

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Р6-86-120

В.Б.Бруданин, В.Г.Сандуковский, Ш.Бриансон¹,
Ц.Вылов, Н.И.Рухадзе²

ИДЕНТИФИКАЦИЯ БЕТА-ЧАСТИЦ
ПО ФОРМЕ ИМПУЛЬСОВ
В ПЛАНАРНЫХ НРС_e-ДЕТЕКТОРАХ

Направлено в Оргкомитет 36 Совещания
по ядерной спектроскопии и структуре
атомного ядра. Харьков, апрель 1986 г.

¹ ЦЯСМС, Орсе, Франция

² Тбилисский государственный
университет

1986

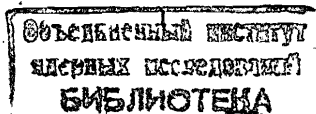
Введение

В настоящее время полупроводниковые детекторы (ПД) являются основным инструментом исследований в физике низких энергий. Их главными достоинствами являются высокое энергетическое разрешение, хорошая эффективность регистрации, многосканальность и относительная простота при постановке эксперимента.

Вместе с тем, ПД обладают и одним существенным недостатком - низкой избирательностью регистрации при попадании в чувствительный объем различных излучений. С целью подавления вклада от сопровождающих излучений обычно применяют различные фильтры (поглощающие или отклоняющие), либо подбирают оптимальные для исследуемого типа излучения конфигурацию и геометрические размеры кристалла. Второй путь особенно эффективен при регистрации короткопробежных частиц на фоне других излучений.

Существует, однако, целый ряд задач, для решения которых необходима одновременная регистрация разных излучений. Такими задачами являются, например, измерение коэффициентов внутренней конверсии путем одновременной регистрации электронов и гамма-квантов, а также определение ветвей различных типов распада (α , β^- , β^+ , EC). При этом особо следует подчеркнуть, что использование одного детектора существенно снижает вклад систематических погрешностей из-за просчетов, телесных углов, мониторингования при работе с нестационарным пучком, и т.д. Однако использование преимуществ такого метода можно осуществлять только в случае разделения спектров излучений по какому-либо признаку. В ряде случаев это возможно сделать на основе их энергетического распределения - например, разделение спектров частиц и X-лучей и т.д. Если же исследуемые явления находятся в одной и той же энергетической области, то возможно лишь использование различия во взаимодействиях излучений с кристаллом, например, временных характеристик импульса.

Целью настоящей работы является исследование возможности разделения спектров электронов и гамма-квантов в ПД-детекторах по временным характеристикам анализируемых импульсов.



Постановка задачи

При взаимодействии ионизирующего излучения в чувствительной области HPGe-детектора создается трек из электронно-дырочных пар, которые разделяются и собираются электрическим полем. Очевидно, что в общем случае форма и время нарастания импульса от детектора должны зависеть от места взаимодействия, а следовательно, от типа и энергии регистрируемого излучения ^{1/1}. На форму и время нарастания импульса будут оказывать влияние также постоянная времени измерительного тракта и ряд других факторов, как, например: толщина чувствительной области и распределение электрического поля в ней; кратность процесса регистрации; число и тип ловушек; величина объемного заряда, емкость обедненной области; подвижность носителей; сопротивление обедненной области.

Получить общее решение, описывающее зависимость формы импульса от всех параметров, практически невозможно. Однако некоторые качественные оценки могут быть полезны. Так, например, при регистрации бета-частиц с энергией $E_\beta \sim 1$ МэВ с помощью планарного HPGe-детектора толщиной 7 мм создается трек из электронно-дырочных пар в поверхностной области ППД (в этом случае пробег составляет ~ 800 мкм в Ge). Локализация носителей является еще большей при регистрации короткопробежных частиц, например, альфа-частиц, протонов, дейтронов и т.д. В то же время гамма-кванты регистрируются во всем объеме детектора за счет вторичных электронов - фотоэлектронов, комптон-электронов и электрон-позитронных пар. Следовательно, в идеальном случае импульсы от бета-частиц с энергией $E_\beta \leq 1$ МэВ будут иметь в ~ 2 раза большее время нарастания, чем основная часть импульсов от гамма-квантов с энергией $E_\gamma > 30$ кэВ. Тогда из измерения длительности импульсов можно получить информацию о типе излучения - электронах или гамма-квантах.

Следует отметить, что исследованию временных свойств сигналов от ППД для различных частиц посвящено много работ. Так, например, авторы ^{2,3/} проводили идентификацию тяжелых заряженных частиц (α , p, d) и исследовали форму импульсов от ППД. В работе ^{4/} изучалось распределение электрического поля в Ge(Li)-детекторе и показано различие во временах нарастания импульсов от бета-частиц и гамма-квантов ¹³⁷Cs. В настоящей работе исследована возможность разделения спектров электронов от спектров гамма-квантов в HPGe-детекторе для задач прецизионной спектрометрии излучений радионуклидов.

Эксперимент

Исследовался спектр X-лучей, электронов внутренней конверсии (ЭВК) и гамма-квантов от источника ²⁰⁷Pb, изготовленного методом испарения на алюминиевой фольге. Регистрация излучений осуществлялась 100 мм² x 7 мм HPGe-детектором. Оптический контакт (толщиной 800 Å), являющийся входным окном ППД, создан с помощью ионной имплантации галлия, p-n-переход на противоположной поверхности кристалла создавался диффузией лития при температуре 340°C ^{5/}.

Известно несколько методов, позволяющих измерять длительность импульса от детектора ^{1,6,7/}. В настоящей работе используется метод прямого анализа распределения фронтов импульсов по величине временного интервала между моментами срабатывания двух дискриминаторов с разными порогами для одного импульса ^{6/}.

Блок-схема установки представлена на рис.1. Сигнал с HPGe-детектора поступает на вход спектрометрического (ORTEC 572) и временного

(ORTEC 579; $\tau_{\text{инт}} = \tau_{\text{диф}} = 20$ нс) усилителей. Затем временной сигнал поступает на входы двух дискриминаторов (ORTEC 584) с разными порогами. В одном канале ("Старт") порог устанавливается на уровне 0,1 от амплитуды импульса, в другом ("Стоп") - на уровне 0,9. Время между двумя уровнями дискриминации пропорционально амплитуде выходного импульса с время-амплитудного преобразователя (ORTEC 467). Далее амплитудный и временной сигналы поступают на входы амплитудно-цифровых преобразователей (КА007 ^{8/}).

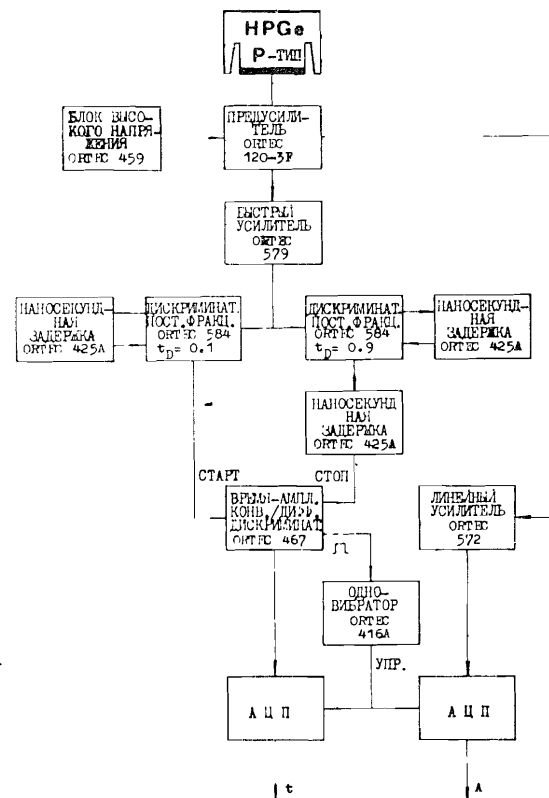


Рис.1 Блок-схема эксперимента.

Таким образом, каждый акт регистрации излучения в HRGe -детекторе задается значениями амплитуды и времени нарастания фронта импульса. В ходе эксперимента вся эта информация записывается на магнитную ленту с помощью специальной системы, созданной на основе блоков и микро-ЭВМ в стандарте КАМАК ^{19/}. В результате дальнейшей сортировки данных получаем матрицу, каждый элемент которой характеризуется определенными значениями амплитуды и времени нарастания импульса. Выбирая из матрицы заданные времена нарастания, можно найти соответствующие им амплитудные распределения и наоборот.

Измерения проводились в диапазоне энергий от 50 до 1200 кэВ во временном диапазоне до 100 нс. Выполнены были три серии опытов, геометрия которых показана на рис.2. В первой серии исследовались энер-

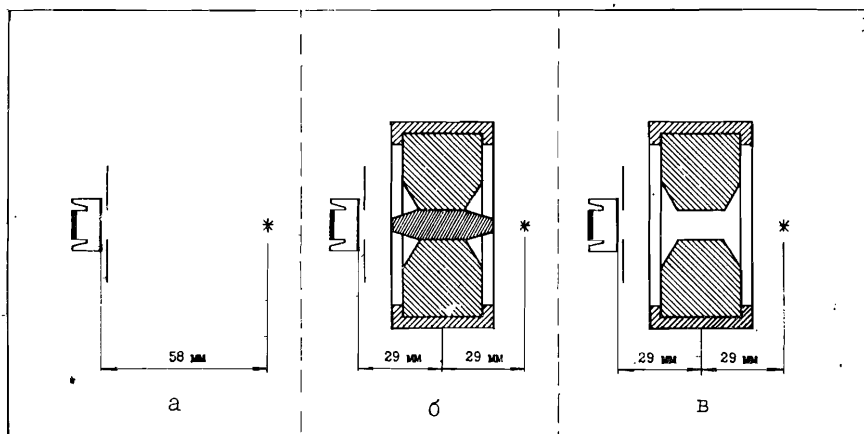


Рис.2 Геометрия эксперимента.

гетическое и временное распределения ЭВК и гамма-квантов ^{207}Bi , регистрируемых HRGe -детектором (рис.2а). Во второй серии (рис.2б) между источником и детектором помещался магнитный фильтр типа "Мини-апельсин" ^{10/}, который повышает эффективность регистрации электронов (за счет фокусирующих свойств системы) и сильно подавляет интенсивность гамма-квантов (за счет центрального поглотителя из вольфрама). В третьей серии использовался "Мини-апельсин" без вольфрамового поглотителя. Во всех сериях расстояние источник-детектор сохранялось.

Результаты экспериментов

Анализ полученных данных, проводившийся с помощью техники коррелированных двумерных распределений, показал наличие, по крайней мере, двух групп фронтов нарастания импульсов. Одна из них (более интенсивная) связана с регистрацией КХ-лучей и гамма-квантов, а вторая - с регистрацией электронов.

Для изучения временных распределений различных видов излучения рассматривались соответствующие сечения амплитудного канала - рис.3.

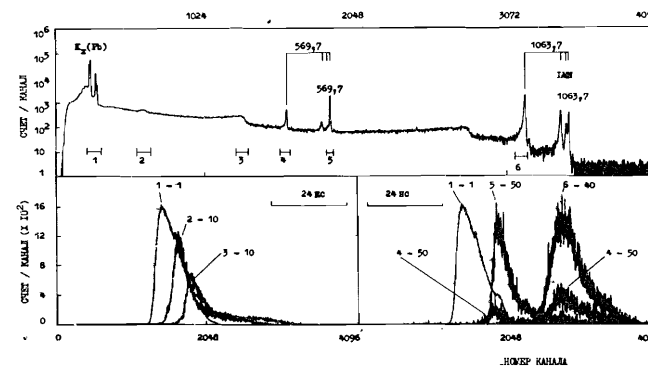


Рис.3 Энергетическое распределение от источника ^{207}Bi и временные распределения по различным сечениям.

В верхней части рисунка приведено полученное в первой серии опытов энергетическое распределение зарегистрированных импульсов с окнами, соответствующими: КХ-лучам (окно 1), комптоновскому излучению в районе пика обратного рассеяния (окно 2), комптоновскому краю распределения от $\gamma 569,7$ (окно 3), пику полного поглощения $\gamma 569,7$ (окно 5) и электронам $K569,7$ и $K1063,7$ (окна 4 и 6). В нижней части рис.3 показаны соответствующие временные распределения (1, 2, 3 - на левом рисунке и 4, 5, 6 - на правом). Временные спектры для наглядности приведены в различном масштабе (указан соответствующий коэффициент), например, 5-50 означает: окно № 5 ($\gamma 569,7$) и коэффициент увеличения интенсивности - 50.

Можно провести и обратную сортировку, т.е. изучить энергетическое распределение излучений ^{207}Bi в зависимости от скорости нарастания - рис.4. Как видно, в гамма-спектре (окно 2) не наблюдается линия $K569,7$, а в области $K1063,7$ подавление достигает величины ~ 100 . В спектре электронов (окно 3) при 100% эффективности отбора по электронам (для $K569,7$ и $K1063,7$) подавление КХ-лучей полное, а линии

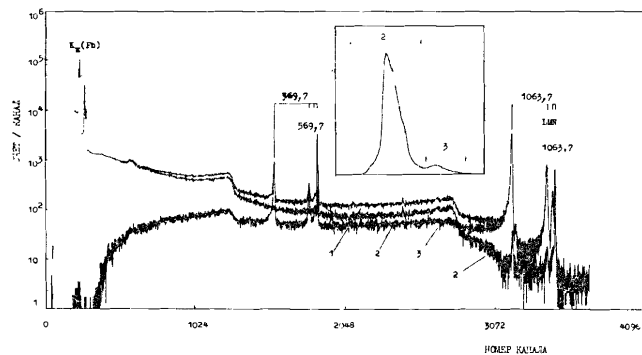


Рис.4 Селекция гамма-квантов и заряженных частиц в первой серии экспериментов. На вставке - временное распределение импульсов.

$U_{569,7}$ и $U_{1063,7}$ ослаблены в ~ 20 и ~ 120 раз соответственно. При 75% эффективности к отбору этих же электронов подавление уже достигает ~ 70 и ~ 300 раз соответственно. Заметим при этом, что хотя энергетический порог регистрации излучений и равнялся ~ 50 кэВ, спектр электронов имеет реальный порог ~ 120 кэВ (см. рис.4, спектр 3). Этот факт объясняется тем, что электроны с энергией < 120 кэВ поглощаются в области омического контакта детектора или взаимодействуют в приконтактной области, где электрическое поле имеет малое значение $^{1/4}$. И поскольку такие импульсы имеют большой фронт нарастания (более 70 нс), они не попадают в анализируемый диапазон.

Результаты экспериментов в геометрии рис.2б представлены на рис.5. Видно, что применение "Мини-апельсина" существенно увеличило число регистрируемых электронов по отношению к гамма-квантам. Однако подавить рассеянное гамма-излучение и КХ-лучи от флюоресценции вольфрамового поглотителя (см. спектр 2 на рис.5) магнитный фильтр не в состоянии. Следовательно, наличие рассеянных гамма-квантов (из вставки на рис.5 видно, что их число в два раза больше по сравнению с регистрируемыми электронами) делает невозможным измерения непрерывных бета-спектров с помощью HPGe-детектора и магнитным фильтром типа "Мини-апельсин" без использования метода селекции излучений по форме импульса.

Результаты экспериментов в геометрии рис.2в представлены на рис.6 - этот опыт является комбинацией первых двух. В этом случае регистрация гамма-квантов производится без искажений, а применение

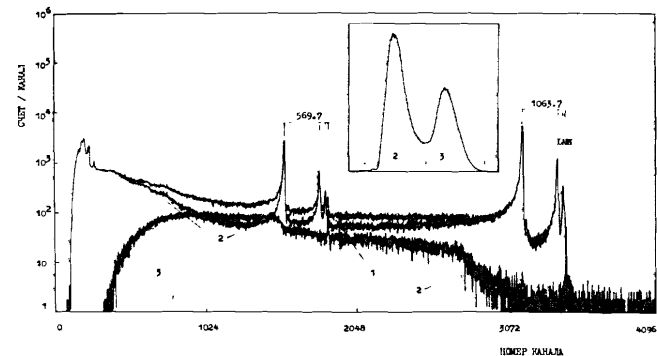


Рис.5 Селекция гамма-квантов и заряженных частиц во второй серии экспериментов. На вставке - временное распределение импульсов.

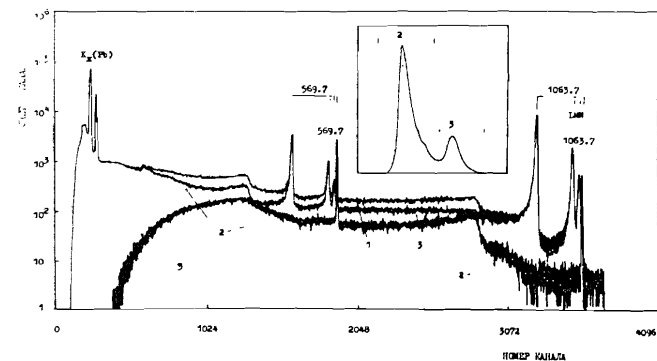


Рис.6 Селекция гамма-квантов и заряженных частиц в третьей серии экспериментов. На вставке - временное распределение импульсов.

"Мини-апельсина" приводит к увеличению эффективности по электронам (сравните вставки на рис.4, 5, 6).

Рассмотренные выше эксперименты проведены при напряжении смещения на HPGe-детекторе $U = 500$ В. При увеличении величины U до 900 В распределение времен нарастания импульсов сжимается от ~ 70 нс до ~ 50 нс, хотя характерная двугорбая форма распределения остается неизменной. Такой же эффект наблюдается и в работе $^{1/4}$.

Заключение

Проведенная в настоящей работе селекция заряженных частиц в ПЩ по временным характеристикам анализируемых импульсов открывает широкие перспективы использования данного метода для прецизионных измерений коэффициентов внутренней конверсии, определения ветвей α , β^- , β^+ , EC-распада, а также решения некоторых задач, связанных с проблемой нейтрино I_1, I_2 , например:

- а) исследование формы бета-спектра трития, внедренного в ПЩ;
- б) поиск $2\beta_{\nu\nu}$ -распада с помощью телескопа из HPGe-детекторов;
- в) прецизионные измерения граничных энергий позитронных излучателей с целью определения разности масс нуклидов.

Авторы выражают благодарность В.Г.Зинову за полезные обсуждения полученных результатов и Б.П.Осипенко, Я.Юрковскому, В.И.Пичипу за помощь и содействие в проведении настоящих исследований.

Литература

1. Зинов В.Г. и др. ОИЯИ, I3-84-542, Дубна, 1984.
2. Ammerlaan C.A.J. et al. NIM, 22, 1963, p.189.
3. Frank K. et al. NIM, 96, 1971, p.247.
4. Moszynski M. and Bengtson B. NIM, 100, 1972, p.285.
5. Голиков В.М. и др. ОИЯИ, P6-84-554, Дубна, 1984.
6. Kasagi J. et al. NIM, 193, 1982, p.557.
7. Matsushita N. et al. NIM, 201, 1982, p.433.
8. Антххов В.А. и др. ОИЯИ, I0-80-650, Дубна, 1980.
9. Бруданин В.Б. и др. ОИЯИ, I3-83-747, Дубна, 1983.
10. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, I3-85-677, Дубна, 1985.
11. Вылов Ц. ОИЯИ, P6-83-5I7, Дубна, 1983.
12. Вылов Ц. ОИЯИ, P6-83-5I8, Дубна, 1983.
13. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, P6-82-405, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 февраля 1986 года.

Бруданин В.Б. и др.

P6-86-120

Идентификация бета-частиц по форме импульсов
в планарных HPGe-детекторах

Исследована возможность разделения спектров электронов и γ -квантов, регистрируемых планарным HPGe-детектором, по временным характеристикам анализируемых импульсов. Показано, что применение временной селекции электронов внутренней конверсии из непрерывного и дискретного γ -излучения на примере ^{207}Bi эквивалентно подавлению фона от γ -квантов более чем в 70 раз при незначительной потере в эффективности. Использование метода временной селекции излучений в сочетании с магнитным фильтром "Мини-апельсин" дало дополнительное существенное увеличение избирательности β -спектрометра.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод Г.Г.Сандуковской

Brudanin V.B. et al

P6-86-120

Identification of Beta-Particles by Pulse Shape
in Planar HPGe-Detectors

A possibility of particle separation in the planar HPGe-detector is studied by using the pulse rise time method. It is shown that the time selection of internal conversion electrons from continuous and discrete γ -radiation for ^{207}Bi is equivalent to the background suppression of γ -quanta more than by a factor of 70 with insignificant loss of efficiency. The use of the pulse rise time method with a magnetic filter of the "Mini-orange" type provided an additional considerable increase in the β -spectrometer selectivity.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986