

# ИЗУЧЕНИЕ ПРЕЦИЗИОННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СПЕКТРОМЕТРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПЕКТРОВ ЭТАЛОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ

**О. В. Соболева**

*soboleva.o.2000@gmail.com;*

*Научный руководитель — М. Д. Дежурко, кандидат физико-математических наук,  
доцент*

В данной работе проводилось исследование прецизионных энергетических характеристик блока детектирования Canberra gc4018 на основе особо чистого германия с многоканальным анализатором типа dsa-lx. Результаты работы могут быть использованы для дальнейшего совершенствования методики работы со спектрометром, используемом для контроля герметичности оболочек твэлов на БелАЭС.

**Ключевые слова:** германиевый спектрометр; спектры гамма излучения; аппроксимация; калибровочная функция.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время изучение энергетических характеристик полупроводниковых спектрометров имеет большую важность для широкого спектра научных и практических областей, связанных с анализом гамма излучения. В частности, это касается медицинской диагностики, контроля радиационной безопасности в промышленности и науке, а также исследований в области ядерной физики.

Для достижения цели были получены эталонные спектры, построена калибровочная кривая и выявлены точностные характеристики определения значения энергии. Поэтапно проводилась идентификация пиков и расчет их характеристик, расчет калибровочных функций, с помощью которых осуществлялось моделирование спектров путем подбора аппроксимирующих полиномов различных степеней, выбор варианта калибровки с помощью критерия Фишера, а также оценка точности определения энергии с помощью выбранной калибровки.

## **ПРОЦЕСС ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

В исследовании использовались следующие эталонные источники гамма-излучения: Am-241, Ba-133, Co-57, Co-60, Cs-137, Mn-54, Na-22. После получения экспериментальных спектров всех источников, были найдены аппроксимации линий каждого спектра. Для определения положения пика применялись различные методы, а именно: метод первых моментов, метод пяти каналов, метод линеаризированной функции, метод

параболизированной функции и визуальный метод [1, с. 101-108]. За итоговое значение положения пика принимается среднее арифметическое всех методов (табл. 1).

Таблица 1

**Результаты аппроксимации спектров всех эталонных источников**

Нуклид	Энергия	Первых моментов	Пяти каналов	Лианери зированной	Параболы зированной	Визуально	Среднее
Am-241	59,54	328,01	328,18	328,14	328,17	328,0	328,10
Ba-133	53,16	293,32	293,07	293,03	293,07	293,0	293,10
Ba-133	80,99	446,06	446,28	446,24	446,27	446,0	446,17
Ba-133	160,61	884,43	884,36	884,33	884,38	884,5	884,40
Ba-133	223,23	1229,29	1229,03	1229,04	1229,03	1229,0	1229,08
Ba-133	276,40	1521,57	1521,58	1521,58	1521,58	1521,5	1521,56
Ba-133	302,85	1667,18	1667,17	1667,16	1667,17	1667,0	1667,14
Ba-133	356,01	1959,74	1959,70	1959,70	1959,70	1960,0	1959,77
Ba-133	383,85	2112,90	2112,87	2112,86	2112,87	2113,0	2112,90
Cs-137	661,66	3641,73	3641,62	3641,63	3641,62	3641,5	3641,62
Mn-54	834,85	4594,75	4594,61	4594,60	4594,64	4594,5	4594,62
Na-22	511,01	2812,52	2812,56	2812,58	2812,57	2812,5	2812,55
Na-22	1274,53	7014,11	7013,97	7013,95	7013,99	7014,0	7014,00
Co-57 (1)	122,06	672,22	672,28	672,26	672,27	672,0	672,21
Co-57 (1)	136,47	751,58	751,59	751,59	751,60	752,0	751,67
Co-57 (1)	692,41	3808,42	3808,57	3808,37	3808,64	3808,0	3808,40
Co-57 (2)	122,06	672,24	672,30	672,29	672,29	672,0	672,22
Co-57 (2)	136,47	751,59	751,61	751,61	751,62	752,0	751,69
Co-57 (2)	692,41	3808,41	3809,79	3808,80	3809,47	3809,0	3809,09
Co-60	1173,24	6456,44	6456,41	6456,42	6456,35	6456,5	6456,42
Co-60	1332,501	7333,00	7332,81	7332,80	7332,87	7333,0	7332,90
Co-60*	1173,237	6456,64	6456,26	6456,26	6456,20	6456,5	6456,37
Co-60*	1332,501	7332,93	7332,75	7332,68	7332,83	7333,0	7332,84

Точность определения энергии зависит от точности определения положения пиков. Наибольший разброс в определении положения пиков составляет 0,3 канала, что в пересчёте в энергию дает примерно 60 эВ.

Критических отклонений от прямой не наблюдается. Однако, поскольку небольшой разброс имеется, вопрос об аппроксимации квадратичной функцией остается открытым.

### АППРОКСИМАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Полученные данные были аппроксимированы методом наименьших квадратов с использованием полиномов 1-ой, 2-ой и 3-ей степеней (табл.2).

Таблица 2

**Коэффициенты полинома различных степеней**

Степень полинома	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
1	-0,113	0,181730	0	0
2	-0,095	0,181710	2,621E-09	0
3	-0,084	0,181690	1,031E-08	-7,16E-12

Коэффициент  $a_2$  ~ в миллиард раз меньше коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$ . То есть поправка настолько ничтожная, что изобразить ее не предоставляется возможным. А значит, можно сделать вывод о том, что появление квадратичного, так же, как и параболического членов незначительна.

### ВЫБОР ВАРИАНТА КАЛИБРОВКИ ПРИ ПОМОЩИ КРИТЕРИЯ ФИШЕРА

Была принята доверительная вероятность в 5% и вычислены степени свободы для каждой степени полиномов. В результате с достоверностью в 95%, выбиралось критическое значение. Если расчетное значение будет превышать критическое, то гипотеза о том, что квадратичная функция для аппроксимации лучше линейной, верна. [2, с. 96-102]. На (табл. 3) изображены полученные расчетные значения критериев Фишера.

Таблица 3

**Значения критериев Фишера**

Степень полинома	Сумма квадратов отклонений, $\text{эВ}^2$	Количество степеней свободы	Случай	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{критич}}$
1	0,0050	15	Отношение линейной к квадратичной	1,655	2,3463
2	0,0030	14			
3	0,0026	13	Отношение линейной к кубической	1,910	2,533

Результаты вычислений показали, что критерий Фишера так же, как и величины коэффициентов  $a_2$ ,  $a_0$  и  $a_1$  показывают, что линейной функции для аппроксимации данных вполне достаточно.

### **ВЫВОДЫ**

Из проделанной работы можно заключить, что блок детектирования Canberra gc4018 на основе особо чистого германия с многоканальным анализатором типа dsa-1x обладает практически линейной шкалой. Энергетическую калибровку достаточно проводить в виде линейной функции. Однако, поскольку небольшая нелинейность все же присутствует, квадратичную функцию лучше использовать при необходимости очень высокой точности определения положения пика. Также при помощи этой энергетической калибровки можно вычислять погрешность определения энергии, которая в нашем случае составляет 40 эВ.

### **Библиографические ссылки**

1. *Дуглас Р, Норберт Э, Хэйстингс С, Крайнер С.* Пассивный неразрушающий анализ ядерных материалов. Справочник. Пер. с англ. М.: ВНИИА, 2007.
2. *Худсон Д.* Статистика для физиков. М: Издательство Мир, 1970.