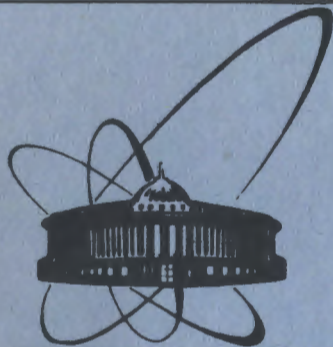


31/х-83



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

5784/83

9/11-83
13-83-504

Во Дак Банг, Чан Дык Тхиеп, Чан Дай Нгиеп,
Фан Тху Хыонг, Ш.Гэрбиш

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
АБСОЛЮТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДЕТЕКТОРА
ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Направлено в сборник
"Прикладная ядерная спектроскопия"

1983

Абсолютная эффективность полупроводникового детектора ϵ определяется как отношение количества импульсов в пике полного поглощения, зарегистрированных детектором за время измерения, к количеству гамма-квантов, испущенных источником за то же время. Широко распространен способ определения ϵ с помощью стандартных источников^{/1, 2/}. Такие источники дорогостоящи и сложны в изготовлении, требуют к тому же наличия интенсивных источников радиации - реакторов или циклотронов. В настоящей работе предлагается простой способ определения ϵ , осуществляемый с помощью малоинтенсивных нейтронных источников, широко распространенных в научных лабораториях.

МЕТОДИКА

Способ основан на использовании гамма-излучения радиоактивных нуклидов в цепочках распадов осколков деления тяжелых элементов, например, урана-235. Анализ опубликованных данных^{/3-5/} приводит к выводу, что к настоящему времени кумулятивные выходы ряда нуклидов при делении тяжелых элементов измерены с большой точностью /1-5%/. Данное обстоятельство позволяет рассматривать их в качестве надежных ядерных данных для ряда практических приложений, в частности для измерения абсолютной эффективности ППД. Широкий спектр получаемых при делении нуклидов, испускающих гамма-излучение практически во всем диапазоне энергии, дает возможность выбрать наиболее удобные из них для определения ϵ . Положим, такие изотопы выбраны. Тогда, облучая тонкую мишень /<1 мг/см²/ из делящегося вещества в имеющемся поле радиации и собрав осколки на подложку-коллектор /catcher foil/, производят ряд последовательных измерений гамма-спектра с помощью ППД, эффективность ϵ которого необходимо определить. Режимы облучения, выдержки и измерения выбираются с учетом периодов полураспада ($T_{1/2}$) используемых нуклидов. Измеренное за интервал времени от t_{i1} до t_{i2} количество импульсов в пиках полного поглощения от материнского нуклида $A(N_{Ai})$ и дочернего $B(N_{Bi})$ при i -м измерении описывается следующими формулами^{/6/}:

$$N_{Ai} = P_1 [1 - \exp(-\lambda_A T)] \times [\exp(-\lambda_A t_{i1}) - \exp(-\lambda_A t_{i2})], \quad /1/$$

$$N_{Bi} = P_2 \left\{ \frac{\lambda_A}{\lambda_B} [1 - \exp(-\lambda_B T)] \times [\exp(-\lambda_B t_{i2}) - \exp(-\lambda_B t_{i1})] - \right.$$

$$-\frac{\lambda_B}{\lambda_A} [1 - \exp(-\lambda_A T)] \times [\exp(-\lambda_A t_{2i}) - \exp(-\lambda_A t_{1i})] + \quad /2/$$

$$+ P_3 [1 - \exp(-\lambda_B T)] \times [\exp(-\lambda_B t_{1i}) - \exp(-\lambda_B t_{2i})],$$

$$P_1 = Y_A n_f \eta_A \epsilon_A / \lambda_A, \quad P_2 = Y_A n_f \eta_B \epsilon_B / (\lambda_B - \lambda_A), \quad P_3 = Y_B n_f \eta_B \epsilon_B / \lambda_B. \quad /3/$$

Здесь T - продолжительность облучения; t_{1i} - момент начала i -го измерения, отсчитываемый от момента конца облучения; t_{2i} - момент окончания i -го измерения; Y_A - кумулятивный выход нуклида A ; Y_B - независимый выход нуклида B ; n_f - интенсивность деления; $\eta_A, \eta_B, \epsilon_A, \epsilon_B$ - соответственно квантовые выходы используемых гамма-линий нуклидов A и B и абсолютные эффективности их регистрации полупроводниковым детектором; λ_A, λ_B - постоянная распада нуклидов A и B соответственно.

Соотношения /1/ и /2/ справедливы в предположении, что: а/ $T_{1/2}$ предшественников A намного короче, чем T и период полураспада A ; б/ интенсивность поля радиации постоянна в течение времени облучения. Для определения коэффициентов P_1, P_2, P_3 в /1/ и /2/ минимизируется величина

$$S_j = \sum_i (N_{ji} - N_{эji})^2 \cdot (1/\sigma_{эji})^2,$$

где $j=A, j=B$ для соотношения /1/ и /2/ соответственно; $N_{эji}$ - экспериментально измеренное число импульсов за интервал времени (t_{1i}, t_{2i}) ; $1/\sigma_{эji}^2$ - статистический вес i -го измерения. Вычислив P_1, P_2, P_3 и измерив величину n_f , можно найти ϵ_A и ϵ_B из соотношений /3/.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Схема экспериментального устройства дана на рис.1. Урановую мишень толщиной $0,2 \text{ мг/см}^2$ прижимали вплотную к алюминиевой пластинке, в которой сделаны отверстия круглого сечения. С другой стороны пластинки помещены трековый детектор осколков деления - кусок лавсановой пленки толщиной $0,2 \text{ мм}$ и коллектор осколков из алюминиевой фольги высокой чистоты /99,999%/ толщиной $0,1 \text{ мм}$. Полученный "сэндвич" помещался в графитовый замедлитель фотонейтронов микротрона МТ-22, облучался в течение двух часов при энергии электронов 22 МэВ и токе 12 мкА . Поток тепловых нейтронов составлял $3 \cdot 10^8 \text{ н/см}^2 \cdot \text{с}$. Размер большого отверстия был выбран таким образом, чтобы получить источник гамма-излучения с диаметром, равным диаметру источников ОСГИ, а размер маленьких - чтобы получить эффективность регистрации треков 100% при любом режиме травления и удобное их число для подсчета с помощью оптического микроскопа. По окончании облучения коллектор оскол-

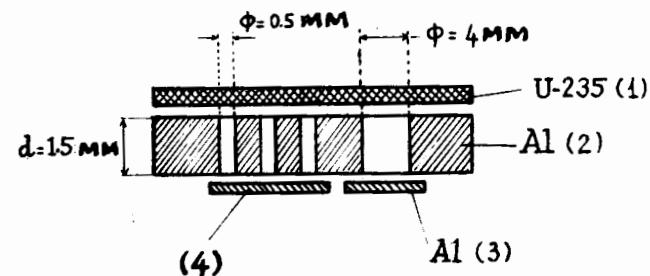


Рис.1. Схема расположения мишени /1/, коллиматора /2/, коллектора осколков деления /3/ и трекового детектора /4/.

ков помещался на Ge(Li)-детектор, и производились следующие друг за другом в течение 7 часов 30-минутные измерения гамма-спектра с помощью многоканального амплитудного анализатора LP-4900 /NOKIA ELECTRONICS/. Полученные спектры обрабатывались с помощью программы ACTIV^{7/7} на ЭВМ "Минск-32". Процедура расчета величин P_1, P_2, P_3 осуществлялась по программе RICH1, в которой использована подпрограмма FUMILI^{8/8}, реализующая алгоритм метода наименьших квадратов. Интенсивность деления n_f определялась путем подсчета числа треков осколков деления на лавсановой пленке. Режим предварительной физико-химической обработки трекового детектора и процедура подсчета числа треков не отличались от изложенных в ^{9/9}.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Некоторые удобные для определения ϵ нуклиды и их ядерные характеристики приведены в таблице. Все они имеют сравнительно короткие периоды полураспада, быстро распадающиеся предшественники, легко идентифицируемые гамма-линии и достаточно надежно измеренные кумулятивные выходы. Данные по кумулятивным выходам получены в результате усреднения экспериментальных результатов, приведенных в компиляции^{5/5}. Для $^{87}\text{Kг}$ в этой работе приведена лишь одна ссылка, поэтому для оценки его кумулятивного выхода привлекались данные из^{3/3}. Абсолютные квантовые выходы брались из^{10/10}. Из рис.2 видно, что, несмотря на довольно сложный спектр осколков деления, ряд гамма-линий хорошо разрешен и надежно идентифицирован. Были использованы фотопики $175,85 \text{ кэВ}$ (Ba-139), $402,7 \text{ кэВ}$ (Kг-87), $641,17 \text{ кэВ}$ (La-142), $847,02 \text{ кэВ}$ и $884,09 \text{ кэВ}$ (I-134), $1383,94 \text{ кэВ}$ (Sr-92), так как соответствующие нуклиды удобны для быстрого определения ϵ . Результаты эксперимента показаны на рис.3, из которого следует, что зависимости ϵ от E_γ , определенные с помощью стандартных источников ОСГИ и предложенной в данной работе методики, очень хорошо согласуются. Статисти-

Таблица

Нуклид	Полный выход пепочки		Кумулятивный выход нуклида		E_γ , кэВ	Квантовый выход		В $T_{1/2}$	А $T_{1/2}$
	Υ_n %	$\delta\Upsilon_n$	Υ_c %	$\delta\Upsilon_c$		η %	$\delta\eta$		
^{87}Kr	2,53	4,1	2,51	7	402,7	50	3	76,4 мин	55,7 с
^{91}Sr	5,89	2,0	5,45	4	749,8 1024,3	23 33	4 2	9,48 ч.	58,0 с
^{92}Sr	5,95	3,1	5,56	7	1383,94	90	10	2,71 ч.	4,48 с
^{97}Zr	6,00	2,6	5,72	3,5	355,39 743,36	2,3 92,8	0,4 0,3	17,0 ч.	1,22 с
^{99}Mo	6,13	1,1	6,13	2	181,07	6,3	9	66,7 ч.	26 мин
^{103}Ru	3,09	6,4	3,00	2,4	497,08	86,4	3,5	39,35 дн.	50 с
^{134}I	7,7	1,8	7,21	5,6	847,02 884,09	95,4 65,3	0,3 1,0	52,6 мин	41,8 мин
^{135}I	6,54	2,0	6,03	5,3	1260,41	29	1	6,61 ч.	19,2 с
^{139}Ba	6,55	2,0	6,46	3,6	165,85	22	4	1,38 ч.	9,5 мин
^{140}La	6,30	1,2	5,85	1,4	328,77 487,03 925,24 1595,49	18,6 43,0 6,8 95,5	0,7 1,5 0,4 0,3	40,22 ч.	12,81 дн
^{140}Ba	6,30	1,2	6,21	1,8	537,2	22,5	0,5	12,61 дн.	1,07 мин
^{142}La	5,89	1,6	5,70	5	641,17	49,0	3	92,4 мин	10,7 мин
^{143}Ce	5,93	1,2	5,79	3	293,26	41,3	-	33,7 ч.	14,0 мин
^{147}Nd	2,30	3,0	2,38	4,6	91,11	27,1	-	10,98 дн.	12,0 мин

числовая ошибка в величине ϵ для данной линии обусловлена ошибками в определении числа треков /-3%, квантового выхода используемой гамма-линии, кумулятивного выхода нуклида /см. таблицу/, величин R_1 , R_2 , R_3 /2-5% и составляет в сумме 6-13%. Если учесть, что число используемых гамма-линий может быть велико, то достичь желаемой статистической точности определения функции $\epsilon(E_\gamma)$ не представляет особой трудности.

С другой стороны, наличие систематических погрешностей определяет предельную точность предложенной методики. К источникам таких погрешностей можно отнести неравномерность нейтронного потока вдоль слоя урана, рассеяние осколков от коллиматора, просчет осколков из-за наложения, их самопоглощение в мишени и т.д. Анализ этих факторов приводит к выводу, что в то время как от

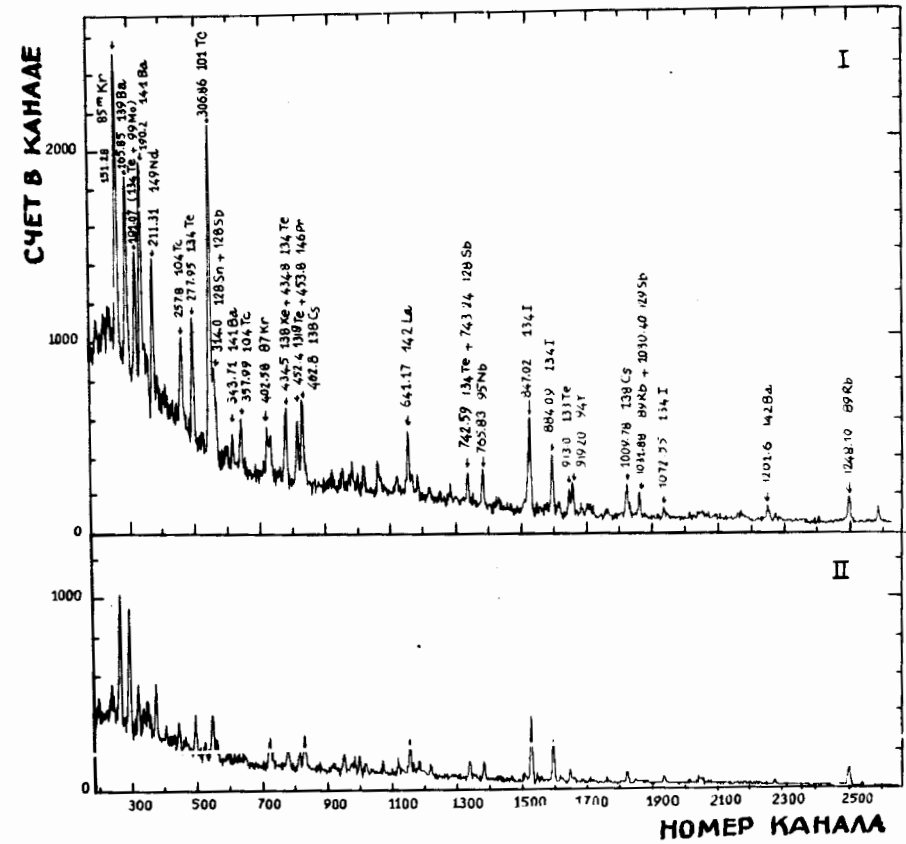


Рис.2. Гамма-спектры осколков деления ^{235}U тепловыми нейтронами, измеренные ППД в течение 30 минут через 0,13 часа /I/ и 1,13 часа /II/ после окончания облучения.

многих из них можно избавиться путем модификации схемы эксперимента /разнесение в вакууме мишени и детектора осколков, использование самой мишени в качестве источника гамма-спектра/, наличие некоторых из них обуславливает худшую по сравнению с существующими методами точность <1% определения $\epsilon(E_\gamma)$. По-видимому, трудно достичь точности, лучшей чем 3-5%. Таким образом, можно сделать вывод, что предложенная здесь методика позволяет с хорошей точностью определять абсолютную эффективность ППД в широком диапазоне энергии. Растворяя коллектор осколков /из металла или пластмассы/ в подходящем растворителе, можно использовать его для приготовления объемных источников заданной формы и размеров и определить для них величину ϵ . Данное обстоя-

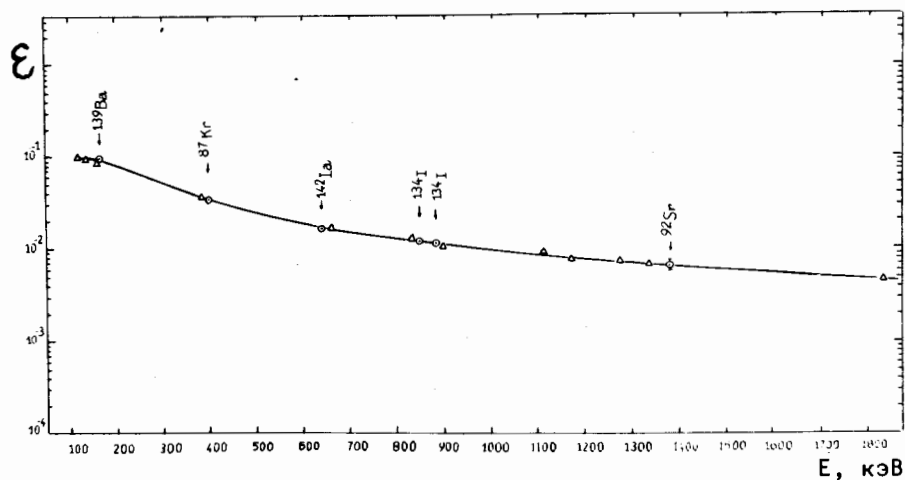


Рис.3. Зависимость абсолютной эффективности ППД от энергии, определенная с помощью стандартных источников ОСГИ и по осколкам деления ²³⁵U тепловыми нейтронами.

тельство способствует применению различного рода методик абсолютного эталонирования при активационном анализе /см., например, /11/ /.

Отметим следующие положительные стороны предложенного способа определения ϵ :

1. Применяется только один источник гамма-излучения.
2. Величина ϵ определяется для широкой области энергии /от рентгеновской до нескольких МэВ/.
3. Используя нуклид с хорошо изученной схемой распада и известным с большой точностью кумулятивным выходом, например ¹⁴⁰La, можно отградуировать в абсолютных значениях сравнительно просто получаемые графики относительной эффективности ППД.
4. Способ позволяет определять ϵ для протяженных плоских /и объемных/ источников произвольной формы.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить глубокую благодарность С.П.Третьяковой за консультацию и помощь при работе с трековыми детекторами и профессору Ю.С.Замятнину за обсуждение результатов и поддержку, а также Ю.В.Хольнову за ценные критические замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин С.А. и др. Прикладная спектрометрия с полупроводниковыми детекторами. Атомиздат, М., 1974.

2. Днепровский И.С. и др. В сб.: Прикладная ядерная спектроскопия. 1977, вып.7, с.127.
3. Горбачев В.М., Замятнин Ю.С., Лбов А.А. Взаимодействие излучений с ядрами тяжелых элементов и деление ядер. Справочник. Атомиздат, М., 1976.
4. Meek M.E., Rider B.F. Compilation of Fission Product Yields. USAEC-GEC-NE, 1972, 12154, p.1-126.
5. Crouch E.A.C. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1977, 19, No.5, p.439.
6. Thierens H. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1976, 134, p.299-308.
7. Злоказов В.Б. ОИЯИ, P10-82-105, Дубна, 1982.
8. Силин И.Н. В кн.: Статистические методы в экспериментальной ядерной физике. Атомиздат, М., 1976, с.319.
9. Tretyakova S. et al. Proc. 10th Int.Conf. on SSNTD, Lyon. Pergamon Press, 1979, p.283.
10. Table of Isotopes (Ed. by C.M.Lederer, V.S.Shirley). Seventh Edition. Wiley Interscience, N.Y., 1978.
11. Simonits A., De Corte F., Demeter A. J.Radioanal.Chem., 1975, 24, p.31.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 июля 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
Д1,2-12036	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12450	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, ИРБ, 1978.	3 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д4-80-271	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-385	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д10,11-81-622	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д17-81-758	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д1,2-82-27	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Р18-82-117	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Д2-82-568	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д9-82-664	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д3,4-82-704	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Во Дак Банг и др.

13-83-504

Способ определения абсолютной эффективности полупроводникового детектора гамма-излучения

Разработана методика определения абсолютной эффективности полупроводникового детектора гамма-излучения, основанная на использовании гамма-спектра осколков деления ^{235}U тепловыми нейтронами.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Vo Dak Bang et al.

13-83-504

The Method of Absolute Efficiency Determination for Semiconductor Detector of Gamma Radiation

The method of the absolute efficiency determination for the semiconductor detector of gamma radiation is proposed. It is based on the utilization of gamma-rays emitted by the ^{235}U thermal neutron fission products.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой