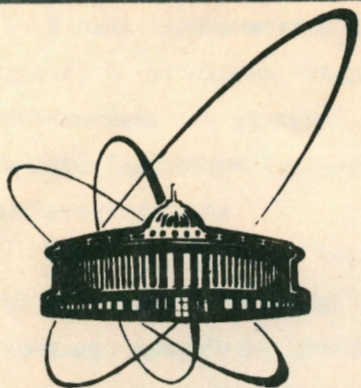


90-395



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P3-90-395

А.А.Богдзель, Ю.В.Григорьев¹, Н.А.Гундорин,
А.Дука-Зойоми, Зо Сен Хен, Я.Климан,
П.С.Солошенко²

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ МНОГОСЕКЦИОННАЯ
КАМЕРА ДЕЛЕНИЯ
С ПЛУТОНИЕМ-239

Направлено в журнал "Nuclear Instruments
and Methods"

¹ Физико-энергетический институт, Обнинск

² Радиевый институт им. В.Г.Хлопина, Ленинград

1990

В ряде экспериментов, проводимых с целью изучения физики деления и уточнения ядерно-физических констант, применяются ионизационные камеры, содержащие делящееся вещество. Требования, предъявляемые к таким камерам, определяются конкретной задачей.

Так, при исследовании эффекта резонансного самоэкранирования сечения деления плутония-239, проводимом на источнике нейтронов ИБР-30, целесообразно измерение функции самоиндикации на более толстых образцах, что позволит уточнить ранее полученные данные. Для этого требуется камера деления, содержащая не менее 1 г плутония и имеющая высокую эффективность регистрации осколков.

Аналогичным требованиям в отношении количества делящегося материала и эффективности должна удовлетворять камера для исследования особенностей деления ядер плутония-239 резонансными нейтронами с использованием спектроскопии гамма-излучения из осколков. Особенности применяемой при этом методики определяют дополнительные требования. Необходимо минимизировать размеры камеры, так как приемлемое энергетическое разрешение (1.5-2.5) кэВ в интервале энергии гамма-квантов (100-1600) кэВ удаётся получить с помощью полупроводникового Ge(Li) - детектора, объём которого, как правило, не превышает 100 куб. см, а эффективность регистрации не более 10%. Кроме того, при проведении экспериментов на нейтронном пучке для уменьшения фона, связанного с (n, γ) -взаимодействием, а также для снижения радиационной нагрузки на детектор от рассеянных нейтронов, необходимо ограничить количество конструкционных материалов. Эти условия были в достаточной

ВЫСЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

мере соблюдены при создании камеры деления, содержащей 10 г урана-235 /1/. Поэтому основные конструктивные решения, воплощенные в ней, были использованы при изготовлении камеры с плутонием-239, описание которой приводится ниже.

Трудности при работе со значительным количеством изотопа плутония-239 связаны с его высокой альфа-активностью. Период полураспада для него составляет $2.4131 \cdot 10^4$ лет. Если в камере содержится 1 г этого элемента, то в рабочий объем ее попадает около $2.27 \cdot 10^9$ альфа-частиц в секунду. При этом несмотря на значительно меньшую ионизацию, производимую ими, многократные наложения импульсов от альфа-частиц приводят к существованию высокого фона импульсов, амплитуда которых сравнима с амплитудой импульсов от осколков. В этом случае выделение полезных сигналов оказывается трудной задачей, так как отбор по амплитуде приводит к потере эффективности регистрации осколков.

Применение секционирования камеры с тем, чтобы в каждой секции содержалось не более 100 мг плутония, позволяет существенно уменьшить кратность наложений /2/. Для подавления регистрации альфа-частиц можно воспользоваться их более высокой проникающей способностью и особенностью зависимости удельных потерь энергии от пробега. При этом необходимо вводить дополнительную компенсирующую секцию /3/ и коллимирующие вкладыши /4/, а это приводит не только к потере эффективности, но и к увеличению объема камеры, что нежелательно при проведении гамма-спектроскопии осколков, так как снижает эффективность регистрации гамма-квантов.

Действенным средством подавления наложений является сокращение длительности импульса, т.е. времени собирания заряда, возникающего в камере при взаимодействии осколков и

альфа-частиц с рабочим газом. Это следует из формулы, которая позволяет оценить число наложений в единицу времени /5/:

$$N(n) = \frac{n_0}{1 + n_0 \tau} \frac{(n_0 \tau)^{n-1}}{(n-1)!} \exp(-n_0 \tau) \quad (1)$$

Здесь n_0 - интенсивность альфа-излучения, n - кратность наложений, τ - длительность импульса. С целью сокращения длительности импульса расстояние между электродами делается 1-3 мм, в качестве рабочего применяется "быстрый" газ, чаще всего метан, имеющий высокую скорость дрейфа носителей заряда, а электрический сигнал формируется с использованием электронной компоненты, которая примерно в тысячу раз короче ионной. Если давление метана 2.5 атм, расстояние между электродами 1.5 мм, а рабочее напряжение 900 В, то скорость дрейфа электронов составит $(6-7) \cdot 10^6$ см/с, а время сбора (21-25) нс. При таких условиях в секции, содержащей 100 мг плутония, число наложенных импульсов велико: в секунду происходит более 30 двадцатикратных наложений. Дальнейшего сокращения длительности импульса можно добиться, используя для наполнения камеры "тяжелые" газы: изобутан, n -гептан, пары ацетона под давлением (5-30) Торр. При значении характеристического параметра $(E/p) > 200$ В/см Торр, где E - напряженность электрического поля, а p - давление газа, скорость дрейфа электронов может достигать в них $(16-36) \cdot 10^6$ см/с /6/ и длительность импульса сократится до нескольких наносекунд. Быстродействие лавинных детекторов, в которых применяются "тяжелые" газы /6,7,8/, позволяет с высокой эффективностью и временным разрешением до 140 пс регистрировать осколки с интенсивностью 10^7 делений/с при интенсивности сопутствующего альфа-излучения до 10^8 с $^{-1}$.

С целью достижения высокого быстродействия в плутониевой

камере деления в качестве рабочего газа используется изобутан (iC_4H_{10}) под давлением 20 Торр. Камера (рисунок 1) разделена на 19 секций. В каждой секции между двумя плоскими катодами на расстоянии 2 мм от них расположен электрод, служащий анодом.

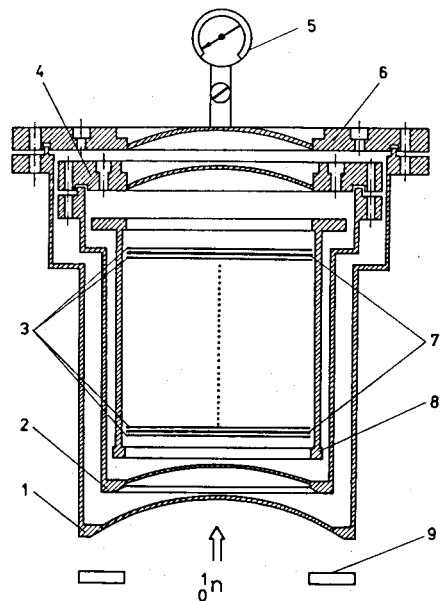


Рис. 1. Камера с Pu-239.

1-корпус охранного колпака, 2-корпус камеры, 3-катоды, 4-фланец камеры, 5-контрольный манометр, 6-фланец колпака, 7-аноды, 8-стойка-держатель электродов, 9-коллиматор, формирующий пучок нейтронов.

Электроды - алюминиевые, с диаметром 77 мм и толщиной 0.1 мм. На аноде с обеих сторон имеется радиатор из PuO_2 с обогащением по Pu-239 до 99.9%, изготовленный методом многократного (40 слоёв) нанесения азотнокислого плутония и отжига при температуре $500^\circ C$, с последующим напылением золота в количестве (30 - 50) $\mu\text{кг}/\text{см}^2$. Поверхностная плотность радиатора составляет (1 ± 0.1) $\text{мг}/\text{см}^2$, а суммарное количество плутония 1.6 г. Все электроды закреплены на каркасе и зафиксированы с помощью нейлоновой нити толщиной 0.1 мм. Каркас крепится к крышке, в которой имеется 20

электрических выводов, один из которых соединяется с катодами всех 19 секций, а каждый анод имеет самостоятельный вывод. Камера снабжена вентилем, с помощью которого производится её заполнение газом.

Чтобы исключить возможность утечки плутония, представляющего большую опасность, камера заключена в герметичный охранный колпак, в крышке которого есть 20 электрических выводов, соединённых с соответствующими выводами на крышке камеры. Охранный колпак заполнен изобутаном под давлением 200 Торр и снабжён манометром, по показанию которого контролируется герметичность камеры и охранного колпака.

Детали камеры и колпака изготовлены из алюминиевого сплава. Суммарная толщина стенок, через которые пропускается пучок нейтронов, составляет 4.9 мм. Выводы изготовлены из латуни, соединения выводов с катодными и анодными пластинами выполнены из серебросодержащей проволоки посредством пайки.

Конструктивная особенность камеры - отсутствие дистанционирующих колец - обеспечивает относительно небольшую электрическую ёмкость одной секции, составляющую около 90 пФ, и способствует тем самым повышению её быстродействия.

В лавинных детекторах, использующих тяжёлые газы, для достижения высокого коэффициента усиления ($10^5 - 10^6$) рабочее напряжение устанавливается вблизи пробивного: $U_{ак} = (0.8 - 0.9)U_{пр}$. На рисунке 2 показана зависимость напряжения пробоя $U_{пр}$ от характерного параметра $p \cdot d$ (p -давление, d -расстояние между электродами) для изобутана при температуре 290 К [9]. Там же приведён график такой зависимости, полученный нами для изобутана в камере с плутонием. Значительные различия, по-видимому, обусловлены высокой

интенсивностью альфа-облучения межэлектродного пространства и существованием неоднородностей электрического поля, связанных с недостаточной плоско-параллельностью электродов и наличием между ними фиксирующей нейлоновой нити. Оптимизация режима рабо-

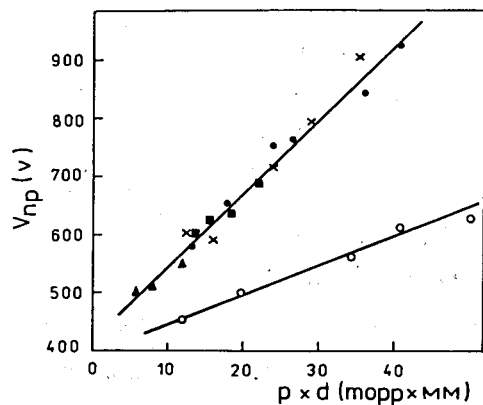


Рис. 2. Зависимость напряжения пробоя $U_{пр}$ от параметра $p \cdot d$. Верхний график-работа /9/, нижний график-для камеры с Pu-239.

ты проводилась с использованием источника нейтронов cf-252 интенсивностью $2 \cdot 10^7$ н/с, помещенного в блок замедлителя из парафина. На рисунке 3 показана счётная характеристика одной из секций камеры, содержащей 92 мг плутония.

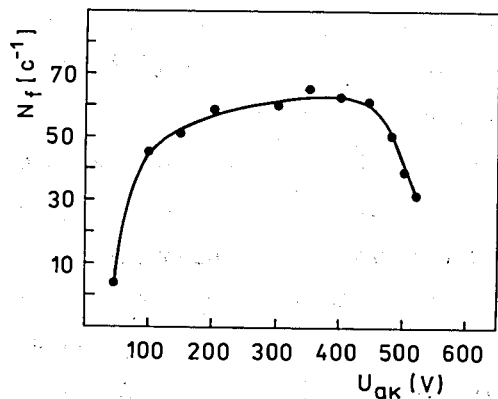


Рис. 3. Счётная характеристика одной из секций, содержащей 92 мг плутония.

Дифференциальная амплитудная характеристика для той же секции при $U_{ак} = 350$ В представлена на рисунке 4. Так как "хвост" регистрируемых наложенных импульсов от альфа-частиц оказывается значительным, с помощью дискриминации по амплитуде не удаётся получить высокой эффективности. Дополнительная возможность подавления регистрации наложений связана с тем, что амплитуда импульса, вызванного n -кратным наложением от α -частиц и равная nU_{α} ,

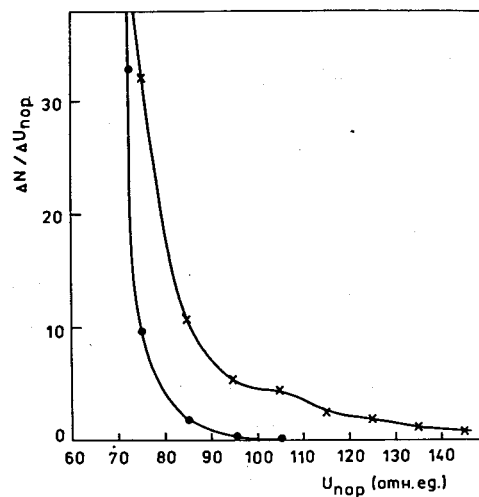


Рис. 4. Дифференциальная амплитудная характеристика одной из секций. Нижняя кривая-счёт α -частиц, верхняя- α -частицы + осколки деления.

поддерживается в течение более короткого времени, чем длительность одиночного импульса $\tau / 5$. Эта разница тем существеннее, чем больше кратность наложений. На рисунке 5 приведены дифференциальные временные характеристики для импульсов от осколков (а) и импульсов, связанных с наложениями (б), снятые при одном пороге дискриминации. Так как последние существенно короче, то может быть проведён отбор по длительности. Такую возможность обеспечивают блоки быстрой электроники, применённые для съёма сигнала.

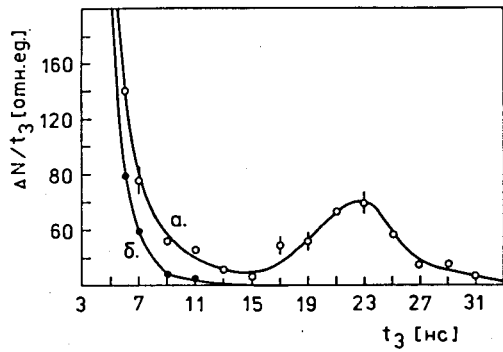


Рис.5. Дифференциальная временная счётная характеристика одной секции. t_3 - время задержки, характеризующее длительность импульса.

Блок-схема съёма сигнала с камеры показана на рисунке 6. Каждая из 19 секций имеет независимый канал. Средняя потеря

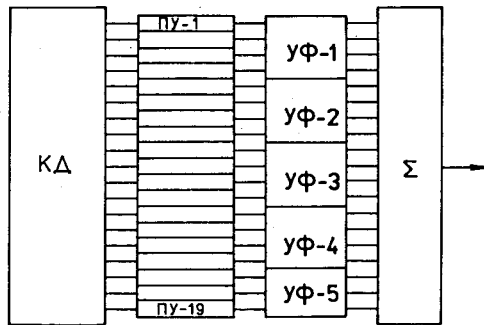


Рис.6. Блок-схема съёма сигнала. КД - камера, ПУ-1 - ПУ-19 - предусилители, УФ-1 - УФ-5 - усилители-формирователи, Σ - сумматоры.

энергии в камере составляет для осколка ≈ 1 МэВ, а для α -частиц ≈ 14 кэВ, что соответствует образованию $\approx 4 \cdot 10^4$ и $\approx 5 \cdot 10^2$ электронов соответственно. Рассматривая α -частицы как источник шумовых импульсов с интенсивностью $2 \cdot 10^8$ с $^{-1}$ и средней амплитудой, соответствующей заряду $5 \cdot 10^2$ электронов, можно оценить дисперсию шумового заряда при использовании CR-RC формирования с постоянной $\approx 10^{-8}$ с, которая составляет

$\approx 1.1 \cdot 10^3$ электронов. Измеренный средний ток, протекающий через сопротивление нагрузки, ≈ 30 мкА. Из сопоставления этих величин следует, что коэффициент газового усиления в камере не превышает ≈ 2 . Оценка шумовых свойств усилительных элементов показала преимущество полевого транзистора с крутизной ≈ 20 мА/В по сравнению с биполярным транзистором при токе коллектора ≈ 1 мА, с распределённым сопротивлением базы $r_{бб} \approx 30$ Ом и при указанной выше постоянной формирования. Эквивалентный шумовой заряд для биполярного транзистора в первом каскаде предусилителя составляет $\approx 4.4 \cdot 10^3$ э, а для полевого $\approx 3.5 \cdot 10^3$ э. Рассматривая полученные оценки и учитывая большую вероятность наложения импульсов от α -частиц, мы остановились на схеме токового предусилителя с полевыми транзисторами на входе (рисунок 7).

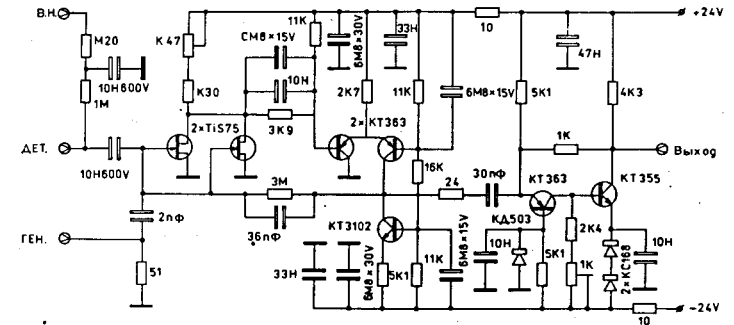


Рис.7. Предусилитель для камеры деления с Pu-239.

Первый каскод предусилителя имеет структуру схемы с так называемым "холодным" входным сопротивлением /10/. Предусилитель прост в настройке, показал устойчивую работу и стабильные характеристики. Предусилители крепятся непосредственно на камере и имеют габаритные размеры

125*30*22 мм. Основные характеристики : чувствительность ≈ 10 мВ/мкА; входное сопротивление ≈ 10 Ом; фронт выходного импульса $\approx 2,5$ нс при $C_{вх} = 0$ и ≈ 4.5 нс при $C_{вх} = 100$ пф; среднеквадратичный шум, приведённый ко входу, менее $2 \cdot 10^{-9}$ А (При $C_{вх} = 0$; $\tau_{инт} \approx 8$ нс, $\tau_{дифф} \approx 50$ нс).

Схема усилителя-формирователя приведена на рисунке 8.

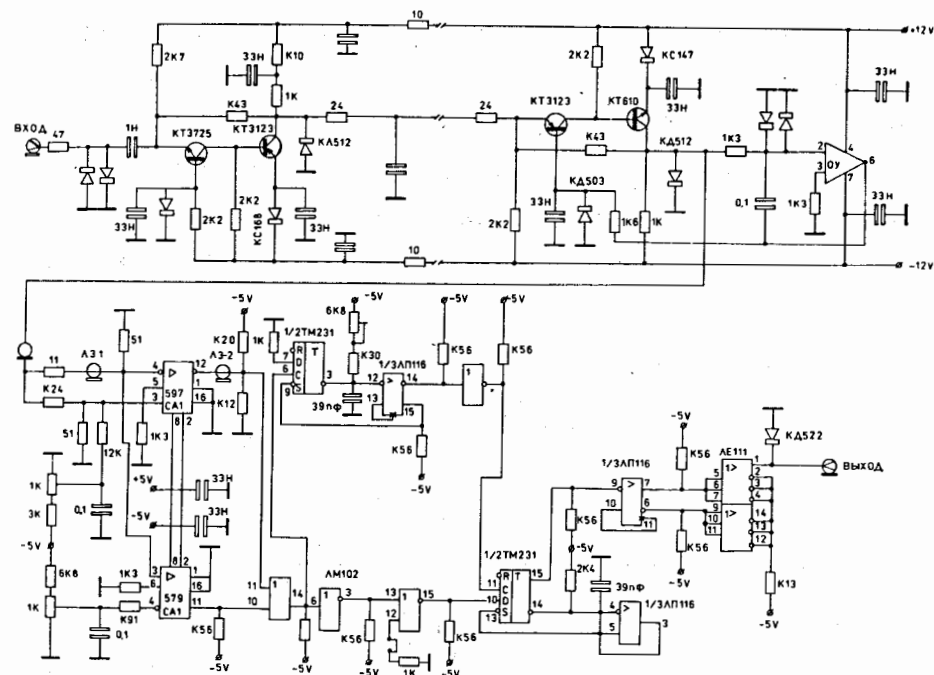


Рис.8. Быстрый усилитель-формирователь для камеры с Pu-239. Усилитель состоит из двух каскадов со связью по постоянному току. Используется пассивное CR-RC формирование. В выходной каскад введён простейший стабилизатор выходного уровня на основе интегратора в цепи обратной связи. Фиксированный выходной уровень необходим для хорошей амплитудной

дискриминации, точной временной привязки и отбора по длительности. Использование простейшего стабилизатора возможно в связи с малой длительностью (не более 25 нс) и небольшой статистической загрузкой осколков деления. Основные параметры усилителя : коэффициент усиления ≈ 40 , постоянные формирования $\tau_{инт} \approx 8$ нс, $\tau_{дифф} \approx 50$ нс. При разработке формирователя с точной временной привязкой использовались некоторые схемные решения из работы / 11 /. Применена обычная схема привязки к постоянной части входного импульса, выполненная на быстром компараторе типа 597са1. В одном блоке КАМАК двойной ширины размещено четыре усилителя-формирователя. Особенностью схемы является введение отбора по длительности импульса с амплитудного дискриминатора, что позволило значительно повысить эффективность регистрации осколков.

Определение эффективности проводилось экспериментально на пучке нейтронов ИБР-30. На пролётной базе 57 м одновременно измерялись времяпролётные спектры в резонансной области энергии нейтронов плутониевой камерой деления и расположенным за ней пропорциональным счётчиком нейтронов. Чтобы избежать перегрузки, для этой цели был изготовлен специальный счётчик на основе СМ-18, но с малым содержанием He-3. Счётчик заполнялся смесью гелия - 13 Торр, углекислого газа - 8 Торр и аргона - 1.2 атм. Эффективность счётчика для нейтронов с энергией 7.82 эВ составила 0.39%. По площади пика в отдельном резонансе $N_{КД}$ спектра камеры деления и площади соответствующего ему "провала" $N_{СЧ}$ в спектре счётчика определялась эффективность камеры с

$$F_{КД} = \frac{N_{КД}}{N_{СЧ}} \frac{S_{СЧ}}{S_{КД}} \frac{\Gamma}{\Gamma_f} F_{СЧ} \quad (2)$$

Здесь $F_{КД}$, $F_{СЧ}$ - эффективность камеры и нейтронного счётчика, $S_{КД}$, $S_{СЧ}$ - "рабочая" площадь камеры и счётчика соответственно, Γ и Γ_f - полная и делительная ширины для выбранного резонанса. Для участков спектра между резонансами применялась формула

$$F_{КД} = \frac{N_{КД}}{N_{СЧ}} \frac{n_{He}}{n_{Pu}} \frac{\sigma_{He}}{\sigma_{Pu}} \frac{S_{СЧ}}{S_{КД}} F_{СЧ} \quad (3)$$

Здесь n_{Pu} и n_{He} - число ядер плутония и гелия в камере и счётчике на единицу площади, σ_{Pu} и σ_{He} - сечения деления для плутония и поглощения для гелия в выбранном интервале энергий, $N_{КД}$ и $N_{СЧ}$ - нормированные по монитору на поток нейтронов площади спектра в этом интервале для камеры и для спектра счётчика, полученного в отсутствие камеры. Эффективность вычислялась для энергий нейтронов 1., 7.82, 11.15, 12.1, 14.9 и 26.2 эВ.

Среднее значение эффективности составило $(60 \pm 10)\%$.

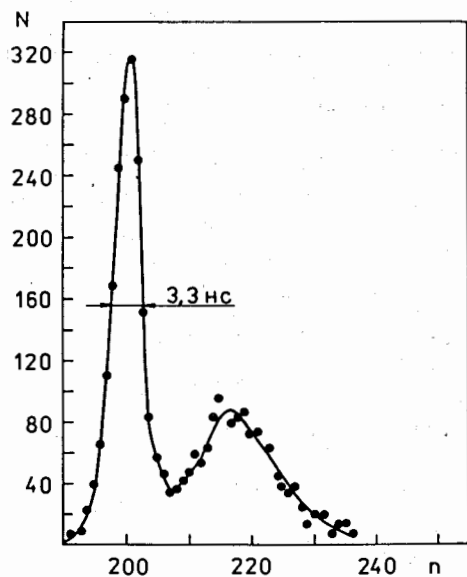


Рис.9. Кривая совпадений, характеризующая временное разрешение камеры.

Временное разрешение камеры было измерено с помощью детектора на основе жидкого сцинтиллятора NE-213 размером (50*50) мм и ФЗУ 56-APV, регистрирующего гамма-кванты, сопровождающие деление. На рисунке 9 приведена кривая совпадений, из которой следует, что разрешение камеры не превышает 3.3 нс. Второй пик на графике связан с регистрацией нейтронов деления.

В заключение можно констатировать, что благодаря разбиению камеры на секции, содержащие не более 100 мг плутония и имеющие ёмкость менее 100 пФ, использованию быстрых предусилителей и усилителей-формирователей, а также применению комбинированного отбора импульсов по амплитуде и длительности, удалось в значительной мере подавить фон, связанный с наложением импульсов от альфа-частиц, и добиться эффективности регистрации осколков около 60% в камере деления, содержащей 1.6 г плутония-239.

Авторы работы благодарны Л. Б. Пикельнеру и А. Б. Попову за постоянное внимание и активную поддержку, Ю. С. Замятину, О. А. Щербакову за содействие и Т. Е. Кузьминой за помощь при изготовлении мишеней, А. С. Стрелкову за помощь при определении эффективности камеры, Д. М. Хазинсу за полезные консультации, В. Г. Купцову за участие в создании блоков быстрой электроники и Ю. И. Колгину за помощь при проведении экспериментов.

Литература

1. Bogdzel A.A. et al. Nucl. Instr. and Meth., 200(1982), 407-410.
2. Ваньков А. А. и др. ВАНТ, сер. Ядерные константы, вып. 2 (37), 1980, стр. 44-50.
3. Budtz-Jorgensen C. et al. Nucl. Instr. and Meth., 154(1978), 121.
4. Dabbs J.W.T. et al. Nucl. Science and Eng., 83(1983), 22.

5. Росси Б. и Штауб Г. Ионизационные камеры и счётчики. М., Изд-во иностр. лит., 1951.
6. Sernicki J. Nucl. Instr. and Meth., A251(1986), 81.
7. Drexler E. et al. Nucl. Instr. and Meth., 220(1984), 409.
8. Prete G., Viesti G. Nucl. Instr. and Meth., A234(1985), 276.
9. Gardes D., Volkov P. IPND-RC-81-08.
10. Gatti E., Manfredi P.F. Proceedings 2nd ISPRANuclear Electronics Symposium, 1975, Stresa, Italy, p. 33-45.
11. Борейко В.Ф. и др. Сообщение ОИЯИ Р10-85-661, Дубна, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 июня 1990 года.

Богдзель А.А. и др.

P3-90-395

Быстродействующая многосекционная камера деления с плутонием-239

Описывается быстродействующая камера деления, содержащая 1,6 г изотопа плутония-239, применяемая в исследованиях особенностей деления ядер нейтронами резонансной области энергий. Разбиение камеры на секции, содержащие не более 100 мг плутония и имеющие электрическую емкость менее 100 пФ, использование быстрых предусилителей-формирователей, а также применение комбинированного отбора импульсов по амплитуде и длительности, позволяет в значительной мере подавить фон, связанный с наложением импульсов от альфа-частиц, и обеспечивает эффективность регистрации осколков деления около 60%. Временное разрешение камеры не превышает 3,3 нс.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1990

Перевод Т.Ф.Дроздовой

Bogdzel A.A. et al.

P3-90-395

A High-Speed Multisection ^{239}Pu
Fission Chamber

A high-speed fission chamber with a Pu-239 content of 1.6 g to study characteristics of neutron induced fission of nuclei in the resonance energy range is described. By dividing the chamber into sections containing not more than 100 mg of plutonium and having capacitance below 100 pF, by using fast preamplifiers and shapers and by applying the combined method of pulse selection with respect to their amplitude and duration one succeeds in suppressing the background due α -particles and achieving detection efficiency of fission fragments of about 60%. The time resolution of the chamber does not exceed 3.3 ns.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1990