

ГРАДУИРОВОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ГАММА-СПЕКТРОМЕТРА ПО ЭНЕРГИИ

Цель работы. Изучить методики гамма-спектрометрических исследований с использованием гамма-спектрометра и выполнить градуировку по энергии для спектрометра с полупроводниковым детектором.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Многие проводимые на реакторе нейтронно-физические эксперименты требуют применения гамма-спектрометрического оборудования. Поэтому определение основных характеристик спектрометра (энергетическая зависимость, эффективность, разрешающая способность) и освоение методик и приемов проведения измерений является важным этапом в процессе подготовки студентов к проведению экспериментальных исследований.

Градуировка по энергии заключается в установлении зависимости между номером канала анализатора, в который попадает импульс с амплитудой u , и энергией частицы, провзаимодействовавшей с детектором. Анализ формы аппаратурной линии показывает, что такая связь не является однозначной. Однако в аппаратурном спектре имеются участки, в которых амплитуды сигналов довольно точно связаны с энергией частицы. Например, в спектрометрах γ -излучения такими участками являются пики полного поглощения, пики вылета аннигиляционных γ -квантов, край комптоновского распределения и др. Наиболее точно связь "амплитуда сигнала - энергия частицы" может быть установлена по положению пика полного поглощения u_0 . Значению u_0 ставится в соответствие энергия кванта, испускаемого источником излучения.

Для того, чтобы отградуировать спектрометр, в условиях, идентичных условиям основного эксперимента снимают спектры излучения нуклидов с хорошо известными энергетическими спектрами (обычно от стандартных источников из комплекта ОСГИ и ОСГИ-М). Количество используемых линий m определяется требуемой точностью градуировки. Определяют положение пиков полного поглощения $u_{0i} (i=1, 2, \dots, m)$, по которым можно наиболее точно восстановить энергию квантов, поглощенных в детекторе. Полученные экспериментальные точки наносят на график и аппроксимируют подходящей функцией.

В спектрометрах с полупроводниковыми (ионизационными) и сцинтилляционными детекторами амплитуда сигнала u в первом приближении пропорциональна энергии частиц E_γ и для аппроксимации можно использовать линейную функцию

$$E_\gamma = k_1 + k_2 u. \quad (1)$$

Для грубой градуировки, таким образом, достаточно двух линий ($m=2$). Для уменьшения погрешности градуировки необходимо снять большее количество линий, выбирая по возможности те, которые расположены равномерно по всему диапазону энергий. Коэффициенты k_m целесообразно определять, решая m уравнений методом наименьших квадратов

Для дальнейшего уменьшения погрешности необходимо учесть малые отклонения от линейности. В этом случае для аппроксимации используют полиномы более высоких порядков или дополнительно к линейной градуировке строят кривую нелинейности, которую используют для коррекции получаемых по формуле (1) результатов. При этом по двум или нескольким опорным точкам, соответствующим различной энергии, находят коэффициенты уравнения (1). Затем по полученному уравнению прямой определяют расчетные положения пиков $u_{ор}$ для всех снятых линий и определяют их отклонения от экспериментальных значений $\delta = u_0 - u_{ор}$. Полученные точки наносят на график и аппроксимируют подходящей функцией. Для проведения такой градуировки удобно использовать многомерные образцовые спектрометрические источники ОСГИ-М.

После градуировки следует провести проверку энергетической шкалы спектрометра. Для этого можно использовать каскадные переходы либо пики в аппаратурном спектре, расстояние между которыми в энергетических единицах хорошо известно (внутренняя проверка). По имеющейся градуировочной кривой определяют значения энергий E_1 , E_2 и E_3 на аппаратурном спектре нуклида с каскадным переходом (рис. 1 б, в). С достоверной вероятностью 0,95 при этом должно выполняться условие

$$E_3 - (E_2 + E_1) < 2 \cdot \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} \quad (2)$$

где σ_i - средняя квадратическая погрешность определения E_i .

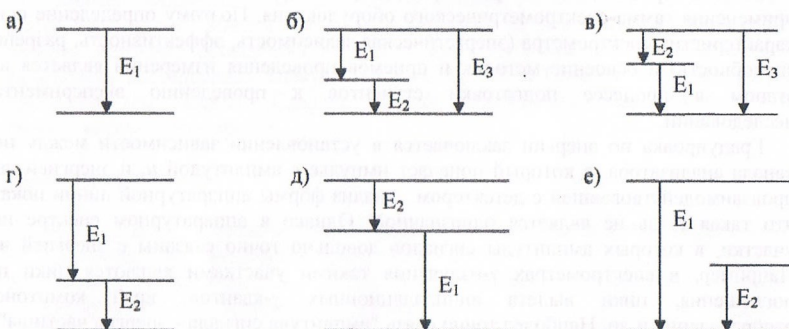


Рис. 1. Возможные схемы энергетических переходов и уровней ядер

На спектрометре, проградуированном по энергии, можно проводить измерения энергии частиц. Зная энергию и массу атома M , возникающего после вылета частицы, можно определить энергию перехода, введя поправку на отдачу. Например, если γ -квант с энергией E_γ испущен неподвижным свободным атомом, то из закона сохранения энергии и импульса следует, что энергия перехода

$$E_n = E_\gamma + \frac{1}{2} \left(\frac{E_\gamma}{mc^2} \right)^2 \frac{m}{M} mc^2 \quad (3)$$

Зная только энергии переходов, можно делать определенные предположения о схеме энергетических уровней дочернего ядра, образующегося при распаде. Например, если в спектре γ -излучения обнаружен только один γ -переход с энергией $E_1 \pm \sigma_1$, то очевидно, что схема энергетических уровней соответствует схеме, представленной на рис. 1, а. Если обнаруживаются два перехода с энергиями $E_1 \pm \sigma_1$ и $E_2 \pm \sigma_2$ то возможны схемы уровней, аналогичные рис. 1, г-е. При обнаружении третьей линии может иметь место схема переходов, приведенная на рис. 1, б, в, если эта линия является пиком суммирования. И так далее.

2. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

В лабораторной работе используется следующая аппаратура

1. Многоканальный анализатор.
2. Полупроводниковый ОЧГ-детектор объемом 60 см³ с площадью чувствительной поверхности 15 см².
3. Градуировочные источники гамма-излучения (ОСГИ) Cs-137, Co-60 и Eu-152.

3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Поместить на детектор источник Eu-152 из комплекта ОСГИ.
2. Установить время измерения 200 с, набрать код программы обработки спектра и включить измерение.
3. После окончания измерения включить обработку спектра.
4. По распечатке спектра определить номера каналов фотопиков Eu-152 и Co-60.
5. Поместить на детектор источник Cs-137 из комплекта ОСГИ.
6. Определить номер канала фотопиков Cs-137 и Co-60.
7. Полученные результаты (номера каналов и энергии фотопиков) поместить в табл. 1.

Нуклид	Энергия фотопиков, кэВ		Номер канала
Eu-152	121,8	867,4	
	244,7	964,1	
	344,3	1086	
	411,1	1089	
	444,0	1112	
	778,9	1408	

8. Построить график энергетической калибровки, откладывая по оси абсцисс номер канала, по оси ординат - энергию фотопика.
9. На основании полученных экспериментальных результатов получить уравнение аппроксимирующей функции и рассчитать значения энергий пиков полного поглощения радионуклида Cs-137 и Co-60.
10. Используя результаты градуировки гамма-спектрометра, провести исследование энергетического спектра излучения источника, предложенного преподавателем (Cs-137 и Co-60). При этом определить энергии всех зарегистрированных линий, сравнить со справочными данными и по их значениям идентифицировать нуклид-источник (результаты представить в таблице). В случае отклонения измеренных величин от справочных данных выявить причины этого отклонения, указать возможные источники погрешностей. Затем на основании полученных данных определить возможные схемы энергетических уровней дочернего ядра (рис.1) и графически изобразить предполагаемые схемы. По окончании работы сделать выводы:
 - о линейности градуировочных характеристик полупроводникового спектрометра в различных диапазонах энергетической шкалы,
 - о возможных причинах различной степени нелинейности градуировочных характеристик в различных энергетических диапазонах,
 - о характерных особенностях схем распада и структуры энергетических уровней дочерних ядер, исследованных в процессе выполнения работы.

4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1. Согласно НРБ-99/2009 к работам с закрытыми радиоактивными источниками (ОСГИ) допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр, инструктаж на рабочем месте и сдавшие экзамен по РБ в службе РБ ИРТ-Г.
2. Источники хранятся в защитном сейфе, они извлекаются из сейфа и переносятся к детектору пинцетом.
3. Запрещается:
 - находиться в лаборатории без спецодежды,
 - подносить источник близко к глазам,
 - оставлять источник без надзора,
 - курить, принимать пищу, находиться в помещении лаборатории в верхней одежде,

- брать источник руками.
4. В случае разгерметизации источника и его рассыпания необходимо немедленно сообщить дежурному дозиметристу и руководителю работы, после чего принять меры по сбору радиоактивного вещества и дезактивации загрязненного участка.
 5. В схеме питания ППД используется высокое напряжение (до 3000 в). Запрещается разбирать разъемы высоковольтного тракта, прикасаться к блоку предусилителя и высоковольтного источника питания до выключения последнего.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Вначале формулируется полученное задание на исследование или цель работы. Далее необходимо описать установку и принцип ее действия, назначение. Полностью описать методику проведения работы и привести результаты градуировки. Привести результаты исследования спектра нуклида Cs-137 и Co-60 с анализом результатов и выводами (см. выше). Сделать оценку полученных результатов с санитарно-гигиенической точки зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брегадзе Ю.И., Степанов Э.К., Ярына В.П. Прикладная метрология ионизирующих излучений. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 262 с.
2. Байдин С.А., Баландин С. А. и др. Прикладная спектрометрия с полупроводниковыми детекторами. - М.: Атомиздат, 1974. - 320 с.
3. Вартанов Н.А., Самойлов П. С. Прикладная сцинтилляционная спектрометрия. - М.: Атомиздат, 1969. - 463 с.
4. Основы метрологии ионизирующих излучений. Методическое пособие к выполнению лабораторного практикума. Часть 1. - Томск: Изд. ТПУ, 1997.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). - М.: Госкомсанэпидем- надзор России, 2009. - 61 с.
6. Абрамов Ф. И., Казанский Ю.А., Матусевич В.С. Основы экспериментальных методов ядерной физики - М.: Энергоатомиздат, 1977. - 528 с.
7. Лабораторный практикум по экспериментальным методам ядерной физики: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. Фионогенова К.Г.-М.: Энергоатомиздат, 1986. -432 с.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные процессы взаимодействия γ -квантов с веществом.
2. В чем заключается градуировка спектрометра по энергии?
3. Как зависит амплитуда возникающего в детекторе тока от энергии γ -кванта?
4. Физические принципы работы полупроводникового детектора.
5. Методы определения положения и площади пиков в аппаратурном γ -спектре излучения.
6. Какими физическими процессами обусловлены пики в аппаратурном спектре γ -излучения? Всегда ли форма пика описывается распределением Гаусса?
7. Как оценить вид схемы энергетических уровней ядра на основе полученных результатов?
Какими факторами обусловлена погрешность результатов энергетической калибровки спектрометра?