

О СВЯЗИ ВРЕМЕННЫХ И АМПЛИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПУЛЬСОВ ГЕРМАНИЕВЫХ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРОВ

В. Л. Кашеваров, Л. Н. Павлюченко, Е. В. Рязанов,
Г. А. Сокол, О. И. Стуков, В. К. Томчаков ^{*)}

УДК 539.1.074

Проведено качественное рассмотрение и представлены экспериментальные результаты, показывающие, что импульсы с короткими временами нарастания в большинстве случаев соответствуют пику полного поглощения, а с длинными — комптоновской части спектра.

В германий-литиевых детекторах взаимодействие гамма-квантов с веществом детектора с энергиями до ~ 10 Мэв определяется в основном тремя физическими процессами: фото-эффектом, комптон-эффектом и процессом образования пары электрон-позитрон. В зависимости от энергии первичных гамма-квантов вклад этих процессов и кратность K последовательных актов взаимодействия гамма-квантов, относящихся к одной истории, существенно меняется. С увеличением энергии первичных гамма-квантов кратность взаимодействия K возрастает, поскольку преимущественными становятся процессы, дающие вторичный гамма-квант. Расчеты показывают, что при энергии $E = 0,5$ Мэв $K = 1$, при энергиях $E = 1 + 2$ Мэв $K = 3 + 4$, а при энергиях $E \sim 10$ Мэв $K = 10 + 12$.

Поскольку для электронов и позитронов рассматриваемых энергий пробеги малы по сравнению с размерами детекторов, то процесс ионизации для единичного акта рассеяния можно считать пространственно локализованным. Очаги ионизации для многократных взаимо-

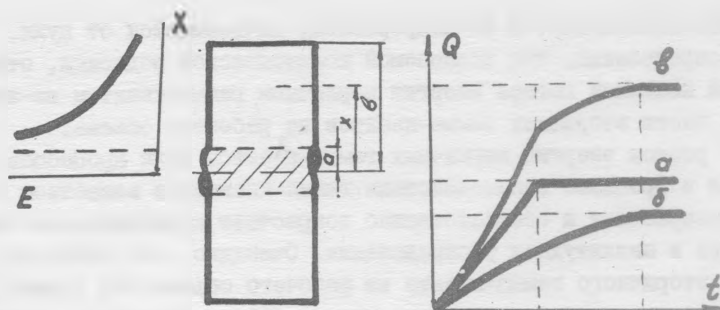
^{*)} Научно-исследовательский институт ядерной физики при Томском политехническом институте (г. Томск).

действий оказываются распределенными по всему объему детектора, поскольку процессы взаимодействия гамма-квантов возможны в любой точке объема детектора. В результате как амплитудные, так и временные характеристики импульсов детекторов будут определяться всей совокупностью параметров, характеризующих процесс поглощения первичного гамма-кванта в веществе детектора: типом взаимодействия, кратностью процессов взаимодействия, пространственным распределением актов взаимодействия по объему детектора.

Амплитуда импульса, как правило, является суммарной амплитудой в результате сбора носителей, возникающих от разных электронных траекторий. Общее время сбора носителей из различных точек объема детектора характеризует фронт нарастания результирующего сигнала детектора. Как амплитуда, так и фронт импульса оказываются сложной функцией геометрии детектора, напряжения на детекторе и свойств материала, характеризующих поглощение и рассеяние носителей заряда.

Обычно временные и амплитудные характеристики импульсов рассматриваются отдельно и в литературе не было попытки установления связи между ними. Однако при более подробном рассмотрении, как это показано ниже, выявляются некоторые закономерности вероятностного характера, позволяющие говорить о связи между амплитудным и временным распределениями импульсов гамма-спектрометров.

Как показано в работе /1/, распределение импульсов от коаксиального германиевого детектора по длительности фронта имеет сложную форму с одним или двумя максимумами и с абсолютными значениями времен от нескольких десятков до сотен наносекунд в зависимости от объема, формы детектора и приложенного напряжения. Качественно такой вид временного спектра импульсов довольно ясен из геометрических соображений (рис. 1). Условно весь спектр можно разделить на три части. Часть спектра, отвечающая малым длительностям сбора заряда (кривая а), соответствует случаям, когда акты ионизации произошли в середине рабочей области детектора, где время собирания носителей обоих знаков примерно одинаково и вдвое меньше времени собирания из областей вблизи электродов. Часть спектра, отвечающая большим длительностям (кривая б), соответствует случаям, когда акты ионизации произошли вблизи электродов и



Р и с. 1. Схемы распределения поля в коаксиальном германий-литиевом детекторе и формирования импульса во времени

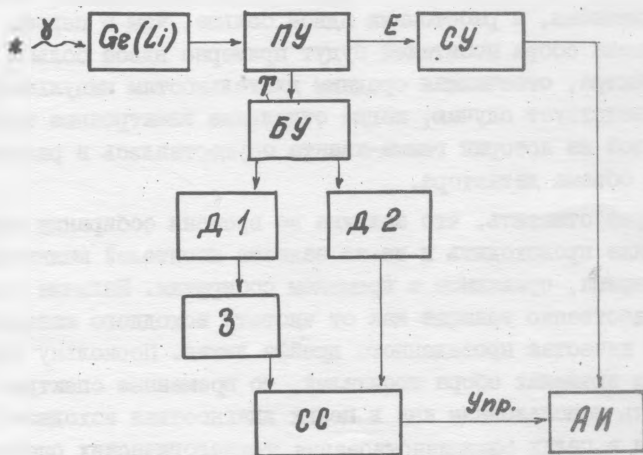
в формировании импульса участвуют, в основном, носители одного вида, либо электроны, либо дырки. Поскольку подвижности для электронов и дырок в германии при температуре жидкого азота примерно одинаковы, а расстояния вдвое больше, чем в первом случае, то и времена сбора носителей будут примерно вдвое больше. Наконец часть спектра, отвечающая средним длительностям импульсов (кривая в), соответствует случаю, когда отдельные электронные траектории одной и той же истории гамма-кванта осуществились в различных областях объема детектора.

Следует отметить, что затяжка во времени собирания заряда может также происходить и из-за захвата носителей мелкими уровнями на время, сравнимое с временем собирания. Наличие таких ловушек существенно зависит как от чистоты исходного материала, так и от качества проведенного дрейфа лития. Поскольку это отражается на временах сбора носителей, то временные спектры импульсов могут быть использованы как в целях диагностики исходного материала, так и в целях совершенствования технологических операций при изготовлении детекторов, в частности, при проведении дрейфа лития.

Рассмотрим теперь возможность вероятностной связи между временным и амплитудным распределениями импульсов германиевого детектора при регистрации гамма-квантов. Как известно, амплитудный спектр при регистрации гамма-кванта имеет сложный вид. Спектр состоит из пика на конце распределения, так называемого пика

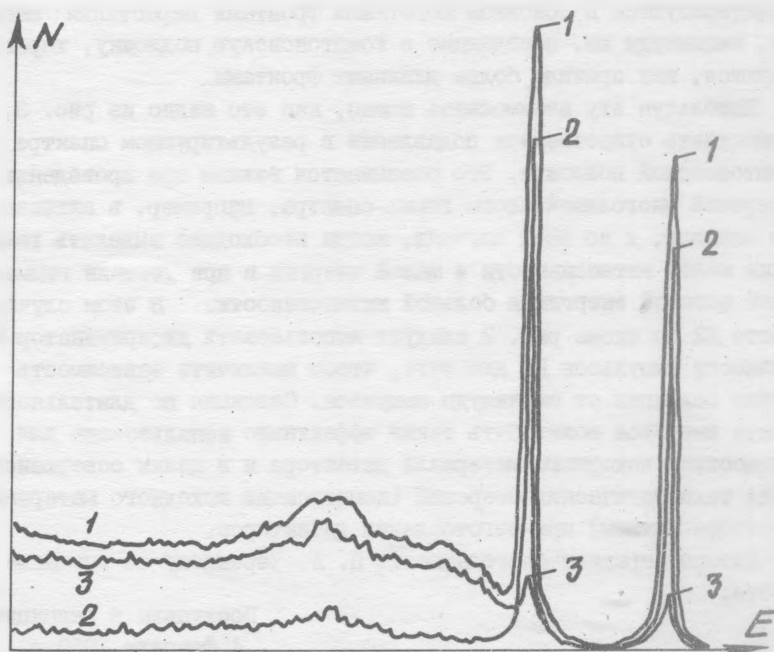
полного поглощения, и из непрерывной, начинающейся от нуля, части распределения, так называемой комптоновской подложки, отвечающей неполной потере энергии первичным гамма-квантом из-за ухода части вторичных гамма-квантов из рабочего объема.

С ростом энергии первичных гамма-квантов доля процессов рассеяния в процессе взаимодействия гамма-квантов с веществом детектора возрастает и соответственно возрастает комптоновская часть спектра в амплитудном распределении. Очевидно, что вероятность ухода вторичного гамма-кванта из рабочего объема тем больше, чем больше его энергия и чем ближе к поверхности детектора произошел процесс комптоновского рассеяния. Образование пары носителей заряда у поверхности приводит к тому, что комптоновская часть спектра должна характеризоваться большими длительностями импульсов, а амплитуды, составляющие пик полного поглощения, должны в основном иметь короткие передние фронты.



Р и с. 2. Блок-схема электроники для временной селекции импульсов: ПУ - предварительный усилитель; СУ - спектрометрический усилитель; БУ - быстрый усилитель; Д1 - дискриминатор с низким порогом; Д2 - дискриминатор с высоким порогом; З - задержка; СС - схема совпадений

Это предположение было проверено путем измерения амплитудного спектра от источника Co^{60} при соответствующей селекции по длительности фронта регистрируемых импульсов /2/. Блок-схема электроники для выделения импульсов с определенной длительностью фронта представлена на рис. 2. Дискриминаторы Д1 и Д2, соответственно с низким и высоким порогом, регулируемая задержка З и схема совпадений СС с регулируемой длительностью разрешения использовались для выделения импульсов с длительностью фронта в заданном диапазоне. В качестве Д1 использовался формирователь со следящим порогом ФСП, чтобы осуществить более точную временную привязку. В качестве Д2 использовался обычный интегральный дискриминатор. Импульсы со схемы совпадений поступали на вход "управление" амплитудного анализатора АИ.



Р и с. 3. Амплитудный спектр германиевого детектора при различной селекции импульсов по длительности фронта

На рис. 3 представлены гамма-спектры от Co^{60} , измеренные при различных вариантах селекции импульсов по длительности переднего фронта. Как видно из рисунка, при отборе импульсов с короткими фронтами (кривая 2) сильно подавляется низкоэнергетичная часть спектра, соответствующая комптоновскому рассеянию, и сравнительно мало ослабляется пик полного поглощения. При отборе импульсов с длинными фронтами (кривая 3), наоборот, сильно уменьшается пик полного поглощения и относительно слабо изменяется часть спектра, относящаяся к комптоновскому распределению.

Таким образом, можно говорить о существовании вероятностной связи между амплитудным распределением импульсов с германиевого детектора и распределением длительностей передних фронтов этих импульсов. Амплитуды, соответствующие пику полного поглощения, характеризуются в основном короткими фронтами нарастания импульсов, амплитуды же, попадающие в комптоновскую подложку, характеризуются, как правило более длинными фронтами.

Используя эту взаимосвязь можно, как это видно из рис. 3, осуществить существенное подавление в результирующем спектре комптоновской подложки. Это оказывается важным при проведении измерений многолинейчатого гамма-спектра, например, в активационном анализе, и во всех случаях, когда необходимо выделить гамма-линии малой интенсивности и малой энергии в присутствии гамма-линий высокой энергии и большой интенсивности. В этом случае вместо ДЗ по схеме рис. 2 следует использовать дискриминатор длительности импульсов ДД для того, чтобы исключить зависимость уровня селекции от амплитуды импульса. Селекция по длительности фронта импульса может быть также эффективно использована для диагностики исходного материала детектора и в целях совершенствования технологических операций (компенсации исходного материала детектора литием) при изготовлении детекторов.

Авторы выражают благодарность П. А. Черенкову за внимание к работе.

Поступила в редакцию
4 февраля 1980 г.

Л и т е р а т у р а

1. M. Moszynski, B. Bengton. Nucl. Instr. Meth., 100, 285 (1972).
2. В. Л. Кашеваров и др. Препринт ФИАН № 188, 1979 г.