

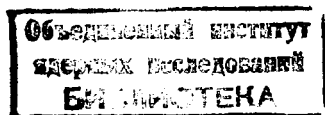


13 - 4551

7942/140.  
Ю.П.Гангрский, Б.Далхсурен, Ю.А.Лазарев,  
Б.Н.Марков, Нгуен Конг Кхань

ИСКРОВОЙ СЧЕТЧИК ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ

Направлено в ПТЭ



Для решения многих экспериментальных задач ядерной физики требуется детектор, эффективно регистрирующий осколки деления ядер на фоне высокой  $\alpha$ -активности (до  $10^8$ - $10^9$   $\alpha$ -частиц в сек). В подобных случаях такие детекторы как ионизационная камера, пропорциональный счетчик, сцинтилляционный газовый счетчик, работа которых основана на измерении полной ионизации, из-за многократных наложений импульсов не способны эффективно разделять  $\alpha$ -частицы и осколки деления. Здесь необходим прибор, эффективность срабатывания которого определялась бы удельной ионизацией подобно тому, как это происходит в диэлектрических детекторах, обладающий, однако, определенными временными свойствами.

Таким прибором является многонитевой искровой счетчик, впервые применявшийся Розенблумом /1/ для счета  $\alpha$ -частиц на фоне интенсивного  $\beta$ -излучения. В дальнейшем он использовался и для регистрации осколков деления /2-6/. Однако механизм работы искрового счетчика такого типа еще не совсем ясен, а его свойства недостаточно исследованы.

Целью настоящей работы являлось изучение эффективности регистрации осколков деления и дискриминирующих свойств искрового счетчика при наполнении его различными смесями газов, определение нижней

границы мертвого времени, измерение разрешающего времени при различных наполнениях.

### 1. Механизм работы и конструкция счетчика

Основной особенностью механизма работы искрового счетчика является локальный характер газового разряда (искровой пробой). Ясно, что для возникновения искрового разряда существенна не полная ионизация, производимая заряженными частицами в чувствительном объеме счетчика, а удельная (локальная) плотность ионизации вдоль следа заряженной частицы. Поэтому вероятность многократных наложений импульсов от отдельных  $\alpha$ -частиц в искровом счетчике практически равна нулю и для надежной дискриминации  $\alpha$ -частиц от осколков деления важно лишь максимально снизить эффективность регистрации отдельных  $\alpha$ -частиц ( $\epsilon_\alpha$ ), сохранив при этом достаточно высокой эффективность регистрации осколков деления ( $\epsilon_f$ ).

Согласно современным представлениям [7,8], для эффективного возникновения искрового пробоя должно быть выполнено условие

$$n \cdot G \geq 10^8, \quad (1)$$

где  $G$  - фактор газового усиления,  $G = \exp \left\{ \int_{x_{кр}} a(x) dx \right\}$ ,  $a(x)$  - коэффициент ударной ионизации,  $n$  - число носителей заряда, образованных заряженной частицей в критическом объеме ( $G > 1$ ) разрядного промежутка. Очевидно, что величины  $n$  для осколков и  $\alpha$ -частиц пропорциональны их удельным ионизационным потерям, последние же существенно различаются. Так, при атмосферном давлении в воздухе в двухмиллиметровом промежутке анод-катод, удаленном от мишени на 4 мм, осколок деления  $^{235}\text{U}$  образует  $(3-3,5) \cdot 10^5$  пар ионов, в то время как  $\alpha$ -

частица - лишь  $6 \cdot 10^3$  пар ионов при тех же условиях. Поэтому соответствующим выбором состава и давления наполняющего счетчик газа, напряжения питания, геометрических параметров счетчика можно получить такое  $G$ , что условие (1) будет выполнено для осколков деления, оставаясь сильно нарушенным для  $\alpha$ -частиц, поскольку необходимые для пробоя величины  $G$  должны различаться почти на два порядка. Таким путем в многонитевом искровом счетчике может быть достигнута высокая степень дискриминации ( $\epsilon_f/\epsilon_\alpha$ )  $\alpha$ -частиц от осколков деления.

Другой особенностью искрового счетчика является существование в нем стабильного коронного разряда, обусловленного сильной неоднородностью электрического поля вблизи нитей анода. Постоянный ток коронного разряда  $I_k$  вызывает падение напряжения на гасящем сопротивлении  $R$  (рис. 1), поэтому напряжение  $V_{сч}$ , действующее непосредственно на электродах счетчика, оказывается меньше, чем напряжение питания ( $V_a$ )

$$V_{сч} = V_a - I_k R. \quad (2)$$

Таким образом, коронный разряд стабилизирует работу искрового счетчика: с появлением короны напряжение  $V_{сч}$  существенно замедляет свой рост при дальнейшем увеличении напряжения питания. Соответственно замедляет свой рост и фактор газового усиления  $G$ . Это приводит к появлению плато на счетной характеристике (зависимость скорости счета осколков деления от напряжения  $V_a$ ), типичный пример которой показан на рис. 2. Напряжение на электродах счетчика в пределах плато меняется всего на 5-10%. Степень такой стабилизации увеличивается с ростом величины сопротивления  $R$ , одновременно растет протяженность и уменьшается наклон плато. Заметим, что в отсут-

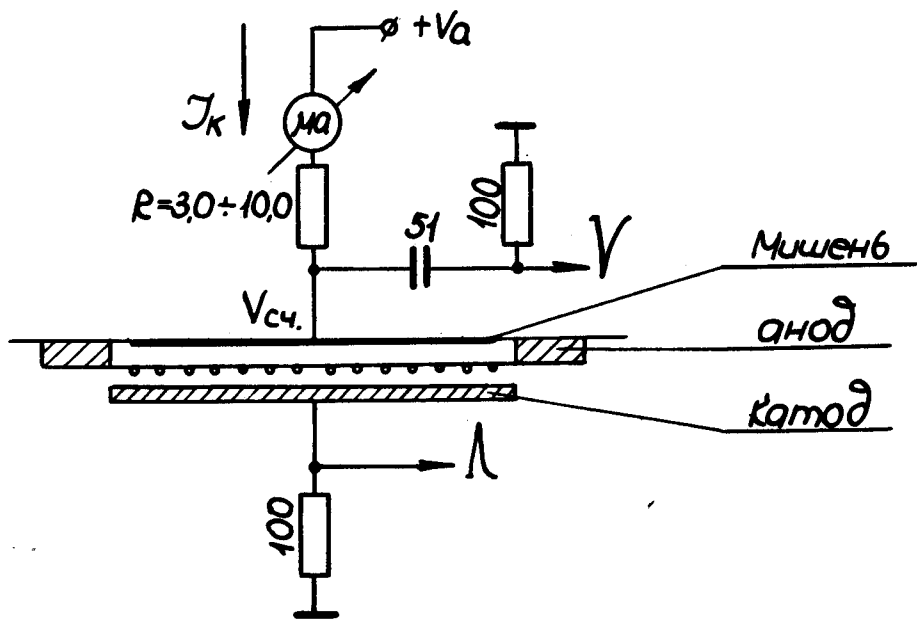


Рис.1. Основные элементы и схема включения искрового счетчика.

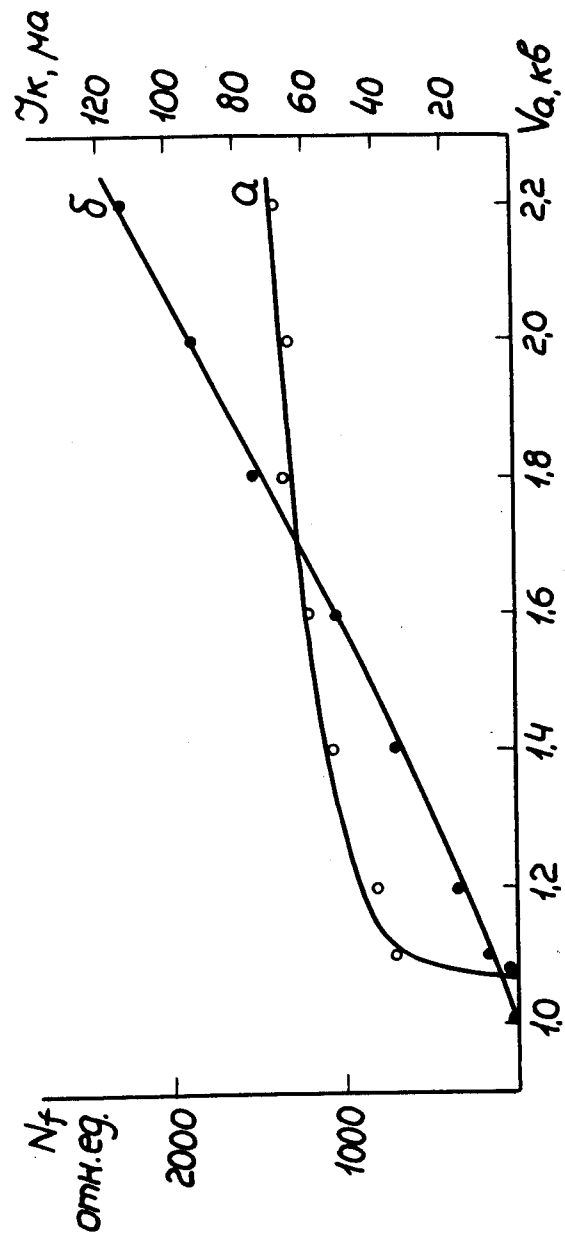


Рис.2. Счетная (а) и коронная (б) характеристики искрового счетчика, наполненного смесью He + 1,3% N<sub>2</sub> до давления 1 атм.

ствие коронного разряда эффективное разделение  $\alpha$ -частиц и осколков деления в сколько-нибудь значительной области напряжений было бы невозможным из-за быстрого изменения  $G$ .

Многими авторами /4,6/ отмечалось, что счетчик наиболее устойчиво работает с мишенями, имеющими большую  $\alpha$ -активность. Этот факт подтверждается и нашими наблюдениями. По-видимому, дополнительную стабилизацию работе счетчика придает ионизационный ток, обусловленный  $\alpha$ -частицами мишени.

Существенным преимуществом искрового счетчика является большая величина амплитуды импульса при малом фронте. Данные об амплитуде импульса на сопротивлении 100 ом в катоде счетчика (рис. 1) при наполнении его различными смесями газов приведены в таблице 1. Длительность импульса составляет доли микросекунды. Она определяется временем развития искрового разряда в счетчике и параметрами выходной цепи.

Конструкция используемого нами счетчика аналогична описанным в работах /4,5/. Основными элементами счетчика являются анод, выполненный в виде сетки из вольфрамовых нитей диаметром 0,1 мм, натянутых на металлическое кольцо, и плоский катод из меди с хорошо полированной и хромированной поверхностью. Выбор для электродов материалов с небольшой скоростью распыления препятствует разрушению их поверхности в искровом разряде. Межеlectродное расстояние составляет 2,0 мм, шаг сетки анода - 2,5-6 мм. Мишень располагается на расстоянии 3-4 мм от анода. Все элементы помещаются в вакуумную камеру, которая перед наполнением ее рабочим газом откачивается до давления  $\approx 10^{-2}$  мм рт.ст.

Материал электродов существенного влияния на работу счетчика не оказывает. Не было замечено изменений в работе счетчика при использовании вместо хромированного катода катодов из меди, алюминия,

Таблица I  
Эффективность регистрации осколков деления для различных смесей газов

Наполнение	Общее давление смеси мм рт.ст.	$\epsilon_f$ %	$\bar{V}_{сч}$ в	Амплитуда импульса в
He + 1,3% N <sub>2</sub>	765	17	1080	30
He + 0,5% Xe	765	17	750	35
He + 10% Xe	80	21	550	5
He + 45% N <sub>2</sub>	120	12	1360	72
N <sub>2</sub>	120	13,5	1625	100
N <sub>2</sub> + 25% He	120	13	1560	90
N <sub>2</sub> + 5% Xe	100	19	1340	80
N <sub>2</sub> + 4% Ar	100	13	1450	95

Таблица II  
Флуктуация разрешающего времени искрового счетчика для различных смесей газов

Наполнение	Общее давление смеси мм рт.ст.	$V_a$ в	$\tau_{\epsilon}^{(a)}$ нсек	$\tau_{\epsilon}^{(II)}$ нсек
He + 1,3% N <sub>2</sub>	765	1800	140	100
He + 0,5% Xe	765	1600	175	124
N <sub>2</sub>	300	3800	15	11
N <sub>2</sub> + 3,8% Xe	160	1600	40	28

луженого железа, а также при замене вольфрамовых нитей нихромовыми (вольфрам, однако, из-за большей его механической прочности является технологически более удобным материалом).

Шаг сетки анода существенно определяет эффективность регистрации осколков деления: при сокращении расстояния между нитями от 6 до 2,5 мм величина  $\epsilon$ , увеличивается в 2-2,3 раза. Это означает, что область вокруг нити анода, чувствительная к осколкам деления, невелика. Измерения показали, что осколок, пролетающий на расстоянии более 1,5 мм от центра нити, регистрируется по крайней мере в 100 раз менее эффективно, чем осколок, пролетающий рядом с нитью. При сильном сближении нитей электрическое поле в счетчике выравнивается, коронарный разряд затухает, уменьшается устойчивость работы и растет уровень фона. Минимальное расстояние между нитями, еще пригодное для нормальной работы счетчика, равно межэлектродному, или чуть больше.

Тот факт, что при сближении нитей до 2,5 мм величина  $\epsilon$ , не превышает 40-50%, указывает на зависимость ее от направления полета осколков относительно нити, что имеет место и при регистрации  $\alpha$ -частиц /9,10/.

Эффективности регистрации осколков деления и  $\alpha$ -частиц зависят от расстояния анод-мишень. Как показано в работе /3/, характер этих зависимостей совершенно аналогичен зависимостям удельных ионизационных потерь осколков деления и  $\alpha$ -частиц от остаточного пробега (кривым Брэгга). Так как кривые Брэгга для осколков и  $\alpha$ -частиц имеют существенно различный вид, приближение мишени к аноду увеличивает  $\epsilon$ , и снижает  $\epsilon_a$ , в конечном счете повышая степень дискриминации осколков деления от  $\alpha$ -частиц.

Снижение энергии осколков приводит к быстрому уменьшению эффективности их регистрации. Измерения, проведенные нами с коллими-

рованным источником  $^{235}\text{U}$ , показали, что при введении между мишенью и анодом алюминиевой фольги толщиной 4,65 мк (это соответствует потерям энергии 43% для легкого осколков и 36% - для тяжелого) эффективность регистрации уменьшается в 4 раза.

## 2. Эффективность регистрации осколков деления в различных смесях газов

Эффективность регистрации осколков деления и дискриминирующие свойства многонитевого искрового счетчика во многом определяются выбором рабочей смеси газов.

Первоначально для наполнения счетчика использовались воздух и смесь гелия с воздухом при атмосферном или пониженном давлении /2-4/. Однако в этих случаях работа счетчика неустойчива, эффективность регистрации осколков деления низка и зависит от влажности (в еще большей мере от влажности зависит эффективность регистрации  $\alpha$ -частиц), газ и электроды быстро портятся из-за образования озона и окиси азота, что приводит к быстрому изменению характеристик счетчика и при длительной работе требует непрерывной продувки газа через рабочий объем.

Указанные выше недостатки можно устранить /4,6/, наполняя счетчик  $\text{He}$  до атмосферного давления с небольшой добавкой  $\text{Xe}$  (0,5% по давлению).

Нами была проделана работа по расширению круга смесей газов, при наполнении которыми счетчик имеет высокую эффективность регистрации осколков деления, надежно дискриминирует осколки в интенсивных потоках  $\alpha$ -частиц (до  $10^9$ - $10^{10}$  1/сек), обнаруживает устойчивую работу при значительной ее продолжительности. С этой целью исследовалась работа счетчика при наполнении его  $\text{He}$ ,  $\text{Ne}$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{Kr}$ ,  $\text{Xe}$  и  $\text{N}_2$

и различными смесями этих газов как при атмосферном, так и при пониженном ( $\approx 100-200$  мм рт.ст.) давлении. В этих опытах межэлектродное расстояние составляло 2 мм, шаг сетки анода - 6 мм, расстояние от мишени до анода - 4 мм. Осколки рождались в результате деления  $^{235}\text{U}$  (8 мг) при бомбардировке его тепловыми нейтронами, полученными на нейтронном генераторе НГ-200. Абсолютная величина эффективности регистрации осколков деления оценивалась с помощью слюд; в этих случаях слюда располагалась на месте катода.

Оказалось, что чистые инертные газы не пригодны к использованию в счетчике: одновременно с зажиганием короны возникают разряды, не зависящие от внешней ионизации. Исключение составляет технический аргон при пониженном давлении. Однако здесь удовлетворительная работа счетчика может быть обусловлена небольшими примесями азота.

Попытки использовать для наполнения смеси газов на основе Ne, Ar, Kr как при атмосферном, так и при пониженном давлении также не привели к положительным результатам. Счетные характеристики в этих случаях (рис. 3) резко растут, почти не обнаруживая плато, осколки деления от  $\alpha$ -частиц могут быть дискриминированы лишь в небольшой области напряжений  $V_a$  и степень этой дискриминации ( $\epsilon_f/\epsilon_d$ ) невелика.

Для всех рабочих газов замечено отрицательное влияние органической добавки  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  (пары спирта). Рабочий газ и электроды счетчика быстро портятся в результате "диссоциации" молекул спирта и дальнейших химических реакций в искровом разряде.

Наилучшим образом счетчик работает при наполнении его Ne и  $\text{N}_2$  с добавлением небольших количеств некоторых примесей. Результаты этих исследований представлены в таблице 1. Здесь для различных смесей газов (процент добавки определен по давлению) приводятся эффек-

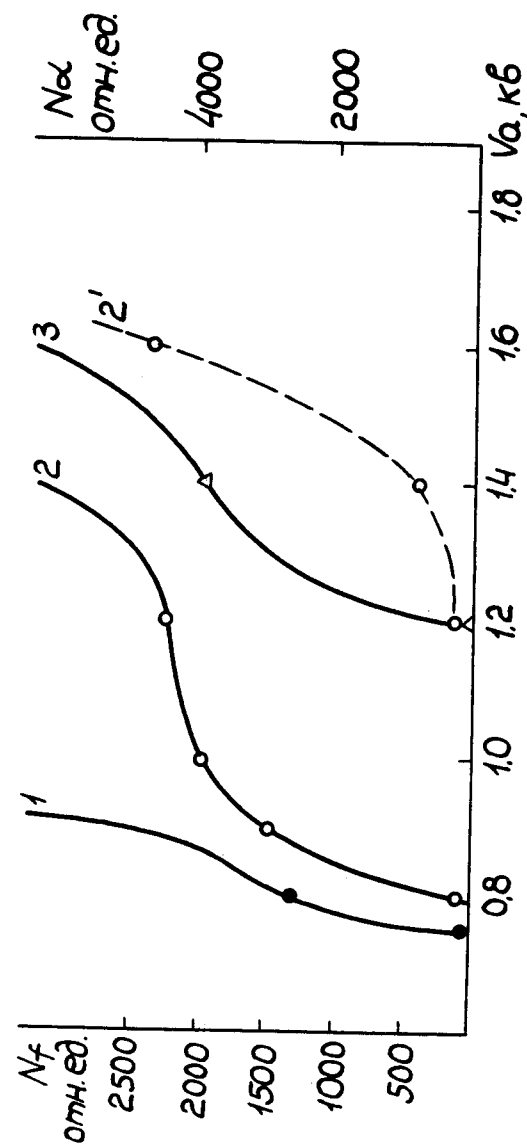


Рис. 3. Счетные характеристики искрового счетчика для наполнений Ne+Ar и Ar+Xe. Общее давление смеси 1 атм. Пунктирная кривая относится к  $\alpha$ -частицам. 1. Ne + 0,3% Ar + 2,2% Ne + 0,03% Ar + 0,5% Xe. 3. Ar + 0,5% Xe.



тивности регистрации осколков деления  $\epsilon_f$ , средние (на плато) значения напряжений на электродах счетчика  $\bar{V}_{сч}$ , в качестве иллюстрации указаны амплитуды импульсов на сопротивлении 100 ом в катоде счетчика. Следует заметить, что при использовании сетки анода с шагом 2,5-3 мм (вместо 6 мм) приведенные эффективности будут выше в среднем в 2-2,3 раза.

Как видно из таблицы, имеется достаточно большое число смесей газов, при наполнении которыми счетчик обнаруживает хорошую эффективность регистрации осколков деления, надежно дискриминирует  $\alpha$ -частицы от осколков деления. Типичные для этих наполнений счетные характеристики приведены на рис. 2 и 4 (уровень счета осколков деления  $N_f = 1000$  отн. ед. соответствует  $\epsilon_f \approx 13\%$ ). Некоторые из наполнений ( $\text{He} + 1,3\% \text{N}_2$ ,  $\text{He} + 0,5\% \text{Xe}$ ) проверены при использовании мишени  $^{241}\text{Am}$   $\alpha$ -активностью  $\approx 2 \cdot 10^8$  1/сек. При этом оценки величины  $\epsilon_f/\epsilon_\alpha$  дают  $\approx 10^{12}$ .

Для каждой смеси газов существует оптимальная величина парциального давления добавки, при которой достигается наибольшее отношение  $\epsilon_f/\epsilon_\alpha$  при достаточно большой  $\epsilon_f$  и максимальная устойчивость работы счетчика (эти значения парциального давления добавок приведены в таблице 1). Парциальное давление добавки в гораздо большей степени влияет на эффективность регистрации  $\alpha$ -частиц, чем на эффективность регистрации осколков деления. Оптимальная величина парциального давления добавки зависит от общего давления смеси и растет с понижением последнего. При уменьшении общего давления смеси ниже 50-70 мм рт. ст. эффективность регистрации осколков деления становится крайне низкой.

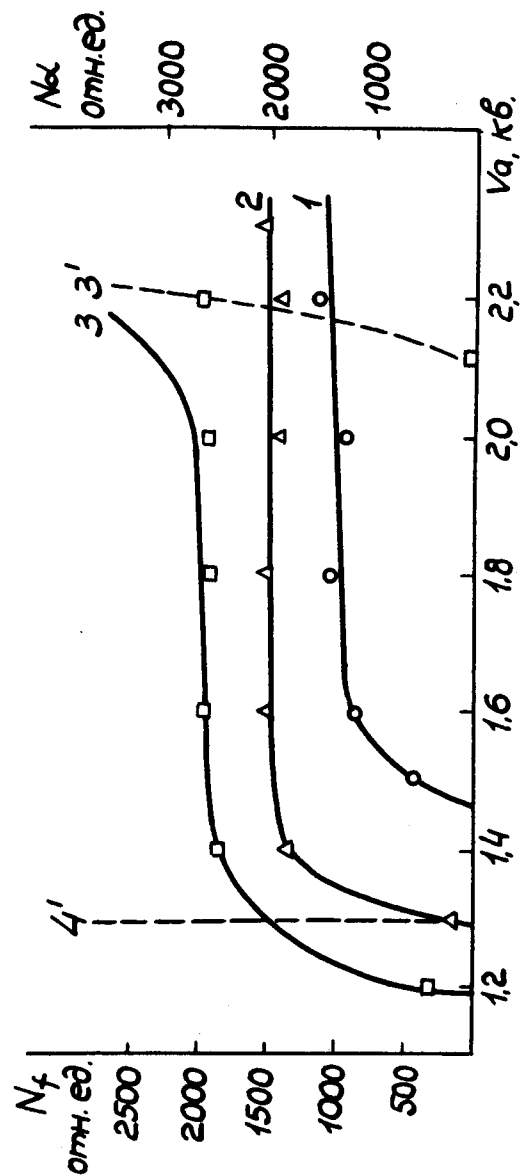


Рис. 4. Счетные характеристики для различных концентраций Хе в  $\text{N}_2$ . Общее давление смеси 100 мм рт.ст. Пунктирные кривые относятся к  $\alpha$ -частицам. 1.  $\text{N}_2 + 5\% \text{Xe}$ , 3,3'  $\text{N}_2 + 10\% \text{Xe}$ , 4'.  $\text{N}_2 + 20\% \text{Xe}$ .

### 3. Временные свойства многонитового искрового счетчика

Одним из недостатков искрового счетчика является большое мертвое время (сотни микросекунд). При данной схеме включения (рис. 1) мертвое время определяется постоянной времени  $\tau = RC_{сч}$  ( $C_{сч}$  — емкость счетчика, десятки пф), с которой нарастает напряжение на электродах счетчика ( $V_{сч}$ ) после пробоя. Уменьшение сопротивления  $R$  приводит к ухудшению счетных характеристик (укорачивается плато и увеличивается его наклон) и переходу разряда в самостоятельный. Используя более сложную схему гашения, можно было бы уменьшить время восстановления напряжения  $V_{сч}$ , однако прежде необходимо выяснить, чем ограничивается его минимальная величина.

Более принципиальное ограничение на мертвое время накладывает механизм работы самого искрового промежутка. Чтобы не произошел повторный пробой, напряжение на электродах не должно восстанавливаться быстрее, чем плотность носителей в канале искры после предыдущего пробоя успеет снизиться ниже критической. Принудительно меняя постоянную времени зарядки емкости счетчика, мы установили, что плотность носителей уменьшается до критической за время порядка 30 мксек (при наполнении счетчика смесью  $Ne + 1,3\% N_2$  до общего атмосферного давления). Эта величина и определяет нижний предел мертвого времени многонитового искрового счетчика.

Важной характеристикой искрового счетчика является его разрешающее время, т.е. время запаздывания разряда по отношению к моменту прохождения осколка деления. Это запаздывание по своей природе является статистическим, поэтому представляет большой интерес измерить его флуктуацию (среднее квадратичное отклонение  $\sigma_t^{(1)}$ ).

С этой целью нами измерялась относительная задержка импульсов, возникающих при регистрации двух осколков одного акта деления в двух идентичных искровых счетчиках. Импульсы с искровых счетчиков посту-

пали на вход широкодиапазонного время-амплитудного конвертора /11/. В промежутке между счетчиками помешалась тонкая мишень из  $^{238}U$ . Делящееся вещество было нанесено на алюминиевую подложку толщиной 3 мк. Блок-схема электроники, использовавшейся в этих измерениях, представлена на рис. 5. Выбранный вариант питания практически исключал взаимное влияние искровых счетчиков друг на друга.

Результаты измерений представлены в таблице 2 (здесь  $\sigma_t^{(2)}$  — полуширина распределения относительной задержки импульсов, а  $\sigma_t^{(1)} = \sigma_t^{(2)}/\sqrt{2}$  — средняя квадратичная флуктуация разрешающего времени). Пример кривой распределения относительной задержки импульсов приводится на рис. 6.

Видно, что разрешающее время многонитового искрового счетчика сильно зависит от природы и давления наполняющей счетчик смеси газов. Однако влияние на разрешающее время этих двух факторов в отдельности пока остается неясным. Наш результат для азота хорошо согласуется с данными работы /5/. В работе /12/ аналогичным методом для счетчика, наполненного воздухом до давления 1 атм, получено  $\sigma_t^{(1)} \approx 150$  нсек.

Описанный выше искровой счетчик осколков деления успешно использовался для исследования свойств спонтанно делящихся изомеров, образующихся в реакциях с нейтронами /13/,  $\gamma$ -квантами /14/ и быстрыми протонами.

Авторы выражают благодарность академику Г.Н. Флерову за постоянный интерес к работе. Авторы благодарят также С.М. Поликанова, Ю.В. Рябова, Со Дон Сик и Т. Надь за полезные обсуждения, А.Г. Белова и А.М. Кучера — за помощь в работе.

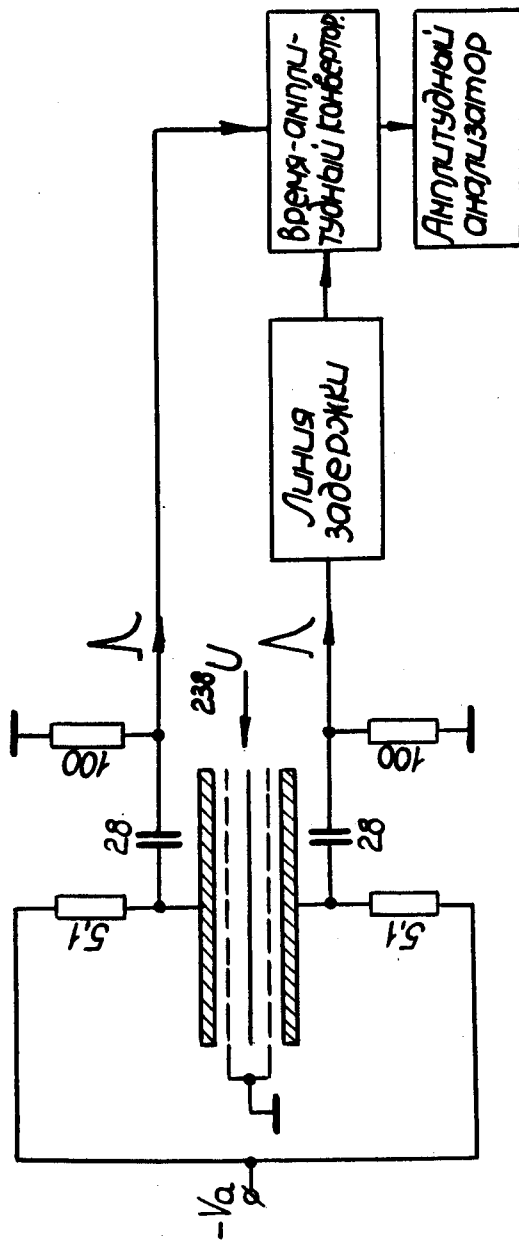


Рис.5. Блок-схема электроники для измерения разрешающего времени искрового счетчика.

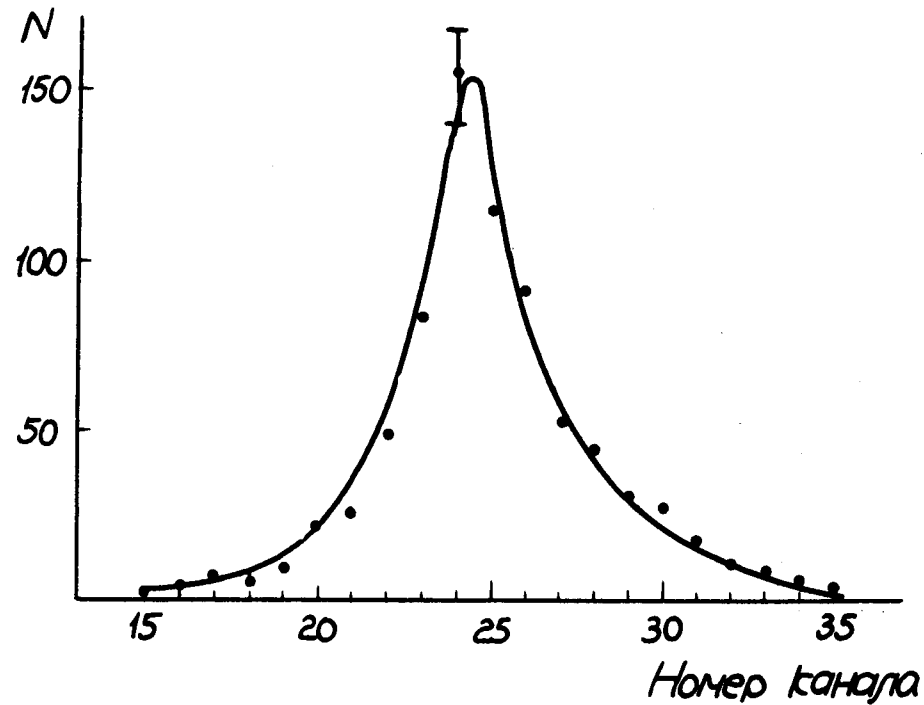


Рис.6. Кривая распределения относительной задержки импульсов искровых счетчиков, наполненных  $N_2$  до давления 300 мм рт.ст. (цена деления канала 4,3 нсек,  $V_a = 3800$  в).

## Л и т е р а т у р а

1. W.V.Chang, S.Rosenblum. Phys. Rev., 67, 222 (1945).
2. M.P.Savel. Comp. Rend. Acad. Sci., 235, 156 (1952).
3. C.D.Bowman, R.W.Hill. Nucl. Instr. and Meth., 24, 213 (1963).
4. В.Ф. Герасимов. ПТЭ, №6, 78 (1966).
5. E.Migneco, J.P.Theobald and M.Merla. Preprint EUR4077e, Luxembourg, 1968.
6. Ю.В. Рябов, Со Дон Сик. Препринт ОИЯИ, РЗ-3957, Дубна 1968.
7. H.J.Belitz. Atomkernenergie, 8, 17 (1963).
8. Г. Петер. Электронные лавины и пробой в газах. "Мир", М., 1968.
9. Е. Андреешев, Б.М. Исаев. ЖЭТФ, 28, 335 (1955).
10. S. Sáro, V.Srkalová. Nucl. Instr. and Meth., 56, 254 (1967).
11. Ю.Г. Будяшов, В.Г. Зинов. ПТЭ, №4, 102 (1968).
12. L.Marinescu, M.Petrascu, G.Voiculescu. Nucl. Instr. and Meth., 54, 327 (1967).
13. Ю.П. Гангрский, К.А. Гаврилов, Б.Н. Марков, Нгуен Конг Кхань, С.М. Поликанов. Препринт ОИЯИ Д7-4154, Дубна 1968.
14. Ю.П. Гангрский, Б.Н. Марков, Ю.М. Ципенюк.  
Препринт ОИЯИ Р15-4552, Дубна 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел  
20 июня 1969 года.