



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

99-4

P6-99-4

В.А.Морозов, Н.В.Морозова

ФОРМИРОВАНИЕ
АНТИКОМПТОНОВСКИХ ГАММА-СПЕКТРОВ
МЕТОДОМ КВАЗИДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

1999

Формирование антикомптоновских гамма-спектров
методом квазидифференцирования

Рассмотрен метод формирования антикомптоновских γ -спектров, в основе которого лежит процесс квазидифференцирования экспериментальных γ -спектров, основанный на учете ширины γ -линии.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1999

Перевод авторов

Morozov V.A., Morozova N.V.

P6-99-4

An Anti-Compton Gamma Spectrum Formation
by Quasidifferentiation Method

An anti-compton γ -spectrum formation method is considered. The method is based on quasidifferentiation of experimental γ -spectra with regard for the γ -line width. It can be used for precise determination of energies of single γ -lines and for processing of the data at activation analysis.

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

Процесс регистрации γ -квантов, α -частиц или электронов внутренней конверсии (ЭКВ) сопровождается рядом побочных эффектов, таких, как комптон-эффект, возникающий при взаимодействии γ -излучения с веществом, и процессы обратного рассеяния и самопоглощения в радиоактивном источнике, которые наиболее характерны при регистрации электронного излучения или α -частиц. Это приводит к тому, что в энергетических спектрах помимо спектральных линий регистрируется также и фон сложной формы. Так как конечной целью изучения спектров ядерного излучения является определение энергии и интенсивности соответствующих спектральных линий, то исключение или правильный учет фонового распределения является важной проблемой. Особенно важна процедура корректного вычитания фона при прецизионном определении энергий γ -линий, так как в принципе, помимо статистического, не существует критерия корректного вычитания фона при описании формы линии определенным модельным представлением: значение энергии γ -линии является истинным при корректном вычитании фона, а корректное вычитание фона мы можем провести, если только знаем истинное значение энергии γ -линии. И в этом случае никакие эталонные источники не позволяют решить эту задачу, так как фоновое распределение под эталонными γ -линиями заведомо будет отличаться от фонового распределения исследуемого источника.

Задачу исключения комптоновского распределения можно решить аппаратными или аналитическими средствами. Примером аппаратных средств могут служить спектрометры полного поглощения, комптоновские и антикомптоновские спектрометры [1]. Однако каждому типу этих спектрометров присущи характерные недостатки, которые связаны с тем, что ни в одном из них не возможно не только полностью устранить комптоновское распределение, но и обеспечить его равномерное ослабление во всем энергетическом диапазоне. Существенным недостатком спектрометра полного поглощения является также низкое энергетическое разрешение вследствие того, что его можно реализовать только с неорганическими сцинтилляторами большого объема. И общим недостатком этих спектрометров является их довольно низкая эффективность регистрации γ - излу-

чения даже для спектрометра полного поглощения и антикомптоновского спектрометра, в случае, если требуется существенно уменьшить эффект суммирования каскадных γ -лучей в кристалле анализирующего детектора.

Аналитические методы учета фона развивались в связи с необходимостью решения задачи автоматической расшифровки γ -спектров и определения энергии и интенсивности γ -линий, находящихся на фоновом распределении [2—6]. Один из подходов, обеспечивающий автоматический поиск γ -линий при компьютерной обработке дискретных спектров, привел к использованию метода двойной разности [2]. В этом случае строилась функция

$$S_i = N_i - 2N_{i+1} + N_{i+2}$$

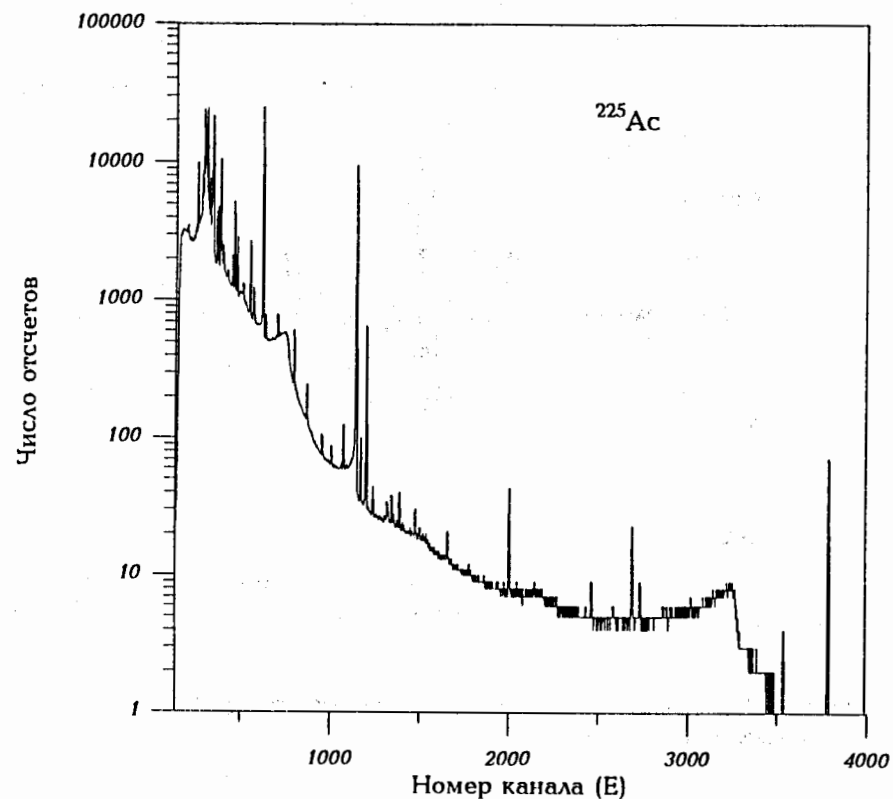
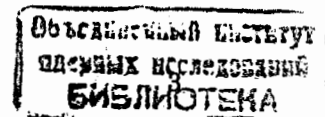


Рис.1. γ -спектр ^{225}Ac



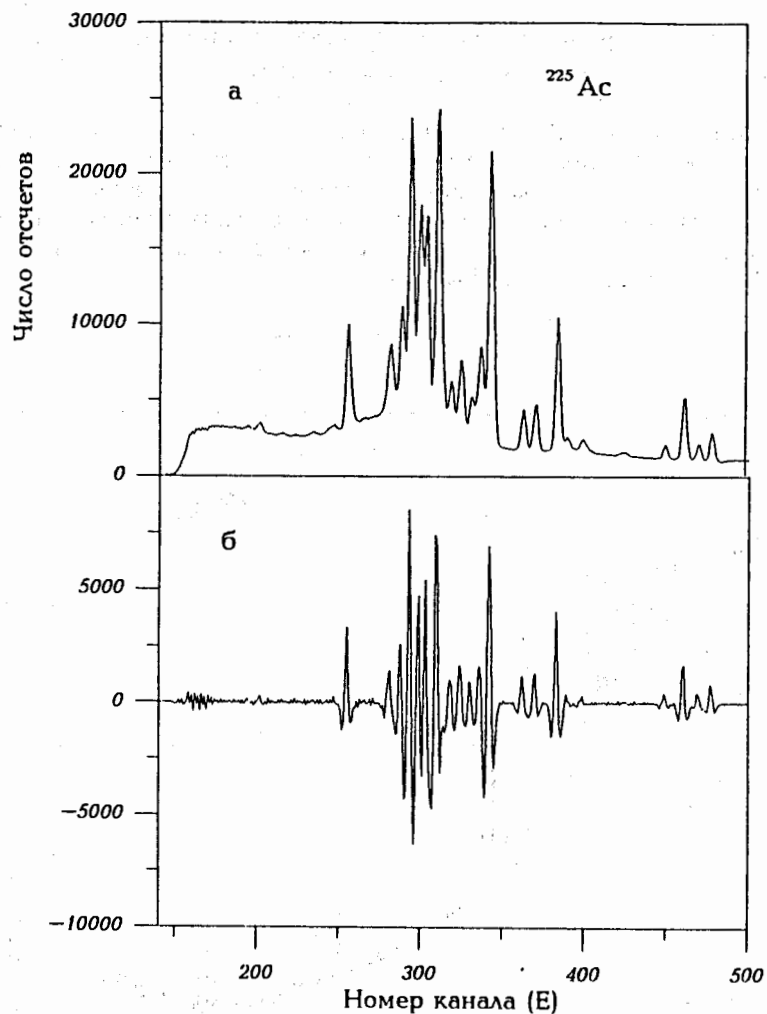


Рис.2. а) Начальный участок γ -спектра ^{225}Ac б) γ -спектр ^{225}Ac (спектр двойной разности — $n = 1$)

где N — число отсчетов в соответствующем канале. Эта функция эквивалентна виду второй производной для непрерывной функции.

Разрешение современных высокоэффективных полупроводниковых γ -спектрометров не превышает нескольких кэВ, поэтому комптоновское фоновое распределение в пределах γ -линии можно, очевидно, аппроксимировать линейной функцией. В этом случае нахождение второй производной для экспериментального γ -спектра позволяет свести фоновое распределение к нулю. На рис.1 приведен γ -спектр ^{225}Ac , измеренный на планарном HPGe-детекторе, а на рис.2 — пример подобного преобразования, проведенного для начального участка этого спектра после процедуры нахождения второй разности. Видно, что после нахождения второй разности фон комптоновского распределения становится равным нулю. Однако при использовании подобного подхода происходит существенное уменьшение интенсивности расчетной γ -линии, что сказывается на точности определения ее энергии и вызывает необходимость введения процедуры сглаживания. Процедура сглаживания позволяет повысить чувствительность спектрометра за счет усреднения статистических флуктуаций, хотя при этом ухудшается разрешение спектрометра.

Избежать потери чувствительности спектрометра и даже увеличить ее можно применив метод преобразования γ -спектра, который можно условно назвать квазидифференцированием. Метод аналогичен процедуре дифференцирования дискретного спектра, как в рассмотренном ранее случае, когда происходило вычитание из содержимого канала с номером i содержимого канала с номером $i + 1$. В предлагаемом методе производится вычитание из содержимого канала с номером i содержимого канала с номером $i + n$, где значение n равно ширине γ -линии на половине высоты. При таком подходе использовано априорное знание формы линии. Формирование квазидифференциального спектра производится аналогично формированию спектра двойной разности

$$S_i = N_i - (N_{i+1} + N_{i+n}) + N_{i+n+1}.$$

Эта процедура позволяет осуществить поиск слабых по интенсивности линий в присутствии фона и статистических флуктуаций, так как в данном случае происходит формирование спектра коррелированных событий. Очевидно, что при двойном квазидифференцировании не происходит потери чувствительности спектрометра. На рис.3 приведен результат двойного квазидифференцирования для интенсивных γ -линий для того же участка спектра, что и на рис.2.

На рис.3 видны структурные особенности, возникающие при формировании квазидифференциального спектра, для участка спектра с неразрешенными линиями. На рис.4 представлен участок сформированного спектра, включающего малоинтенсивные одиночные линии на краю комптоновского распределения. Двойное квазидифференцирование края комптоновского распределения приводит к

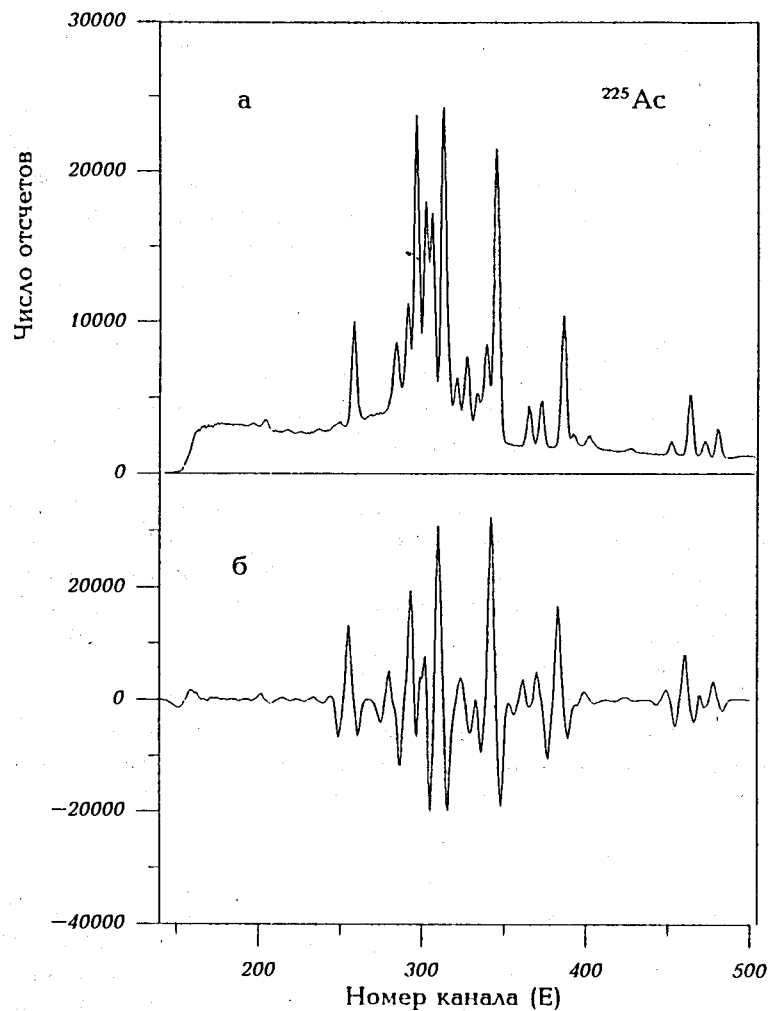


Рис.3. а) Начальный участок γ -спектра ^{225}Ac , б) γ -спектр ^{225}Ac (после квазидифференцирования — $n = 6$)

появлению при $n \approx 750$ характерного перепада, соответствующего виду первой производной. На рис.5 представлен тот же участок спектра, что и на рис.4, отли-

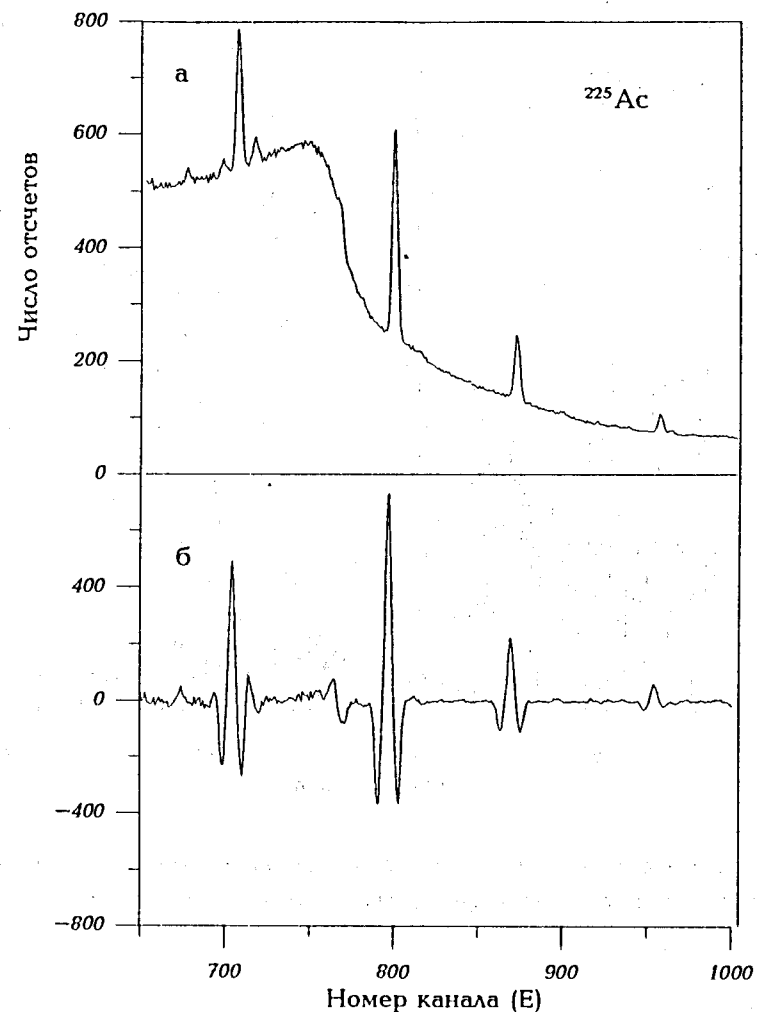


Рис.4. а) Участок γ -спектра ^{225}Ac , б) γ -спектр ^{225}Ac (после квазидифференцирования — $n = 6$)

чающийся от него только тем, что в квазидифференциальном спектре исключены отрицательные компоненты линии. Приведенный рисунок наглядно демонстри-

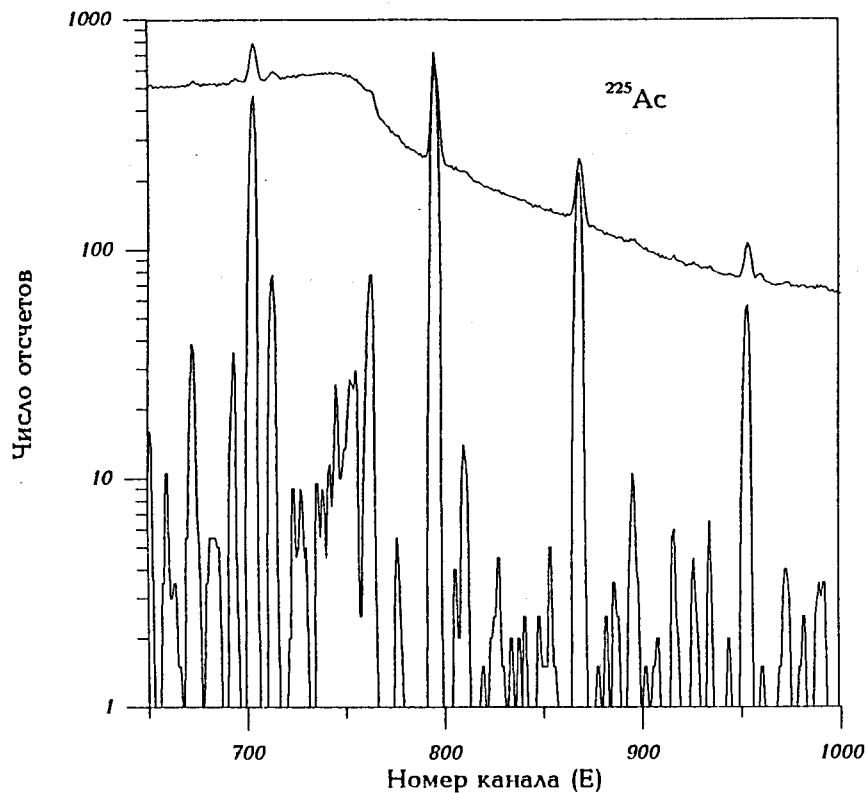


Рис.5. Участок γ -спектра ^{225}Ac (в логарифмическом масштабе — $\lg N_i$). а) Оригинальный участок спектра, б) квазидифференциальный вид спектра

рует возможности по идентификации малоинтенсивных линий в пределах статистического разброса точек фонового распределения.

Таким образом, метод квазидифференцирования:

1) привел к фактически полному устранению фона комптоновского распределения под γ -линиями, т.е. позволил получить антикомптовские спектры γ -лучей (за исключением точки перегиба на краю комптоновского распределения), и обеспечил возможность применения единой процедуры определения интенсив-

ности и энергии γ -линий без использования различных вариаций представления о форме линии и вычитаемого фона (константа, зависимость в виде полинома и т.д.) для разных участков спектра, создавая, таким образом, условия для прецизионного определения энергии одиночной γ -линии;

2) определение центра тяжести γ -линии свел к нахождению центра тяжести соответствующего распределения, лежащего между отрицательными дублетными компонентами γ -линии в квазидифференциальном спектре, без привлечения какого — либо модельного представления о форме линий

$$n_{\text{цт}} = \frac{\sum_{i=k}^m n_i N_i}{\sum_{i=k}^m N_i}$$

где диапазон $k - m$ соответствует значению $N_i > 0$.

3) увеличил амплитуду γ -линий без увеличения уровня фона;

4) дал критерий монохроматичности линии — в случае симметричной формы одиночной γ -линии дублетные компоненты γ -линии в отрицательной области должны иметь одинаковые амплитуды, а если амплитуды дублетных компонент разные, то эту линию следует отнести к линиям со сложной структурой. Свидетельством сложной структуры линии при равных амплитудах компонент отрицательного дублета может также служить расстояние между отрицательными компонентами, превышающее удвоенную ширину линии;

5) так как в основе подхода лежит представление о стандартной форме линии, то он может привести в ряде случаев к выявлению слабых по интенсивности γ -линий, т.е. к обнаружению упорядоченного распределения точек на хаотическом фоновом распределении;

6) позволяет также проводить автоматический поиск γ -линий при компьютерной обработке экспериментальных данных;

Можно также отметить, что в процессе формирования квазидифференциальных спектров используется только один параметр — ширина γ -линии.

Однако применение данного метода формирования γ -спектров приводит к некоторому сужению информативной области, обусловленному процедурой формирования γ -спектра. Заметим, что фактически полное разделение γ -линий в квазидифференциальном спектре происходит, если центры тяжести линий отстоят не менее чем на трехкратную ширину на полувысоте линии, т.е. при разрешении спектрометра в 2 кэВ это будет соответствовать 6 кэВ. Но при этом следует отметить, что и в случае стандартного подхода при определении энергии и интенсивности спектральной линии также требуется расширение спектральной области за пределы области, занятой линией, для определения и учета фонового распределения под изучаемой линией. Различие калибровок по энергии и эффективности регистрации γ -излучения для простых γ -спектров и сформированных спектров,

полученных методом квазидифференцирования, требует формирования дополнительных калибровочных квазидифференциальных спектров. При анализе участков γ -спектров со сложной структурой потребуется использование стандартных методов обработки γ -спектров.

Предлагаемый метод может быть применен для прецизионного определения энергии и интенсивности одиночных γ -линий, а также при изучении спектров неизвестных γ -лучей. Другой областью применения метода может стать активационный анализ, так как в этом случае необходимо знать только форму квазидифференциального спектра определенного радиоактивного изотопа для используемого спектрометра. Существенное упрощение формы γ -спектра позволяет использовать подобный подход также при экспресс-анализах γ -спектров. Помимо этого рассматриваемый метод может найти применение для исключения γ -, β^+ -и β^- -фона, зарегистрированного полупроводниковыми детекторами или магнитными спектрометрами, при регистрации электронов внутренней конверсии.

Авторы признательны В.И.Фоминых и Ш.Маликову за содействие в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варганов И.А., Самойлов П.С. — Прикладная сцинтилляционная гамма-спектрометрия. М.: Атомиздат, 1975.
2. Mariscotti M.A. — Nucl. Instr. and Meth., 1967, v.50, p.309.
3. Black W.W. — Nucl. Instr. and Meth., 1969, v.71, p.317.
4. Routti J.T., Prussin S.G. — Nucl. Instr. and Meth., 1969, v.72, p.125.
5. Connelly A.L., Black W.W. — Nucl. Instr. and Meth., 1970, v.82, p.141.
6. Slavic I.A., Bingulac S.P. — Nucl. Instr. and Meth., 1970, v.84, p.261.