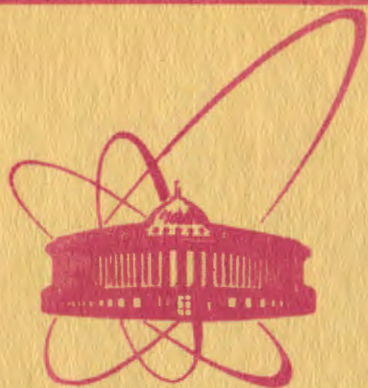


80-232



Объединенный
институт
ядерных
исследований
Дубна

3194/
2-80

14/2-80

P13-80-232

В.Г.Зинов, В.С.Надеждин, А.И.Руденко,
Л.Н.Сомов, В.В.Фильченков

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ
БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С МЮОНАМИ

Направлено в ПТЭ

1980

1. При экспериментальном исследовании многих процессов, вызываемых отрицательными мюонами /мю-захват протоном, дейтроном и сложными ядрами, мю-катализ реакций синтеза $d+d \rightarrow {}^3\text{He}+n$, $d+t \rightarrow {}^4\text{He}+n$ и другие/, возникает задача эффективной регистрации нейтронов с энергиями 1-20 МэВ при надежной дискриминации релятивистских частиц γ -квантов и электронов/. Ниже описана система регистрации нейтронов, удовлетворяющая этим требованиям. Она была использована в эксперименте ^{1/} по обнаружению и исследованию реакции



которая вызывается отрицательными мюонами в смеси дейтерия и трития.

Эксперимент выполнен на синхроциклотроне ОИЯИ. Схема расположения экспериментальной аппаратуры на пучке мюонов показана на рис. 1. Мюоны с начальной энергией 70 МэВ регистрировались мониторными счетчиками 1-3, тормозились в замедлителе /6/, регистрировались счетчиком 4 и попадали в газовую мишень /8/, заполняемую смесью D_2+T_2 . Часть мюонов останавливалась в газе и вызывала реакцию /1/. Нейтроны, образующиеся в этой реакции /их энергия составляла 14,1 МэВ/, регистрировались детекторами 1Н-4Н, а электроны от мю-распада - счетчиками 1Е-8Е.

По условиям эксперимента, в котором использовалась мишень малой плотности и протяженных размеров / $\phi 130 \times 250$ мм/,

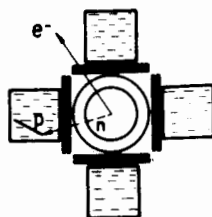
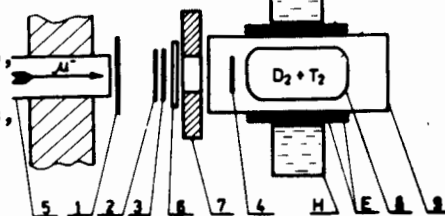


Рис.1. Упрощенная схема экспериментальной установки для исследования процесса $d\mu \rightarrow$

${}^4\text{He} + n + \mu + 17,6 \text{ МэВ}$. 1-4 - мониторные счетчики, 6 - фильтр, 5,7 - коллиматоры, 8 - газовая мишень, Н - детекторы нейтронов, 9 - вакуумный кожух, Е - детекторы электронов.



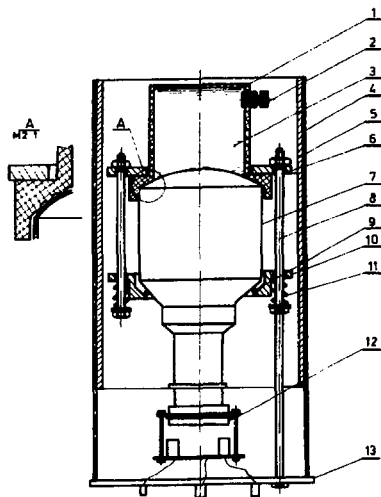


Рис.2. Конструкция нейтронного детектора: 1 - кювета из фторопласта-4; 2 - уплотняемый патрубков; 3 - жидкий сцинтиллятор; 4 - корпус; 5 - магнитный экран; 6,10 - фланцы; 7 - ФЭУ типа 58AVP; 8 - шпилька; 9 - прокладка; 11 - пружина; 12 - панель с делителем напряжения; 13 - задняя крышка с разъемами.

дежного нейтрон-гамма-разделения по форме сцинтилляционного импульса/2/. В детекторе применялся ФЭУ типа 58AVP с диаметром фотокатода 110 мм.

2. Конструкция детектора нейтронов схематически показана на рис.2. Сцинтиллятор заливается во фторопластовую кювету /1/, изготовленную в виде стакана с внутренним диаметром 100 мм и высотой 95 мм, и непосредственно граничит с поверхностью фотокатода ФЭУ без промежуточного прозрачного окна. Главным достоинством "безоконной" кюветы из фторопласта является высокая эффективность вывода сцинтилляционного излучения на ФЭУ и однородность светосбора.

Основная проблема, которая возникает при создании детектора с фторопластовой безоконной кюветой - добиться ее герметичности. В литературе описаны конструкции /3,4/ детекторов с кюветами небольших размеров. В одном из этих детекторов тонкостенная кювета надевается на колбу ФЭУ и обжимается резиновым кольцом, в другом герметичность достигается с помощью ножевого уплотнения.

В нашей конструкции уплотнение осуществляется по сферической поверхности кюветы, на которой были выполнены два кольцевых зуба с шириной и высотой 0,8 мм. Прижим кюветы к колбе ФЭУ достигался с помощью двух фланцев /6 и 10/ и шести шпилек /8/. Необходимое усилие сжатия / 1000 Н/ определялось по величине деформации пружин /11/. Сцинтиллятор заливался в кювету через

детекторы нейтронов должны обладать высокой эффективностью. Поэтому были использованы сцинтилляционные детекторы с водородсодержащим жидким сцинтиллятором NE-213, обладающим необходимыми свойствами для осуществления на-

Рис. 3. Блок-схема аппаратуры, используемой в системе регистрации нейтронов: У - усилитель, Д - дискриминатор, ОСТ - блок формирования сигнала остановки мюона, АК - аналоговый коммутатор, З - линия задержки, С - схема совпадений, О - одно-вибратор, СМ - смеситель, З-К и В-К - преобразователи заряд-код и время-код, ЛР - логический регистр.

уплотняемый патрубок /2/ и пробулькивался инертным газом /аргоном/ непосредственно в кювете в течение 30-40 минут.

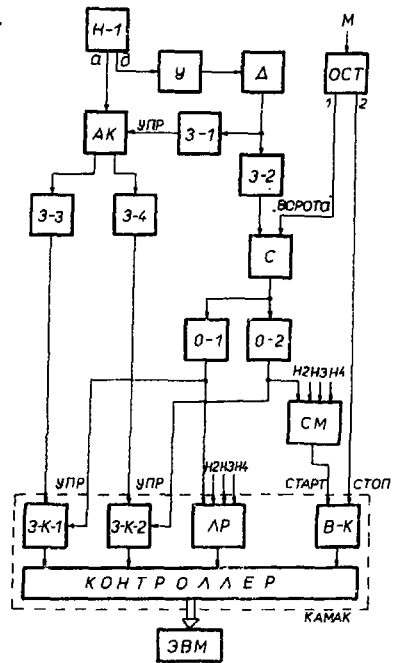
За несколько месяцев эксплуатации детектора не было обнаружено нарушения герметичности кюветы и изменения свойств сцинтиллятора.

Блок кювета - ФЭУ с помощью шпилек /8/ крепился к задней крышке /13/ детектора. На этой крышке монтировались высоковольтный и сигнальные разъемы.

Вся конструкция вставлялась в дюралюминиевый корпус /4/ с магнитным экраном /5/ из пермаллоя и трансформаторного железа. Для того, чтобы разобрать детектор с целью осмотра делителя ФЭУ или кюветы, достаточно было отвернуть четыре винта, крепящие заднюю крышку к корпусу.

3. Делитель напряжения ФЭУ был собран по схеме с возрастающими к аноду величинами напряжения на диодных промежутках /рекомендуемый фирмой-изготовителем режим питания типа В/, позволяющей обеспечить линейность ФЭУ вплоть до величин анодного тока 300 мА. Искажения формы импульса тока ФЭУ, возникающие за счет паразитных колебаний, устранялись с помощью демпфирующего резистора /5/, в качестве которого использовался согласованный на выходе делителя с волновым сопротивлением 50 Ом, соединенный с последним диодом. Этот кабель служил также для передачи диодного сигнала к дискриминатору.

Блок-схема аппаратуры, используемой в системе регистрации нейтронов, приведена на рис.3. Она включает в себя блоки вы-



работки сигнала управления /триггера/, μ -у разделения и амплитудного и временного анализа сигналов.

Импульс управления формировался в схеме совпадений С, с помощью которой отбирались сигналы от нейтронных детекторов, поступавшие в течение временных "ворот" длительностью 10 мкс, запускаемых сигналом остановки мюона в мишени. Импульс "ворот" формировался в блоке ОСТ, управляемом мониторными счетчиками /М/. Для смещения нуля времени /с целью обеспечить возможность одновременного измерения фона случайных совпадений/ вводились временные задержки 3-2 - в логической цепи и соответственно 3-3 и 3-4 - в цепи сигналов длительностью 1 мкс каждая. Сигналы одновибраторов 0-1 и 0-2, запускаемых схемой совпадений С, использовались для управления преобразователями время-код /В-К/ и заряд-код /З-К-1 и 3-К-2/^{8/}, применяемых для временно-го и амплитудного анализа.

Для разделения нейтронов и гамма-квантов использовалось различие в форме светового импульса сцинтиллятора нейтронного детектора для частиц с различной ионизирующей способностью. Согласно данным работы^{2/} импульс сцинтиллятора NE-213 состоит из двух компонент: "быстрой" с временем высвечивания $\tau_{\text{быстр.}} \approx 20$ нс и "медленной" с $\tau_{\text{медл.}} \approx 300$ нс, причем отношение интенсивностей "быстрой" и "медленной" компонент для протонов и электронов различается примерно на порядок величины.

Наиболее просто μ -у разделение может быть реализовано по методу^{7,8/}, в котором сравниваются интенсивности быстрой и медленной компонент путем стробирования компонент сигнала нейтронного детектора на входах двух преобразователей заряд-код. Однако из-за использования в нашей схеме большой временной задержки сигнала нейтронного детектора разделение компонент на входах преобразователей заряд-код приводило бы к ухудшению результатов разделения из-за интегрирования сигнала и смешивания компонент на линии задержки. Поэтому разделение компонент осуществлялось до линии задержки с помощью специального блока аналогового коммутатора /АК/.

Блок АК представляет собой токовый ключ, управляемый динодным импульсом /выход д/ ФЗУ нейтронного детектора. Анодный сигнал /выход а/ ФЗУ подается на вход АК и пропускается на его выход 1. Через интервал времени 50 нс /задержка 3-1/, когда практически вся быстрая составляющая анодного сигнала пройдет на выход 1, на управляющий вход подается динодный импульс, предварительно сформированный дискриминатором Д по амплитуде и длительности /300 нс/. Этот импульс переключает аналоговый коммутатор, и медленная составляющая анодного сигнала пропускается на выход 2.

Схема аналогового коммутатора /рис. 4/ содержит токовый ключ, собранный на транзисторах T_1, T_2, T_6 . Токовый сигнал с анода

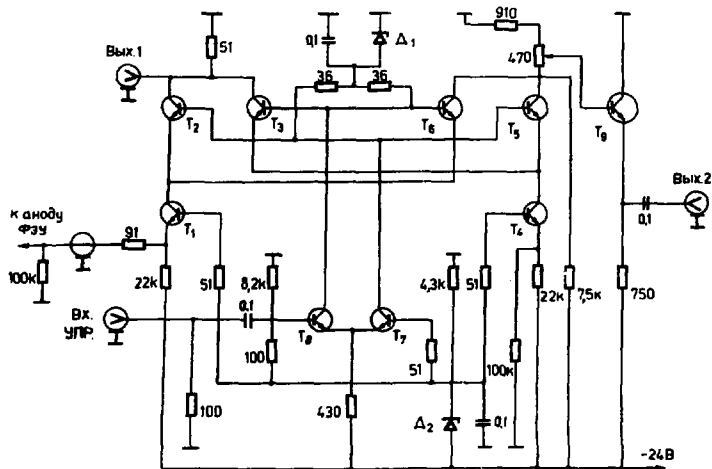


Рис. 4. Принципиальная схема аналогового коммутатора. $T_1 - T_9$ - КТ325В, $D_1 - D_2$ - ДВ14А, ДВ14Г.

ФЗУ подается в эмиттер T_1 и через T_2 проходит на выход 1. Управляющий импульс закрывает T_2 и открывает T_6 , и входной сигнал через T_6 и эмиттерный повторитель T_9 пропускается на выход 2. Дополнительный токовый ключ на транзисторах T_3, T_4, T_5 , работающий в противофазе с основным, компенсирует изменение потенциалов на выходах при переключении коммутатора.

Как видно из рис. 4, анод ФЗУ нейтронного детектора через кабель /длина - 2 м, волновое сопротивление - 100 Ом / и резистор 91 Ом последовательно соединяется с эмиттером T_1 . В такой схеме /выходное сопротивление детектора велико/ изменение входного сопротивления коммутатора /6-15 Ом/ в зависимости от величины входного тока не приводит к изменению коэффициента передачи. Максимальная величина тока, пропускаемого на вых. 1 без заметных искажений, составляет 100 мА . Начальный ток коммутатора / t_1 / составляет $0,5 \text{ мА}$, а величина динамического диапазона коммутатора в линейном режиме - порядка 1000 .

Медленная компонента сигнала нейтронного детектора поступает на преобразователь заряд-код З-К-1 /длительность импульса управления - 300 нс /, а быстрая компонента - на преобразователь З-К-2 /импульс управления - 50 нс /. Блок "Логический регистр" /ЛР/ кодирует номер нейтронного детектора. Преобразователь время-код работает в обратной временной шкале, т.е. измеряет

На рис.5 приведено двумерное распределение по амплитудам сигналов быстрой компоненты ($A_{БК}$) и медленной компоненты ($A_{МК}$), полученное в одной из экспозиций эксперимента по исследованию реакции /1/. События в "нейтронной" области на этом распределении практически полностью обусловлены протонами отдачи от нейтронов с энергией 14,1 МэВ из реакции $d+t \rightarrow {}^4\text{He} + n$. Анализ таких распределений, полученных для источника $Po-Be$ и в рабочих измерениях при исследовании процесса /1/, позволил заключить, что степень разделения нейтронов от γ -квантов /доля событий от γ -квантов в "нейтронной" области двумерного распределения/ не хуже чем 10^{-3} для диапазона энергий электронов 0,5-10 МэВ /энергии нейтронов 2-20 МэВ/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быстрицкий В.М. и др. ОИЯИ, Д1-12696, Дубна, 1979; Письма в ЖЭТФ, 1980, т.31, №4, с.249.
2. Kuchnir F.T., Lynch F.J. IEEE Trans.Nucl.Sci., 1968, NS-15, p.107.
3. Антемьев В.В. ПТЭ, 1961, №4, с.152.
4. Алексеев В.А., Сулержицкий Л.Д. ПТЭ, 1966, №6, с.188.
5. Надеждин В.С. Авт.свид. №636714, кл. H01j 43/30, с приоритетом от 10.03.77 г. Бюлл. ОИПОТЭ, №45, с.206.
6. Антюхов В.А. и др. ОИЯИ, 10-10576, Дубна, 1977.
7. Bertin A. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1969, 68, p.24.
8. Morris C.L. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1976, 137, p.397.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 марта 1980 года.