spectroscopy with mini-orange spectrometers.  
Nucl. Instr. & Meth. 164 (1979), 539-545.

Получено 5 июля 2002 г.

Калинников В. Г. и др.  
Калибровка  $\beta$ -спектрометра типа «мини-апельсин»  
по эффективности с помощью  $\beta^-$ -спектра  $^{90}\text{Sr}$

P6-2002-159

Разработана конкретная методика калибровки  $\beta$ -спектрометра типа «мини-апельсин» по эффективности с помощью непрерывного  $\beta^-$ -спектра  $^{90}\text{Sr}$  и спектра конверсионных электронов  $^{207}\text{Bi}$  в области энергий электронов от 500 до 2200 кэВ. В экспериментах были использованы магнитные сборки 6А и 8А. Точность определения эффективностей равна 5–10 %.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзелепова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2002

#### Перевод авторов

Kalinnikov V. G. et al.  
Efficiency Calibration of a Mini-Orange Type  $\beta$ -Spectrometer  
by the  $\beta^-$ -Spectrum of  $^{90}\text{Sr}$

P6-2002-159

A specific method for efficiency calibration of a mini-orange type  $\beta$ -spectrometer by means of the continuous  $\beta^-$ -spectrum of  $^{90}\text{Sr}$  and the conversion electron spectrum of  $^{207}\text{Bi}$  in the energy range from 500 to 2200 keV has been elaborated. In the experiment typical  $\text{SmCo}_5$  magnets (6A and 8A) were used. An accuracy of efficiency determination was 5–10 %.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2002



Корректор *Е. В. Сабаява*

ЛР № 020579 от 23.06.97.

Подписано в печать 23.07.2002.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,38. Уч.-изд. л. 0,32. Тираж 310 экз. Заказ № 53439.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.