

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

13-84-333

С.Н.Беляев,* А.Б.Козин,* Т.Н.Мамедов,
В.С.Роганов, В.А.Семенов,* А.А.Солнышкин

СПЕКТРОМЕТР НЕЙТРОНОВ
С ДИСКРИМИНАЦИЕЙ γ -КВАНТОВ
ПО ФОРМЕ ИМПУЛЬСОВ

Направлено в журнал
"Приборы и техника эксперимента"

* НИИФ Саратовского государственного университета.

1984

В исследованиях нейтронных каналов различных реакций часто требуется спектрометрия нейтронов, имеющих энергию больше нескольких сотен кэВ при значительном γ -фоне. Для этих целей пригодны кристалл стибьена и некоторые жидкие органические сцинтилляторы, у которых формы сцинтилляций от γ -квантов /комптоновских электронов/ и нейтронов /протонов отдачи/ различны, что позволяет идентифицировать нейтроны на γ -фоне.

В настоящее время в литературе описаны различные схемы детекторов на основе органических сцинтилляторов с электронными блоками для дискриминации нейтронов и γ -квантов /1-5/. Часть этих детекторов обладает большим порогом регистрации нейтронов $\geq 1,5$ МэВ /2, 3/. Спектрометры, обладающие более низким порогом, построены на малодоступных элементах и сложны в настройке /4/.

В разработанном нами нейтронном спектрометре в качестве детектора использован кристалл стибьена 30x20 мм и фотоэлектронный умножитель ФЭУ-93. При выборе ФЭУ учитывались исследования /2/, в которых показано, что в области энергий нейтронов ≥ 2 МэВ с помощью ФЭУ-93 удастся получить коэффициент (γ -п) - разделения, близкий к теоретически возможному.

В схеме (γ -п)-разделения, приведенной на рис.1, использован метод идентификации нейтронов, основанный на сравнении полного заряда импульса тока ФЭУ с зарядом быстрого компонента этого

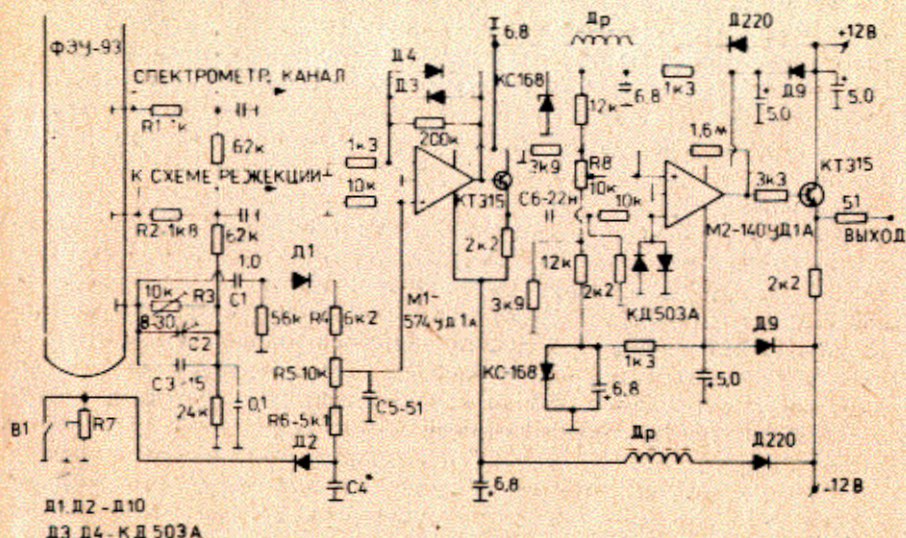


Рис.1. Схема блока идентификации γ -квантов и нейтронов.

импульса ^{1/6}. Экспериментально установлено, что наиболее низкий порог (γ - n)-разделения получается при постоянной времени сброса заряда на двенадцатом диноде ФЭУ ~ 500 нс, которая задается элементами R_3 , C_2 , C_3 . Быстрый компонент импульса не несет информацию о типе частиц и имеет длительность ~ 20 нс. Поэтому постоянная времени заряда емкости C_4 должна быть $\sim 20-25$ нс, а постоянная времени разряда ~ 500 нс. Окончательная настройка схемы сложения выполняется резистором R_5 до получения максимальной компенсации импульсов от γ -квантов. Форма импульса для γ и n на емкости C_5 показана на рис.2.

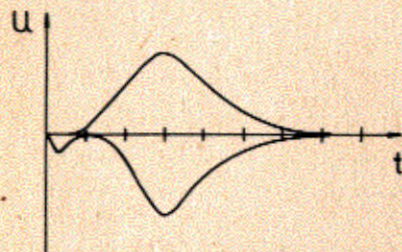


Рис.2. Форма сигналов от нейтронов и γ -квантов на входе усилителя-дискриминатора. Одно деление по шкале t соответствует 100 нс.

Обычно связь блока сложения зарядов с последующим усилителем емкостная ^{1,6,7/}. В этом случае при регистрации детектором γ -квантов на разделительную емкость приходят только отрицательные импульсы. При разряде этой емкости возникает положительный сигнал /выброс/ с амплитудой, пропорциональной энергии зарегистрированного γ -кванта. В результате γ -кванты большой энергии могут регистрироваться как нейтроны. Это ухудшает коэффициент подавления γ -квантов в области больших энергий и сужает энергетический диапазон спектрометра. Применение схемы двойного сложения ^{1/1} полностью не устраняет данный эффект. Очевидно, что для получения низкого порога ~ 300 кэВ для нейтронов/ и широкого энергетического диапазона регистрируемых частиц /до 10 МэВ/ положительный выброс при регистрации γ -квантов должен быть минимальным.

В схеме, приведенной на рис.1, связь блока сложения зарядов с усилителем непосредственная, т.е. положительный выброс, возникающий при регистрации высокоэнергетических γ -квантов, в данной схеме отсутствует. Однако наличие конденсатора C_1 в цепи 12 динода ФЭУ приводит к дрейфу нулевого уровня усилителя в зависимости от загрузки ФЭУ и энергии регистрируемых частиц, что происходит вследствие заряда конденсатора C_1 однополярными импульсами. Дрейф весьма медленный, что обусловлено большой постоянной времени этой цепи. При непосредственной связи усилителя /M1/ с формирователем /M2/ это привело бы к зависимости порога (γ - n)-разделения от загрузки. Для ликвидации этого недостатка нет необходимости применять сложную схему стабилизации нулевой линии. Поскольку не требуется высокой чувствитель-

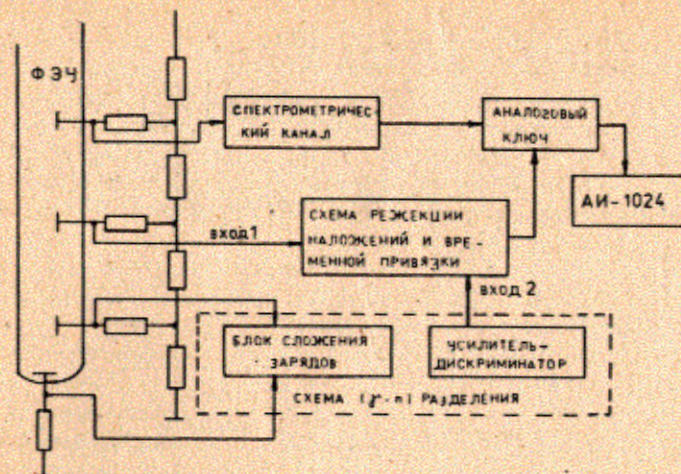


Рис.3. Функциональная схема спектрометра.

ности от формирующего каскада /так как импульсы (γ - n)-разделения уже усилены M1/, то между усилительным и формирующим каскадами может быть кондуктивная связь. Однако в этом случае для ограничения максимальной амплитуды положительного выброса, возникающего при разряде емкости C_6 , необходимо сжать динамический диапазон импульсов (γ - n)-разделения, что выполняется путем введения нелинейной обратной связи /Д3, Д4/ в усилитель M1. Уровень дискриминации формирователя M2 регулируется резистором R_8 так, чтобы выброс, возникающий при перезарядке емкости, не вызывал срабатывания формирователя. На выходе блока формируется прямоугольный импульс, если детектором зарегистрирован нейтрон.

Функциональная схема спектрометра приведена на рис.3. Импульс с выхода усилителя-дискриминатора поступает на вход блока временной привязки и режекции наложений. Необходимость создания схемы временной привязки обусловлена тем, что усилитель-дискриминатор имеет ненулевой порог дискриминации и поэтому существует зависимость времени задержки импульса на выходе от энергии зарегистрированного нейтрона. Функциональная схема блока временной привязки и режекции наложений показана на рис.4а. Несмотря на колебания момента появления импульса усилителя-дискриминатора относительно момента появления входного сигнала, выходной импульс блока не флуктуирует относительно переднего фронта сигнала линейного канала, т.к. он инициируется импульсом с постоянной задержкой в точке 9.

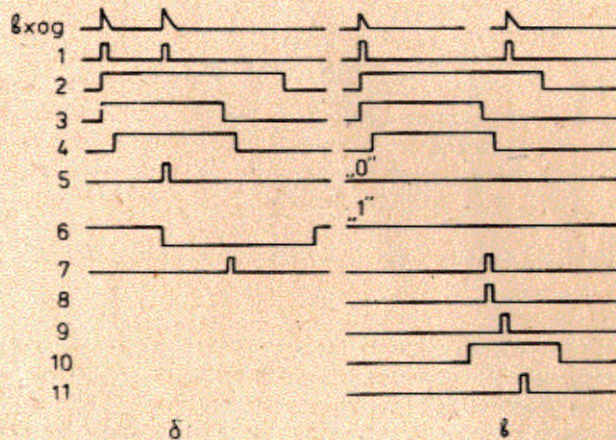
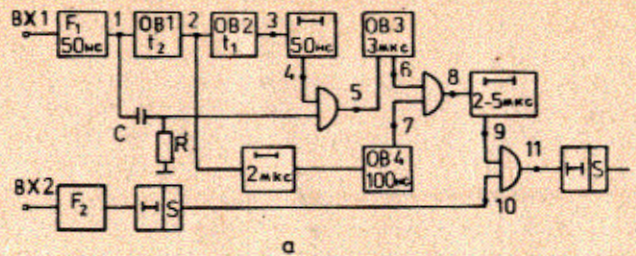


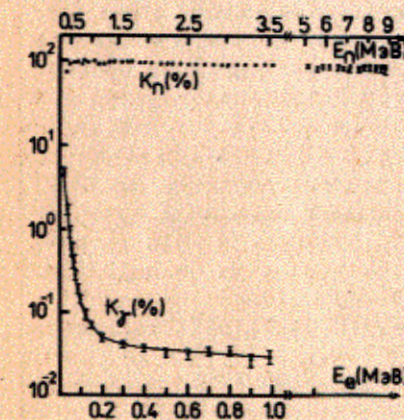
Рис.4. Функциональная схема блока временной привязки и режекции наложений.

Схема режекции наложений предназначена для ликвидации искажений спектра, возникающих из-за наложений импульсов при работе в условиях больших загрузок. Работа схемы режекции наложений аналогична описанной в [8], она имеет два охранных времени: "до" - t_1 и "после" - t_2 . Если в течение t_1 будет зарегистрировано две и более частицы, то сигнал управления на линейный пропускатель не выдается. Время t_1 определяется временем высвечивания сцинтиллятора и постоянной времени сбора зарядов на электродах ФЭУ. В случае регистрации второй частицы в течение времени $t_1 < t < t_2$ сигнал управления выдается только на первый импульс. Интервалы времени t_1 и t_2 /регулируемый/ задаются одновибраторами OB2, OB1 и составляют 2 и 2 ± 40 мкс соответственно. Разрешающее время блока - 50 нс. Блок изготовлен на элементах ТТЛ. Временные диаграммы в пронумерованных точках функциональной схемы поясняют работу блока при появлении на его входе двух импульсов в интервалы времени $t < t_1$ /рис.4б/ и $t_1 < t < t_2$ /рис.4в/.

Спектрометрический канал имеет низкое входное сопротивление /50 Ом/, что необходимо для работы схемы в условиях больших загрузок и для быстрого восстановления ФЭУ после импульсных перегрузок в случае использования спектрометра в экспериментах по время-пролетной методике. Длительность выходного импульса зависит от постоянной времени интегрирования во втором каскаде схемы. Время задержки определяется временем обработки импульсов в блоке режекции наложений. По ряду причин сигнал на выходе имеет предимпульс с амплитудой, пропорциональной амплитуде основного импульса, что затрудняет анализ сигналов в ряде амплитудных анализаторов /например, NTA-1024/ даже при их работе в режиме совпадений с внешним управлением. Кроме того, импульсы, для которых нет сигнала управления, также являются нагрузкой для такого анализатора. В результате даже при небольшом количестве регистрируемых нейтронов анализатор может оказаться перегруженным и будет анализировать "меченые" сигналы с малой эффективностью, зависящей от общей загрузки и снимаемого спектра. Для ликвидации указанных недостатков в схему введен линейный пропускатель.

Исследование основных характеристик спектрометра проводилось по γ -источникам ^{22}Na , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{241}Am и источникам нейтронов Po-Be, ^{252}Cf .

Зависимость коэффициента пропускания γ -квантов K_γ от энергии блоком идентификации частиц определялась как отношение количества импульсов, зарегистрированных от γ -источников в соответствующих каналах амплитудного анализатора, при включенном и выключенном положении тумблера В1 /рис.1/. В замкнутом положении он закорачивает анодную нагрузку ФЭУ. При этом как для нейтронов, так и для γ -квантов на входе усилителя-дискриминатора присутствует положительный импульс и идентификация частиц не происходит. В результате спектрометр регистрирует и нейтроны, и γ -кванты.



На рис.5 показана зависимость коэффициента пропускания нейтронов K_n от их энергии /верхняя шкала/. K_n получен путем нормировки измеренного спектра нейтронов от ^{252}Cf /восстановленного из аппаратного спектра протонов отдачи методом дифференцирования/, известными из [9] данными.

Рис.5. Зависимость коэффициентов пропускания γ -квантов и нейтронов блоком идентификации частиц от их энергии.

Энергетическая шкала нейтронов вычислена из соотношения $E_e = \alpha \cdot E_p^{3/2}$ для стильбена $\alpha \approx 0,15/$, где E_e - энергия комптоновских электронов - получена из данных калибровки спектрометра по γ -источникам, E_p (E_n) - энергия протонов отдачи / энергия нейтронов/. Возможно, шкала имеет неточность, обусловленную тем, что значение α для конкретного кристалла стильбена может отличаться от 0,15, а в области энергий $E_\gamma < 60$ кэВ зависимость световых выходов от энергии γ -квантов в стильбене отличается от зависимости при $E_\gamma > 60$ кэВ. Сравнение полученного нами спектра нейтронов для $Po-Be$ с имеющимися в литературе данными показывает, что погрешность в определении энергетической шкалы нейтронов в области $3 \div 4$ МэВ не более 100 кэВ.

Из рис.5 видно, что при энергии $E_n = 300$ кэВ / $E_e = 25$ кэВ / коэффициенты пропускания нейтронов и γ -квантов составляют 0,85 и $5 \cdot 10^{-2}$ соответственно. По мере увеличения энергии K_γ уменьшается, и в области $E_e > 100$ кэВ становится меньше 10^{-3} , а K_n увеличивается и достигает значения ~ 1 в области энергий $E_n > 400$ кэВ / $E_e \geq 38$ кэВ/. Полученные нами результаты измерения порога (γ - n)-разделения и коэффициента подавления γ -квантов являются одними из лучших в аналогичных экспериментах /см., например, /3, 4/ /.

Основными элементами, определяющими порог (γ - n)-разделения в приведенной схеме, являются диоды в блоке сложения зарядов. Экспериментально определено, что энергетический эквивалент падения напряжения на диодах при выбранном режиме ФЭУ близок к 6 кэВ для электронов. Оценка, выполненная на основе времени сбора заряда в диодной цепи ФЭУ, времени высвечивания медленного компонента в стильбене и энергетического эквивалента падения напряжений на диодах, показывает, что в данном спектрометре порог (γ - n)-разделения практически не может быть меньше 12 кэВ / $E_n = 180$ кэВ/.

В заключение следует отметить, что все блоки спектрометра, за исключением блока сложения зарядов, практически не требуют настройки. Спектрометр позволяет регистрировать нейтроны при значительном фоне γ -квантов в диапазоне $0,3 \div 10$ МэВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бровченко В.Г. ПТЭ, 1971, № 4, с.7.
2. Кузнецов Д.А. и др. Препринт ИАЭ, 2360, М., 1974.
3. Verbitsky S.S. Nucl.Instr. and Meth., 1978, 151, p.117.
4. Perkins L.J., Scott M.C. Nucl.Instr. and Meth., 1979, 166, p.451.

5. Зинов В.Г. и др. ПТЭ, 1982, № 2, с.26.
6. Brooks F. Nucl.Instr. and Meth., 1959, 4, p.151.
7. Казанский Ю.А. и др. АЭ, 1966, т.20, вып.2, с.143.
8. Борейко В.Ф. и др. ОИЯИ, Р13-12334, Дубна, 1979.
9. Крошкин Н.И., Замятин Ю.С. АЭ, 1970, т.29, вып.2, с.95.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 мая 1984 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D7-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D2,4-83-179	Труды XV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Беляев С.Н. и др.
Спектрометр нейтронов с дискриминацией γ -квантов по форме импульсов

13-84-333

Описан спектрометр нейтронов, в который входят сцинтилляционный детектор, блок временной привязки и режекции наложенных, спектрометрический канал и схема (γ - n)-разделения, состоящая из блока сравнения заряда быстрого компонента сцинтилляционного импульса с его полным зарядом. Энергетический порог регистрации нейтронов составляет 300 кэВ, коэффициент подавления γ -квантов $\sim 10^3$. Спектрометр может работать при загрузке до $5 \cdot 10^4$ имп./с.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Belyaev S.N. et al.
A Neutron Spectrometer with (γ - n)
Pulse-Shape Discrimination

13-84-333

A neutron spectrometer is described. It comprises a scintillation detector and a pulse-shape discrimination circuit, consisting of the block for comparison of the fast component charge and the total charge of the scintillation pulse, amplifier-discriminator, and blocks of time coordination, overlap rejection and spectrometric channel. The energy threshold of neutron detection is 300 keV, γ -quantum suppression coefficient is $\sim 10^3$. The spectrometer can operate at the flux up to $5 \cdot 10^4$ puls./s.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1984