

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С344.1л

3 - 7887

Б-451/

2823/2-74

Б.Бёмер, А.А.Ваньков, Ю.В.Григорьев,
К.Дитце, Х.Кёперник

КОМПАКТНЫЙ НЕЙТРОННЫЙ ДЕТЕКТОР
В ВИДЕ БАТАРЕИ
ИЗ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ ³He -СЧЕТЧИКОВ

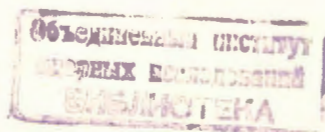
1974

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

3 - 7887

Б.Бёмер, А.А.Ваньков, Ю.В.Григорьев,
К.Дитце, Х.Кёперник

КОМПАКТНЫЙ НЕЙТРОННЫЙ ДЕТЕКТОР
В ВИДЕ БАТАРЕИ
ИЗ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ ³He -СЧЕТЧИКОВ



Бёмер Б., Ваньков А.А., Григорьев Ю.В.,
Дитце К., Кёперник Х.

3 - 7887

Компактный нейтронный детектор в виде батареи из
пропорциональных ^3He -счётчиков

Описываются физические характеристики, конструкционные особенности и электронная схема детектора нейтронов в виде батареи из 91 пропорционального ^3He -счётчика типа СНМ-50. Детектор обладает достаточно хорошими временными и спектрометрическими характеристиками для проведения широкого круга нейтронных измерений методом времени пролета. Мертвое время детектора равно ≈ 1 мксек, энергетическое разрешение по тепловому пику нейтронов составляет $\approx 11\%$, эффективность регистрации тепловых нейтронов равна $\approx 100\%$, в области энергии 1 кэВ $\approx 5\%$. Собственный фон детектора не превышает 0,4 имп/сек. Детектор практически нечувствителен к γ -лучам.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1974

©1974 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

Для прецизионных нейтронных измерений с использованием техники времени пролета в широкой области энергий пропорциональный счетчик на основе реакции $^3\text{He}(n,p)\text{T}$ /1-7/ обладает важными преимуществами по сравнению со сцинтилляционными счетчиками: низким уровнем собственного фона, нечувствительностью к γ -лучам. Кроме того, счетчик характеризуется эффективностью, спадающей при возрастании энергии нейтронов, что в значительной степени компенсирует резкий подъем временного спектра нейтронов в начальных каналах и обеспечивает сравнительно равномерную загрузку каналов временного анализатора. Благодаря этому появляется возможность охватить в одном измерении широкую область энергий /от ~ 1 эВ до ~ 10 МэВ/. Наконец, важным преимуществом гелиевого детектора являются его спектрометрические свойства, которые могут быть использованы, например, в экспериментах с делящимися изотопами для отдельной регистрации резонансных нейтронов пучка и нейтронов деления, возникающих в образце.

В данной работе описываются характеристики отдельного пропорционального ^3He -счетчика типа СНМ-50, специально разработанного нами для экспериментов на нейтронных пучках, и батареи из 91 счетчика, а также способ секционирования счетчиков и определения оптимального рабочего режима детектора.

1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО ^3He -СЧЕТЧИКА ТИПА СНМ-50

Рабочие характеристики

Конструкция счетчика типа СНМ-50 изображена на рис. 1. Давление наполняющего газа составляет 10 атм,

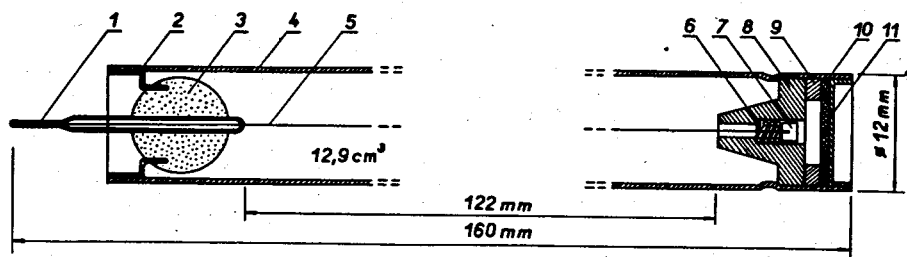


Рис. 1. Продольное сечение счетчика типа СНМ-50. 1 - анодно-откачной вывод, 2 - коваровая шайба, 3 - стекло /С-51-1/, 4 - корпус /Х 18 Н 10 Т/ толщиной 0,2 мм, 5 - молибденовая препарированная нить /анод/ диаметром 0,05 мм, 6 - пружина, 7 - никелевая пластинка, 8 - керамическая изолирующая втулка /СВ7.393/, 9 - алюминиевая шайба, 10 - слюдяная шайба, 11 - донышко.

^3He /ВТУН : П - 11 - 68/ с добавкой 30% Ag особой чистоты /МРТУ6-02-377-66/. Вес счетчика - не более 50 г. Емкость счетчика $C = 6$ пФ. Величина выходных импульсов для тепловых нейтронов при рабочем напряжении 1,8 кВ составляет величину порядка ~ 1 мВ, время нарастания импульса - около 300 нсек. Средняя скорость дрейфа $\omega = 1$ см/мксек, предельное время запаздывания $T = 0,5$ мксек^{18/}. Коэффициент газового усиления равен примерно 10 /1,8 кВ/. Средняя длина пробега для тепловых нейтронов в счетчике $\sim 1,2$ см. Длина пробега протонов ~ 2 мм.

Счетчик достаточно стабилен в работе. При длительных измерениях не было заметно ухудшения его характеристик. Гарантируется устойчивая работа в диапазоне температур $\theta = -40^\circ \div +50^\circ$ С. Повышение температуры счетчика от 15 до 60° С не привело к изменению положения теплового пика, энергетического разрешения и полного числа импульсов в спектре.

Эффективность счетчика по отношению к тепловым нейтронам близка к 100% при падении нейтронов вдоль оси счетчика, и около 45% - при поперечном падении нейтронов.

По своим характеристикам счетчик соответствует требованиям ГОСТа 16314-70.

Амплитудный спектр

Амплитудный спектр импульсов от одного счетчика показан на рис. 6 /кривая 1/. Разрешение, определенное при захвате тепловых нейтронов, полученных из источника Pu-Be в парафине, составляет $\sim 5\%$. Счетчик подключался непосредственно к предусилителю. Кабель между счетчиком и предусилителем уменьшает выходной импульс из-за емкости кабеля / $Z = 50 \Omega$, $C \approx 100$ пФ/м/ и ухудшает разрешение на несколько процентов на метр кабеля. На рис. 6 около 26 и 77 каналов видны пороги за счет стеночного эффекта^{14/}, который связан с тем, что треки протонов или тритонов входят в стенку счетчика или в нечувствительный объем. Положение порогов в спектре соответствует распределению энергии реакции $Q = 764$ кэВ между тритонами и протонами в отношении 1 : 3. Примерно 70% всех тепловых нейтронов регистрируются в пике. Резкий подъем кривой спектра при малых амплитудах обусловлен шумами электроники и импульсами от регистрации ядер отдачи и γ -лучей. Спектр импульсов ядер отдачи, получающихся в результате упругих соударений нейтронов с ядрами ^3He , имеет верхнюю границу, равную $3/4$ энергии нейтронов, и влияет на форму спектра при более высоких энергиях нейтронов^{11/}.

Выбор рабочего режима

Для поиска оптимального рабочего напряжения целесообразно воспользоваться графиком уравнения Дитхорна^{19/}

$$\frac{\ln A}{U} = B \cdot \ln U + C, \quad /1/$$

где A - амплитуда импульсов, U - высокое напряжение и B, C - постоянные. При этом пропорциональная область счетчика соответствует линейному участку кривой. Из графика /рис. 2, кривая 1/ видно, что пропорциональная область распространяется с $\sim 1,3$ до $2,2$ кВ. Измерялось также энергетическое разрешение счетчика в зависимости от рабочего напряжения, т.е. от коэффициента газового усиления. Измеряемое энергетическое разрешение опре-

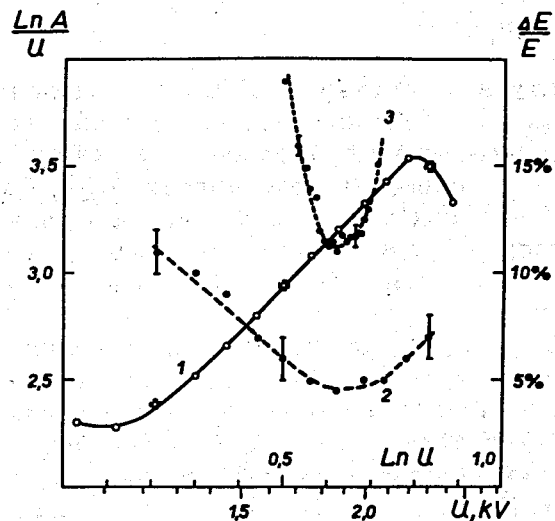


Рис. 2. График Дитхорна одного счетчика /1/ и зависимость энергетического разрешения $\Delta E/E$ одного счетчика /2/ и батареи из 91 счетчика /3/ от высокого напряжения U .

деляется, в основном, шумами электроники, статистикой ионизации и искажениями электрического поля /10-12/. Оптимальное рабочее напряжение одного счетчика было выбрано в интервале $1,8 \div 1,9$ кВ, где энергетическое разрешение минимально /рис. 2, кривая 2/.

2. ЭЛЕКТРОНИКА

Уровень шумов, а с ним и энергетическое разрешение в значительной степени зависят от схемы предусилителя. Кроме того, в связи с группировкой счетчиков к предусилителю предъявляется повышенное требование малого уровня шумов.

При разработке электронной схемы детектора были испытаны три типа предусилителей. Схема предусилителя на обычных транзисторах /13/ проста и по устройству и в обращении, но заметно ухудшает энергетическое разре-

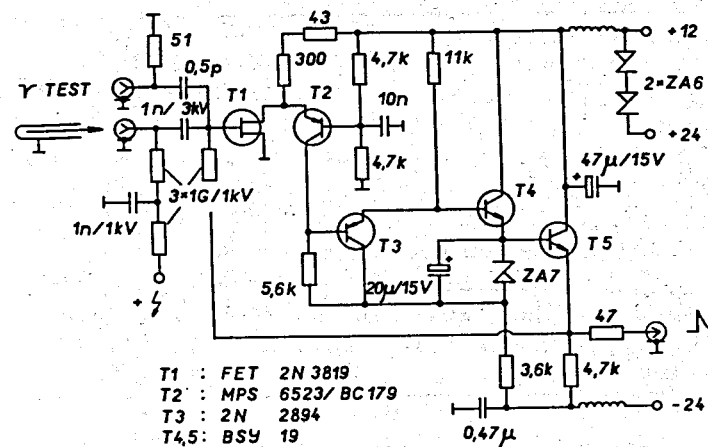


Рис. 3. Малошумящий предусилитель.

шение из-за больших шумов. С помощью зарядочувствительного предусилителя /рис. 3/ с полевым транзистором 2N 3819 и малошумящими транзисторами MPS 6523 или BC 179 было получено наилучшее энергетическое разрешение и отношение амплитуд импульсов от тепловых нейтронов к шумам ≥ 10 при напряжении 1,8 кВ. При больших скоростях счета рекомендуется уменьшить высоковольтные рабочие сопротивления. Этот предусилитель мы использовали также для усиления малых импульсов от ионизационных ^3He -камер, но он менее удобен при параллельном подключении $10 \div 20$ счетчиков.

Третий тип предусилителей /рис. 4/ использовался для работы с -18 параллельно включенными счетчиками. Предусилитель относится к классу зарядочувствительных /зарядочувствительность - 1 В/нКл / и устроен по схеме типа "Бутстрап". Схема его проще предыдущей, но уровень шумов несколько выше.

Выходы предусилителей для каждой группы счетчиков подключались к входу суммирующего усилителя, собранного по схеме операционного усилителя /рис. 4/. Зарядочувствительность этого сумматора вместе с предусилителями составляет $\sim 7 \div 15 \text{ В/нКл}$. Вследствие сильной

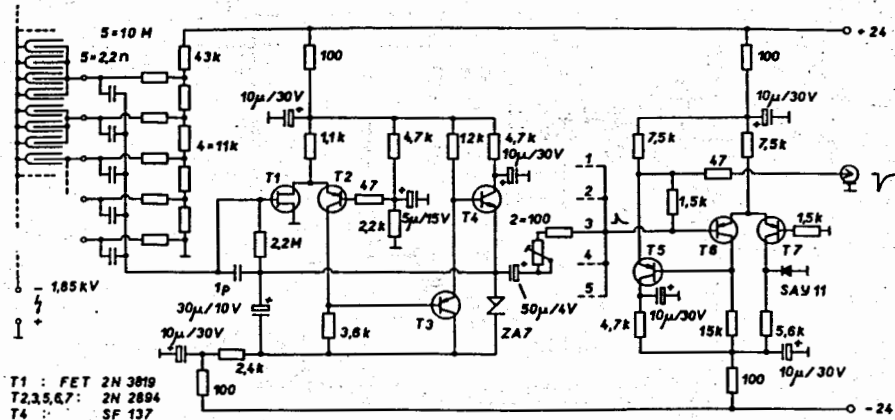


Рис. 4. Предусилитель, примененный в батарее, с делителем напряжения, и суммирующий усилитель.

обратной связи входное сопротивление сумматора мало, благодаря чему исключается взаимное влияние предусилителей.

3. КОМПАКТНЫЙ ДЕТЕКТОР В ВИДЕ БАТАРЕИ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ ^3He - СЧЕТЧИКОВ

Секционирование счетчиков

Необходимость в получении высоких скоростей счета вынуждает увеличивать чувствительный объем детектора. Увеличение размеров счетчика приведет к уменьшению стеночного эффекта /поверхность $\sim d^2$, объем $\sim d^3$ /, но, к сожалению, его временные характеристики ухудшаются из-за увеличения времени собирания электронов и разброса во времена запаздывания / $T \sim d^2 / 8$ / импульсов по отношению к акту взаимодействия. Параллельное подключение многих небольших счетчиков увеличивает емкость, в результате чего уменьшается величина импульсов на входе предусилителя и, в конечном счете, ухудшается энергетическое разрешение. Другой вариант - создание большого многоконтурного детектора открытого

типа /14,15/, который позволяет уменьшить фон с помощью систем антисовпадений. Однако, по условиям эксперимента, наиболее удобным вариантом оказалось использование батарей независимых счетчиков. Исходя из требования хорошего временного разрешения / $\Delta t \leq 1$ мксек/, мы выбрали пропорциональные счетчики типа СМН-50. Чтобы не допускать чрезмерного повышения входной емкости предусилителя, целесообразно составить сравнительно небольшие группы параллельно соединенных счетчиков, импульсы от которых подаются на сумматор.

В процессе разработки детектора были произведены предварительные испытания небольших батарей, собранных из 6 и 10 счетчиков с близкими характеристиками. В батарее все счетчики подключались параллельно к общему источнику высокого напряжения и к одному предусилителю. При этом было получено энергетическое разрешение $\sim 11\%$ по пику импульсов от тепловых нейтронов. Для улучшения энергетического разрешения необходимо было подать на каждый счетчик индивидуальное высокое напряжение, обеспечивающее одинаковый уровень сигналов от каждого счетчика. Разброс индивидуальных напряжений, определенных специальным прибором, соответствовал приблизительно гауссовскому распределению с шириной на полувысоте ~ 40 В. Регулировка напряжения на каждом счетчике в батарее производилась делителем, на который подавалось напряжение от источника питания предусилителя, складываемое с напряжением высоковольтного источника. Таким образом, с группами по 9 и 18 счетчиков было получено разрешение $\sim 9\%$ и $\sim 10\%$ соответственно. При суммировании сигналов в схеме сумматора от 5 групп /по 16-20 счетчиков в каждой группе/ разрешение составляло $\sim 11-12\%$, тогда как для отдельных счетчиков оно лежит в пределах $4-8\%$.

Общее описание батареи

При конструировании батарей счетчиков были учтены физические требования, предъявляемые к детектору в экспериментах по пропусканию нейтронов в обратной

сферической геометрии * : изотропная чувствительность, хорошие спектрометрические и временные характеристики, минимум конструктивных материалов и др.

На рис. 5 представлена фотография детектора с частично снятым кадмиевым кожухом, служащим одновременно электрическим экраном и защитой от тепловых нейтронов. Детектор может быть помещен в сферическую полость образца диаметром 250 мм. Подводящие кабели проходят через трубку с внутренним диаметром 8 мм.

Сконструированный детектор состоит из 91 пропорционального ^3He -счетчика. Блок счетчиков имеет форму шестигранной призмы, окружен на боковых сторонах медной фольгой и пленкой фторопласта и помещен в заземленную алюминиевую коробку. Это расположение образует конденсатор, использованный в схеме фильтра высокого напряжения. На пяти сторонах коробки размещено пять предусилителей, на шестой - сумматор. Монтажные платы электронных схем имеют двухстороннее проводящее покрытие, что уменьшает влияние паразитных емкостей. Весь детектор окружается заземленным кадмиевым кожухом.

Особенное внимание уделялось чистоте поверхности стеклянных изоляторов счетчиков. При пайке может образоваться тонкий налет, приводящий к возникновению поверхностного тока. После промывки стеклянных изоляторов счетчиков спиртом или ацетоном качество изоляции проверялось измерением саморазряда емкости групп счетчиков с помощью электростатического вольтметра.

Чтобы избежать необходимости в применении высоковольтных переходных конденсаторов, выбрана схема питания счетчиков с заземленным положительным полюсом источника высокого напряжения. Для получения хорошего энергетического разрешения проводилось "выравнивание" амплитуд импульсов в каждой группе с помощью делителей напряжения на входах предусилителей /рис. 4/. Делитель дает возможность установить индивидуальное высокое напряжение с шагом $\Delta U = 3 \text{ В}$, который соответствует

* В обратной сферической геометрии детектор помещается внутрь сферического слоя исследуемого материала.

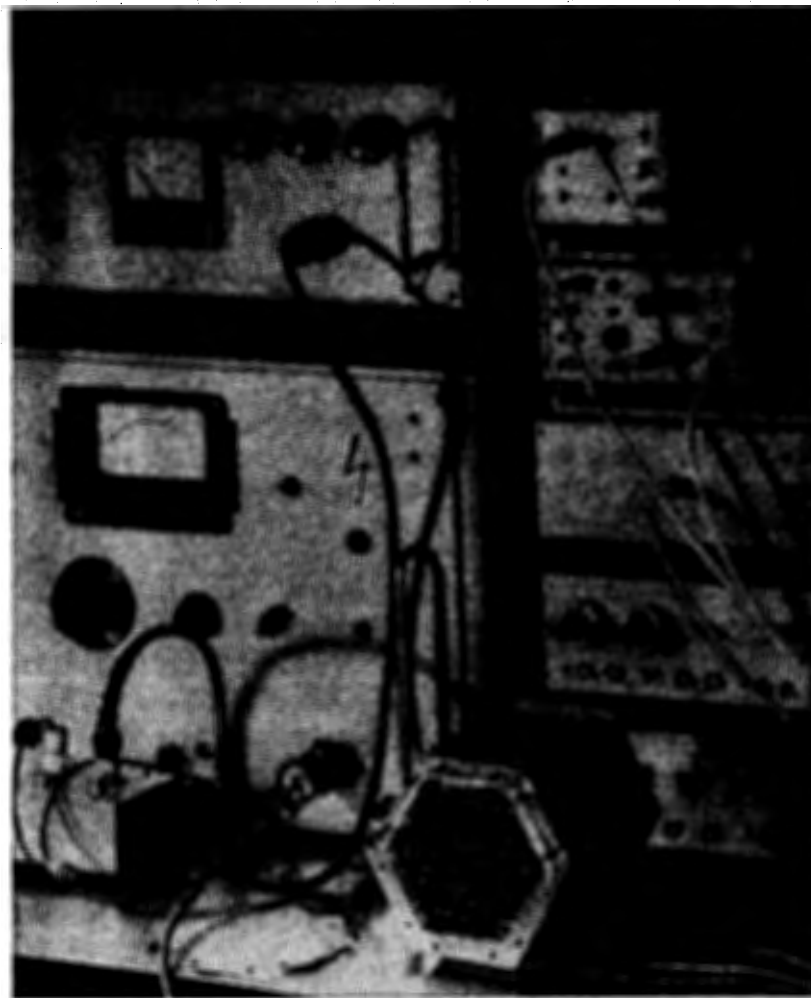


Рис. 5. Компактный детектор из 91 пропорционального ^3He -счетчика при наладке.

изменению амплитуды импульсов на $\sim 1\%$. "Выравнивание" амплитуд между разными группами счетчиков достигалось дополнительной плавной регулировкой коэффициентов усиления предусилителей. С этой целью предусмотрен

доступ к соответствующим потенциометрам при закрытом кожухе детектора.

Физические характеристики

На рис. 6 приведен амплитудный спектр импульсов от тепловых нейтронов Pu-Be -источника в замедлителе, измеренный батареей из 91 счетчика /кривая 2/ с применением усилителя HV 4567 и 256-канального амплитудного анализатора Sp4014, разработанных в ЦИЯИ /ГДР/. По сравнению с одним счетчиком относительный уровень шумов батареи возрос в ~ 2 раза.

При уровне дискриминации ~ 250 кэВ собственный фон детектора без специальной защиты составлял ~ 0,4 имп/сек. Спектр фона, измеренный в течение ~ 4 час, приведен также на рис. 6. Основными источниками фона являются космическое излучение, естественная радиоактивность и шумы электроники. Слабый пик в области сотого канала указывает на присутствие медленных нейтронов. Предварительные измерения показали, что применение защиты детектора позволяет уменьшить собственный фон в несколько раз.

Для измерения мертвого времени τ детекторной системы применялся метод двух нейтронных источников. Мертвое время детектора определяется временем собирания электронов в счетчиках и постоянными времени усилительного тракта. На рис. 7 изображена зависимость измеренного мертвого времени от постоянной времени дифференцирования главного усилителя, причем постоянная времени интегрирования устанавливалась равной постоянной времени дифференцирования. Минимальное мертвое время, которое можно получить для батареи из 91 счетчика и описанного усилительного тракта, равно ~ 1 мксек при постоянной времени усилителя 0,3 мксек.

В случае проведения амплитудного анализа для получения наилучшего энергетического разрешения следует установить постоянную времени амплитудного анализатора, сравнимую с постоянными времени усилительного тракта.

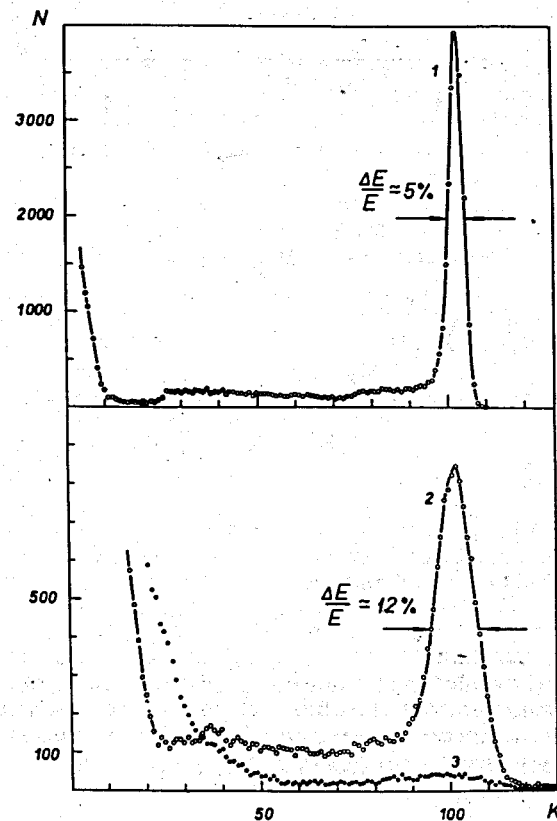


Рис. 6. Амплитудные спектры / N - число отсчетов, K - номер канала / импульсов от тепловых нейтронов, измеренные с одним счетчиком типа СМ-50 /1/ и с батареей из 91 счетчика /2/, и спектр собственного фона, измеренный с батареей в течение ~ 4 час. /3/.

На рис. 2 /кривая 3/ изображена измеренная зависимость энергетического разрешения от напряжения, поданного на батарею пропорциональных счетчиков. Видно, что оптимальной рабочей областью является диапазон напряжений $U = 1800 \div 1900$ В.

Контрольные измерения стабильности детектора и электронной аппаратуры указывают на отсутствие изме-

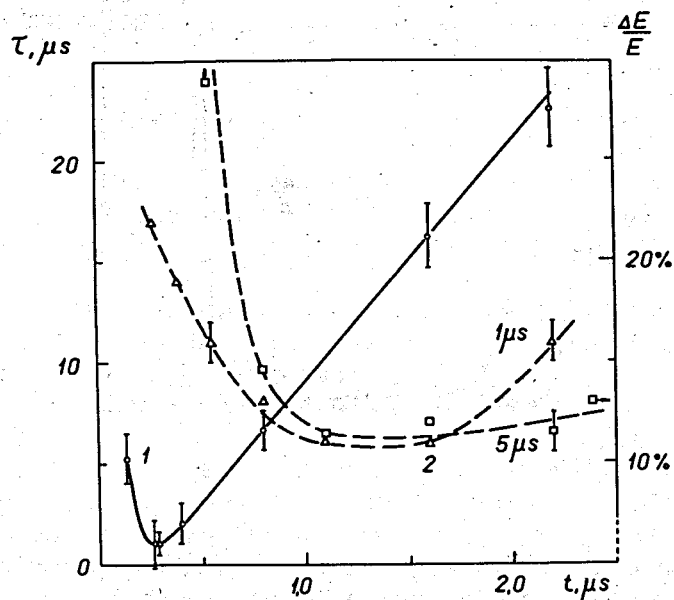


Рис. 7. Зависимость мертвого времени τ детектора /1/ и энергетического разрешения $\Delta E/E$ от постоянных времени t главного усилителя /время дифференцирования равно времени интегрирования/ при двух значениях постоянной времени анализатора /2/.

нений характеристик в течение круглосуточных измерений.

Результаты разработки и исследования нейтронного детектора в виде батареи из пропорциональных ^3He -счетчиков показывают, что такой детектор можно использовать для широкого класса нейтронных измерений. В частности, этот детектор предполагается использовать в измерениях на импульсном реакторе ИБР ЛНФ в ОИЯИ, г. Дубна.

В заключение авторы выражают благодарность А.В.Звонареву и П.В.Киндинову за содействие в работе.

Литература

1. Р.Батчелор, Ж.Моррисон. ^3He - спектрометр нейтронов, в сборнике Мариан/Фаулер. Физика быстрых нейтронов, т. 1, 191, Атомиздат, Москва /1963/.
2. T.Fuse, T.Miura, A.Yamayi, T.Yoshimura. Nucl.Instr.Meth., 74, 322 (1969).
3. L.V.East, R.B.Walton. Nucl.Instr.Meth., 72, 161 (1969).
L.V.East. Nucl.Instr.Meth., 71, 328 (1969).
4. S.Shalev, Z.Fishelson, J.M.Cuttler. Nucl.Instr.Meth., 71, 292 (1969).
5. В.И.Королев, А.К.Савинский. ПТЭ, 1, 68 /1971/.
6. R.L.Macklin et al. Nucl.Instr.Meth., 102, 181 (1972).
7. В.К.Богатырев, Б.Г.Дубовский, В.В.Фролов, В.В.Чарычанский. ПТЭ, 3, 72 /1972/.
8. В.И.Королев, Л.А.Комаева, В.Г.Чайковский, А.В.Шапарь. ПТЭ, 4, 46 /1970/.
9. E.F.Bennett. Nucl.Sc.Eng., 27, 16 (1967).
10. P.W.Benjamin, C.D.Kemshall, J.Redfearn. Nucl.Instr.Meth., 59, 77 (1968).
11. Д.А.Гоганов, А.Н.Жуковский, Н.И.Комяк, В.С.Пономарев, Н.Б.Цветова. ПТЭ, 2, 45 /1972/.
12. M.W.Charles, B.A.Cooke. Nucl.Instr.Meth., 61, 31 (1968).
13. А.А.Омельяненко, К.Г.Родионов, Хен Бен Гынь. Препринт ОИЯИ, 2280, Дубна, 1965.
14. P.Povinesc. Nucl.Instr.Meth., 101, 613 (1972).
15. П.Н.Ворона, А.Н.Майстренко. ПТЭ, 5, 48 /1972/.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 апреля 1974 года.