

24/2-77

B-146

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА

10/15-77



P7 - 10123

В.И.Вакатов, Х.Зодан, Р.Калпакчиева, Ю.Ц.Оганесян,
Ю.Э.Пенионжкевич, В.Н.Полянский, Л.П.Челноков

ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРОВ СОВПАДЕНИЯ α -ЧАСТИЦ
С ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИМ РЕНТГЕНОВСКИМ
И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ

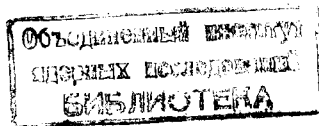
1976

Р7 - 10123

В.И.Вакатов, Х.Зодан, Р.Калпакчиева, Ю.Ц.Оганесян,
Ю.Э.Пенионжкевич, В.Н.Полянский, Л.П.Челноков

ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРОВ СОВПАДЕНИЯ α -ЧАСТИЦ
С ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИМ РЕНТГЕНОВСКИМ
И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ

Направлено в ПТЭ



Вакатов В.И. и др.

P7 - 10123

Измерение спектров совпадения α -частиц с характеристическим рентгеновским и гамма-излучением

Описывается методика измерения энергетических спектров α -частиц в совпадении с характеристическим рентгеновским и гамма-излучением ядер трансурановых элементов. Измерены характеристики аппаратуры, разработанной для этих целей, и приводятся некоторые результаты измерений спектров.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

Vakatov V.I. et al.

P7 - 10123

Measurement of α -Energy Spectra in Coincidence with Characteristic X- and γ -Radiation

A technique for the measurement of α -energy in coincidence with the characteristic X- and γ -radiation of transuranium nuclei is described. The parameters of the experimental arrangement are given together with some results of energy spectra measurements.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1976

Одним из наиболее достоверных способов идентификации атомного номера нуклидов является измерение их характеристического рентгеновского излучения. Как показал Бемис ¹, этот метод можно успешно применять для идентификации атомного номера трансурановых элементов, измеряя совпадения между α -частицами, испущенными материнскими ядрами, и характеристическим К-рентгеновским излучением дочерних ядер.

Характеристическое рентгеновское излучение в дочерних ядрах возникает в процессе перестройки атомной оболочки, главным образом, после процесса внутренней конверсии электронов. Необходимым условием совпадения α -частиц с характеристическим излучением является достаточно сильное заселение возбужденных уровней дочернего ядра при α -распаде. Известно, что полученные экспериментально значения ^{2,3} энергии К-серии для элементов с $Z = 95$ до $Z = 100$ согласуются с точностью до 0,04 кэВ с теоретическими ⁴. Между тем, энергии К-излучения соседних элементов различаются на 3-4 кэВ, что позволяет надежно судить об атомном номере исследуемого ядра, сравнивая экспериментально полученное значение с теоретически предсказанной энергией. Дополнительным критерием надежности идентификации является отношение интенсивностей отдельных линий К-серии, позволяющее отделить эти линии, например, от γ -линий с близкими К-серии значениями энергии.

Сказанное выше относится также к L-серии характеристического рентгеновского излучения. Разница состоит лишь в более сложной структуре L-серии и в меньшем энергетическом сдвиге линий соседних элементов, что налагает более высокие требования относительно

разрешающей способности детекторов рентгеновского излучения. При измерении совпадений выход X-лучей k_i на один α -распад, происходящий на возбужденный уровень дочернего ядра, определяется соотношением

$$k_i = \epsilon_a \epsilon_x \frac{a_i}{a_{total} + 1} \omega_i,$$

где ϵ_a , ϵ_x - полные эффективности регистрации α -частиц и рентгеновского излучения, соответственно, a_i - коэффициент внутренней конверсии для i -той атомной оболочки и ω_i - выход флюоресценции данной оболочки. В табл. 1 для примера приведены коэффициенты внутренней конверсии и выхода рентгеновского K- и L-излучения в случае двух /гипотетических/ γ -переходов для $Z = 103$.

Таблица 1

Коэффициенты внутренней конверсии и выхода K- и L-рентгеновских лучей для γ -переходов 154,1 кэВ /а/ и 49 кэВ /б/ в случае $Z = 103$

Мульти- польность	E_γ	a_K	$a_{\Sigma L}$	$\frac{a_K}{a_{total} + 1} \omega_K$	$\frac{a_{\Sigma L}}{a_{total} + 1} \omega_L$
E1	а/	0,158	0,045	0,14	0,018
	б/	-	0,784	-	0,22
E2	а/	0,0932	3,8	0,017	0,31
	б/	-	733,0	-	0,32
M1	а/	14,9	3,56	0,7	0,086
	б/	-	95,6	-	0,35

Ясно, что метод совпадения α -частиц с K-излучением эффективен лишь в случае α -распада нечетных или нечетно-нечетных ядер, где обычно с большой вероятностью заселяются уровни дочернего ядра с энергией выше энергии связи K-электронов атомной оболочки.

Однако и в этом случае коэффициент выхода k_K велик лишь для переходов мультипольности M1 или более высоких, например, M2, E3. В случае α -распада деформированных четно-четных ядер трансурановой области первый возбужденный 2^+ -уровень дочернего ядра, заселяемый обычно с вероятностью $\sim 10\%$, имеет энергию ниже энергии связи K-электронов. Для таких ядер измерение α -L-совпадений - единственная возможность их идентификации.

Применяемая нами аппаратура для измерения α -X-совпадений схематически показана на рис. 1. Спектроскопия рентгеновского L- или K-излучения осуществляется плоскопараллельным детектором из чистого Ge с объемом $2,1 \text{ см}^3$ /площадь 3 см^2 /глубина $0,7 \text{ см}$. Его эффективность достигает 10% при энергии фотонов 60 кэВ и положении источника непосредственно за входным окном из Вc. Энергетическое разрешение детектора составляет 450 эВ для энергии 60 кэВ . Поверхностно-барьерный детектор α -частиц находится в вакуумной камере, поставленной на вертикальный криостат Ge-детектора.

Сигналы с α - и X-детекторов после усиления до $8 \div 10 \text{ В}$ и формирования поступают на два аналого-цифровых преобразователя АЦП-4096 с коэффициентом преобразования 2 мВ/разряд^{-1} и частотой серии 75 МГц . В момент прохождения входными импульсами своего максимального значения /на "вершине" импульса/ вырабатываются сигналы для схемы совпадений с разрешением $150 \div 250 \text{ нс}$. Далее 12-разрядный код с АЦП α -тракта попадает на блок цифровых дискриминаторов, состоящий из 33 "схем границ"⁶. С помощью схем границ выбирается необходимое число "окон" произвольной ширины, расположенных на любом участке энергетического спектра. Число окон выбирается кратным целым степени двух /2,4,8,16/, и в дальнейшем регистрируются только те импульсы от X-детектора, которые совпали по времени /150 \div 200 нсек/ с α -частицами и соответствуют энергиям α -частиц, попадающим в окна цифровых дискриминаторов. Каждое окно имеет свой номер, который кодируется шифратором и вместе с кодом X-спектра

α -ДЕТЕКТОР

X-ДЕТЕКТОР

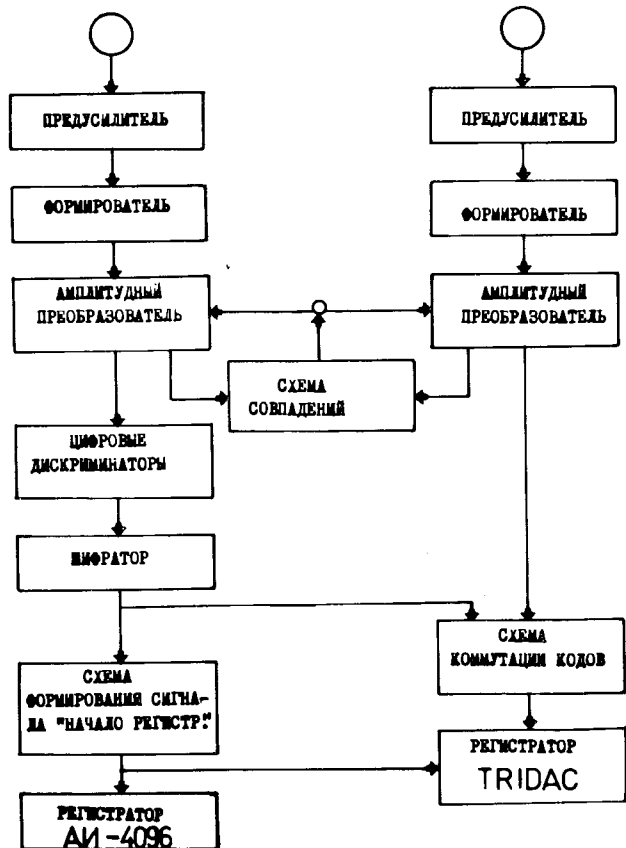


Рис. 1. Блок-схема аппаратуры для регистрации α -X, γ -совпадений.

регистрируется на одном из многоканальных /4096/ регистраторов. В процессе настройки аппаратуры блок управления установкой позволяет наблюдать α -спектр, X-спектр, только часть α -спектра, попадающую в выбранные окна, и наконец, несколько X-спектров, соответствующих совпадению с α -линиями нескольких окон цифрового дискриминатора.

Для испытания аппаратуры были измерены спектры α -X, γ -и X, γ - α -совпадений от источника, содержащего на толстой подложке α -радиоактивные изотопы ^{239}Pu , ^{241}Am , ^{244}Cm , а также малую примесь ^{243}Cm . На рис. 2

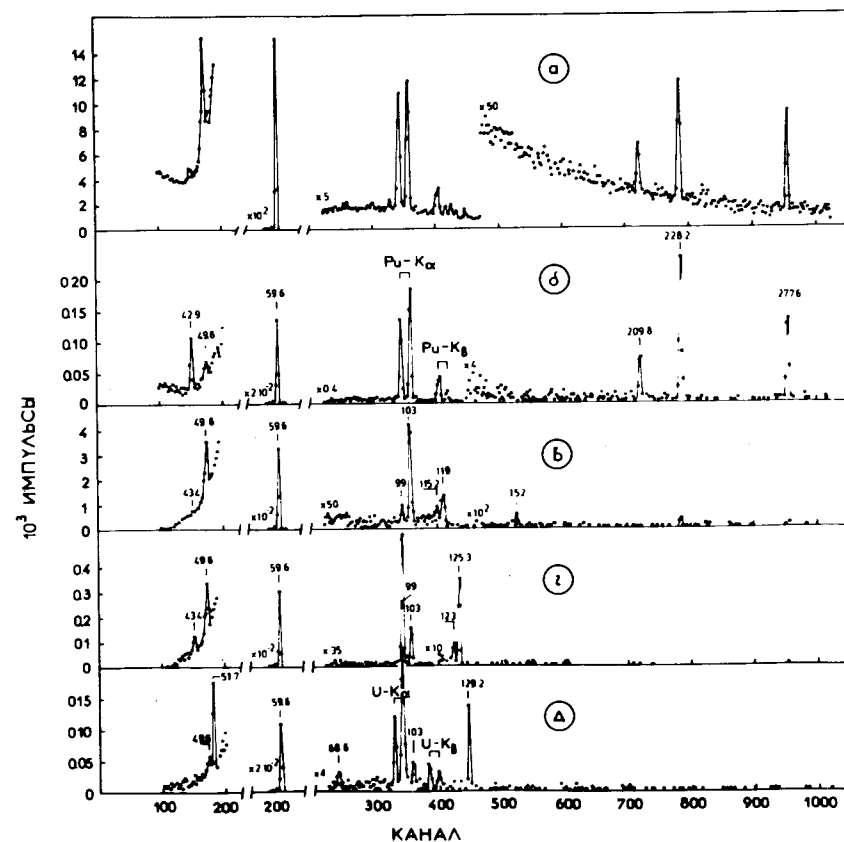


Рис. 2. Спектры α -X, γ -совпадений от источника из ^{239}Pu , ^{241}Am , 243 , ^{244}Cm . а/ одиночный спектр X-и γ -излучения, б/ совпадения с $E = 5,56-5,78$ МэВ, в/ совпадения с $E = 5,42-5,54$ МэВ, г/ совпадения с $E = 5,23-5,40$ МэВ, д/ совпадения с $E = 4,60-5,11$ МэВ.

изображен результат измерения в режиме 4×1024 каналов, где в качестве окон были выбраны участки α -спект-

ра, соответствующие энергиям $5,56 \pm 5,78$ МэВ /б/, $5,42 \pm 5,54$ МэВ /в/, $5,23 \pm 5,40$ МэВ /г/, $4,60 \pm 5,11$ МэВ /д/. Для сравнения в верхней части рисунка приводится одиночный спектр γ - и X-лучей. В спектре /б/ отчетливо выделяется K-серия рентгеновских лучей, возникающая после α -распада ^{243}Cm от внутренней электронной конверсии γ -переходов в ^{239}Pu . Спектры в/ и г/ содержат в основном γ -переходы в ^{237}Np , совпадающие с α -компонентами ^{241}Am . Поскольку энергия интенсивных γ -переходов в этом случае ниже энергии связи K-электронов Np, то K-серия рентгеновского излучения не наблюдается /L-серия в данном опыте поглощается толстой подложкой источника/. Наконец, в спектре д/ видна K-серия урана от распада ^{239}Pu .

Селективность метода совпадения демонстрируется наглядно на результате измерения γ - α -совпадений, изображенном на рис. 3. При этом измерении в спектре

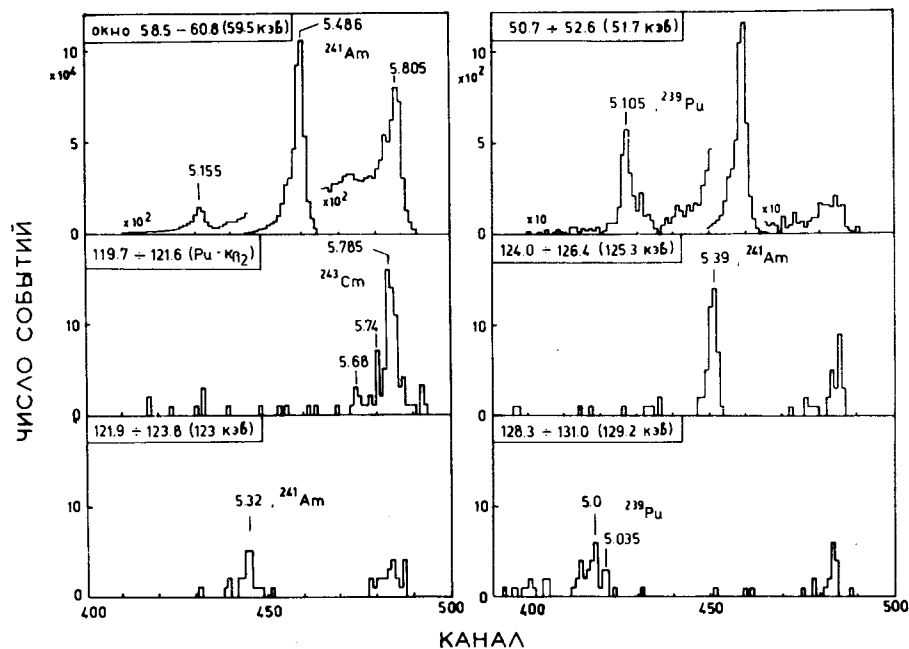


Рис. 3. Спектры X-, γ - α -совпадений. Энергетические "окна" рентгеновского и α -излучения указаны в рисунке.

γ -и рентгеновского излучения были выбраны, кроме интенсивного перехода 59,5 кэВ, слабые линии $K\beta_2$ -Pu и γ -линии 123, 125 и 129,2 кэВ. В спектрах совпадений хорошо выделяются соответствующие α -группы от распада материнского ядра. Фоном случайных совпадений, как видно, можно пренебречь. Присутствие во всех спектрах α -линии ^{243}Cm связано с наличием в окнах комптоновского распределения более высокоэнергетических переходов ^{239}Pu .

Литература

1. C.E.Bemis, Jr., R.J.Silva, D.C.Hensley, D.L.Keller, Jr., J.R.Tarrant, L.D.Hunt, P.F.Dittner, R.L.Hahn and C.D.Goodman. *Phys.Rev.Lett.*, 31, 647 (1973).
2. P.F.Dittner and C.E.Bemis, Jr. *Phys.Rev.*, A5, 481 (1972).
3. F.T.Porter and M.S.Freedman. *Phys.Rev.Lett.*, 27, 293 (1971).
4. T.A.Carlson, C.W.Nestor, Jr. F.B.Malik and T.C.Tucker. *Nucl.Phys.*, A135, 57 (1969).
5. А.С.Трофимов, Л.П.Челноков. Сообщение ОИЯИ, 10-7270, Дубна, 1973.
6. С.В.Медведь и др. ПТЭ, №1, 68 /1974/.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 сентября 1976 года.