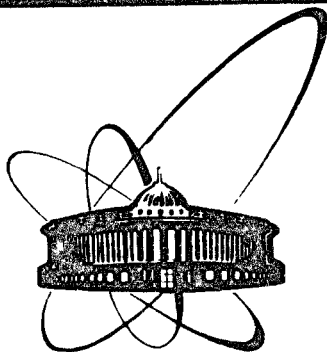


82-812



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

426 / 83

P13-82-812

4/2-83

Д.А.Абдушукуров, Ю.В.Заневский, С.А.Мовчан,
Т.Нетушил, В.Д.Пешехонов, Л.А.Смыков

МНОГОПРОВОЛОЧНАЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ
КАМЕРА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ
С ВЫСОКИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ
ГАЗОВОГО УСИЛЕНИЯ

Направлено в журнал "Приборы и техника
эксперимента"

1982

ВВЕДЕНИЕ

Способность многопроволочных пропорциональных камер /МПК/, работающих при низком давлении газового наполнения, регистрировать сильно ионизирующие частицы с хорошим пространственным и временным разрешением значительно расширяет область применения этих детекторов. Было показано ранее, что при регистрации α -частиц с энергией около 5 МэВ камерой, заполненной парами углеводородов при давлении в несколько десятков Тор, величина пространственного разрешения σ составляет 40 мкм^{1/2}. С уменьшением давления паров углеводородов до единиц Тор временное разрешение камер достигает значения $0,8 \div 3$ нс (FWHM)^{2,3/4}. Однако в результате уменьшения в детекторе количества вещества, ионизируемого частицами, происходит ослабление величин регистрируемых сигналов. Это накладывает некоторые ограничения на точность определения координат регистрируемых частиц. В статье рассмотрены некоторые возможности увеличения собственного газового усиления позиционно-чувствительного детектора низкого давления:

ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ КАМЕРА

Многопроволочная пропорциональная камера является стандартной по конструкции и имеет рабочую площадь 230x180 мм². Межэлектродное расстояние (l) составляет 4 мм. Анодная плоскость намотана проволокой диаметром 0,02 мм с шагом s , равным 2 мм. Все анодные проволоки объединены общей шиной, с которой снимаются анодные сигналы. Катодные электроды намотаны ортогонально проволокой диаметром 0,05 мм с шагом 1 мм. Координатная информация снимается с катодов камеры при помощи линий задержки. Волновое сопротивление линий - около 300 Ом, величина погонной задержки - 1,8 нс/мм. Высоковольтное напряжение подается на анод камеры, катоды находятся под нулевым потенциалом. На расстоянии 4 мм от каждой катодной плоскости установлено по дополнительному проволочному электроду С.

Сигналы с анодной плоскости, а также с X-координатной и Y-координатной линий задержки поступали на входы линейных усилителей. Использовались дифференциальные усилители с коэффициентом усиления по напряжению 300 и с уровнем шумов, приведенным ко входу, ~ 15 мкВ. Усиленные сигналы поступали на дискриминаторы нуля с порогом 40 мВ. Сигналы с дискриминаторов передавались в блоки регистрирующей аппаратуры.

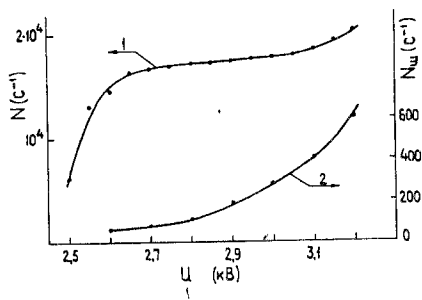


Рис.1. Счетная характеристика /кривая 1/ и собственные шумы МПК /кривая 2/ в зависимости от величины анодного напряжения. Газовая смесь детектора находится при атмосферном давлении.

Работа МПК проверялась при нормальных условиях с помощью источника ^{65}Fe /энергия гамма-квантов - 5,9 кэВ/. Рабочим газом являлась смесь аргона с метаном /20% и этиловым спиртом /3%/. Для исключения возможности прохождения в чувствительный объем МПК электронов, образованных между катодами и металлическими стенками бокса, в котором размещался детектор, на внешние электроды подавалось напряжение $U_0 = +150 \text{ В}^{1/4}$. На рис.1 приведена счетная характеристика и показано количество собственных шумов МПК в зависимости от величины анодного напряжения. Видно, что камера обладает малым уровнем собственных шумов при достаточно большом плато счетной характеристики по анодным сигналам. Величина плато - около 450 вольт.

Исследование характеристик детектора при низком давлении рабочего газа осуществлялось в диапазоне $1 \div 100 \text{ Тор}$. Герметичный бокс с размещенным в нем детектором продувался парами изобутана. Использовался коллимированный альфа-источник ^{210}Po , положение которого можно было изменять, не вскрывая бокс.

АМПЛИТУДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МПК НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Как следует из работы ^{5/}, в МПК электрическое поле для точек, удаленных от анодных проволок камеры на расстояние больше $0,1 \cdot s$, можно считать однородным. Величина максимальных значений напряженности этого поля E_0/p , достигаемого в нашей МПК при различном давлении изобутана, показана на рис.2 /кривая 1/. Величина напряженности поля у поверхности анодных проволок E_a/p представлена кривой 2 этого же рисунка. В работе ^{6/} показано, что при напряженности однородного электрического поля $E_0/p > 100 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{Тор}^{-1}$ в МПК низкого давления имеет место двойной механизм газового усиления. Полный коэффициент газового усиления пропорциональной камеры M_K определяется усилением вблизи анодных проволок M_a и усилением в однородном электрическом поле M_0 , т.е. $M_K = M_0 \cdot M_a$. В нашем случае /рис.2/ величина E_0/p достигает значения $300 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{Тор}^{-1}$, а E_a/p - значения $2 \cdot 10^4 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{Тор}^{-1}$.

С помощью α -частиц с энергией 5,2 МэВ нами измерялись анодные счетные характеристики при различном давлении изобутана. Приведенные на рис.3 результирующие зависимости определяют ве-

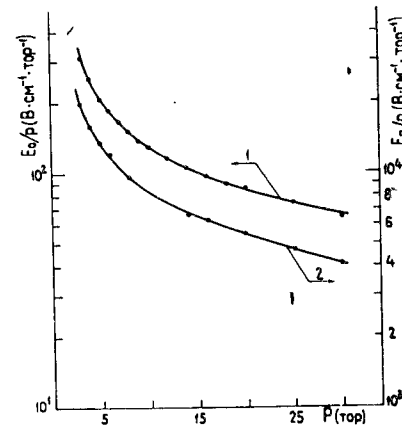


Рис.2. Максимальное значение напряженности в области однородного электрического поля /кривая 1/ и у поверхности анодных проволок /кривая 2/ в зависимости от давления изобутана.

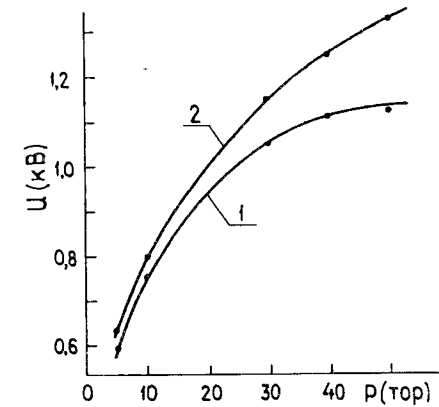


Рис.3. Зависимости, определяющие величину анодного напряжения МПК для начала /кривая 1/ и конца /кривая 2/ плато счетных характеристик при различном давлении изобутана.

личины анодного напряжения, соответствующего началу /кривая 1/ и концу /кривая 2/ плато счетных характеристик при различном давлении паров изобутана. Напряжение, подаваемое на анод камеры и соответствующее концу плато счетных характеристик, имеет величину U_0 . Максимальные значения напряжений U_0 были примерно на 2% ниже величин пробойных напряжений для соответствующего давления газа. Видно, что плато счетных характеристик при давлении ниже 20 Тор весьма мало.

На рис.4 приведена зависимость максимальных амплитуд анодных сигналов МПК в зависимости от давления. Как и в работе ^{6/}, камера имеет максимальное усиление при давлении изобутана около 5 Тор. Амплитуды сигналов на выходе анодного и катодных уси-

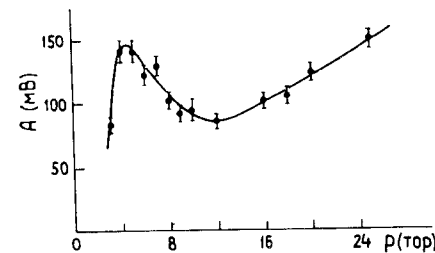


Рис.4. Зависимость величины максимальных анодных сигналов от давления изобутана в камере. Измеряются сигналы на выходе усилителя.

лителей, однако, менее 150 мВ, что недостаточно для получения высокой точности при координатных измерениях. Отметим, что величина ионизационных потерь альфа-частиц с энергией 5,2 МэВ в МПК, имеющей расстояние между катодами 8 мм и заполненной изобутаном при давлении 5 Тор, составляет примерно 14 кэВ. При всех этих измерениях к электродам С прикладывался положительный потенциал, величина которого была близка к нулю, газовые промежутки между дополнительными электродами и катодами поэтому не оказывали влияния на величину регистрируемых сигналов.

МЕХАНИЗМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ГАЗОВОГО УСИЛЕНИЯ

В однородном электрическом поле при напряженности $E/p > 100 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1} \text{ Тор}^{-1}$ имеет место, как было показано выше, ионизация углеводородных газов в результате электронных соударений. При создании достаточно высокой напряженности электрического поля в газовом промежутке между дополнительным электродом С и катодом пропорциональной камеры полный коэффициент газового усиления детектора определяется как $M = k \cdot M_c \cdot M_k$, где $M_k = M_0 \cdot M_a$ - усиление пропорциональной камеры, а M_c - усиление в дополнительном промежутке. Коэффициент k характеризует прозрачность катодного электрода, величина его близка к 1.

На рис.5 приведены анодные счетные характеристики детектора в зависимости от величины анодного напряжения МПК. Давление изобутана - 5 Тор, напряжение на первом дополнительном электроде равно -150, -250, -350 и -400 вольт /кривые 1÷4 соответственно/. Второй дополнительный электрод при этих измерениях и в дальнейшем находился под нулевым потенциалом. Видно, что плато

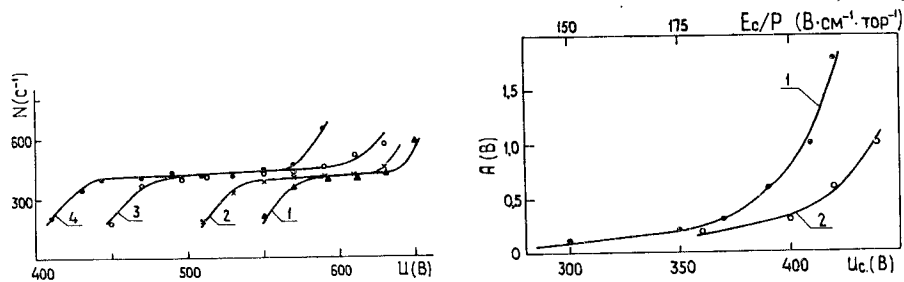


Рис.5. Счетные характеристики детектора в зависимости от анодного напряжения МПК для различных значений напряженности электрического поля E/p между дополнительным электродом и катодом. Для кривых 1÷4 величина E_c/p - соответственно 75, 125, 175 и 200 $\text{В} \cdot \text{см}^{-1} \text{ Тор}^{-1}$.

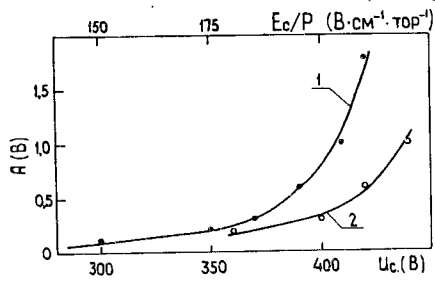


Рис.6. Зависимость амплитуд катодных сигналов детектора от величины E_c/p . Кривая 1 - анодное напряжение МПК равно 530 вольт, кривая 2 - анодное напряжение составляет 500 вольт. $P = 5 \text{ Тор}$ изобутана.

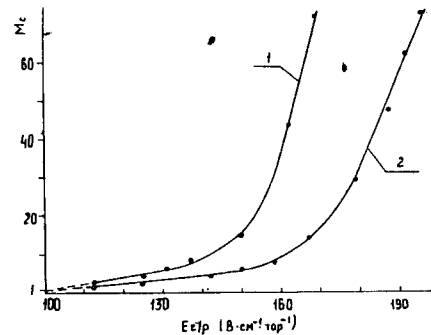
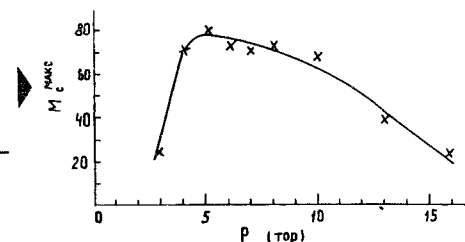


Рис.7. Коэффициент газового усиления, получаемого в промежутке дополнительного усиления, в зависимости от напряженности поля E_c/p . Кривая 1 получена при $P=8 \text{ Тор}$ и анодном напряжении МПК, равном 650 вольт; кривая 2 - при $P=6 \text{ Тор}$ и анодном напряжении 600 вольт.

Рис.8. Максимальное значение коэффициента дополнительного усиления, которое можно получить в изобутане при различном давлении. Величина зазора промежутка дополнительного усиления - 4 мм.



счетной характеристики удастся значительно расширить /см. рис.3/. При этом существенно возрастает диапазон амплитуд регистрируемых сигналов. На рис.6 показаны, например, зависимости величины катодных сигналов от напряжения на дополнительном электроде для различных значений анодного напряжения. Давление паров изобутана равно 5 Тор. Сравнение рис.4 и рис.6 показывает, что введение дополнительного усиливающего газового промежутка при этом давлении позволяет существенно повысить амплитуды регистрируемых сигналов. Следует отметить, что при давлении 1 Тор полученная максимальная величина сигнала на выходе усилителя составила около 0,4 вольта. Зависимость коэффициента газового усиления M_c от величины напряженности электрического поля в промежутке дополнительного усиления показана на рис.7. При этих измерениях величина k принималась за 1.

Для случая равномерной первичной ионизации вдоль трека регистрируемой частицы, проходящей через детектор под углом $\beta=0^\circ / \beta$ - угол между треком частицы и нормалью к плоскостям электродов детектора/, коэффициент газового усиления в однородном электрическом поле определяется выражением

$$M_c = \frac{e^{a\ell} - 1}{a\ell}$$

Здесь ℓ - ширина газового промежутка, равная в нашем случае 4 мм, а a - первый коэффициент Таусенда. По результатам, приве-

денным на рис.7, можно определить, что величина α достигает значения 18. Таким образом, в изобутане при напряженности поля около $190 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}\cdot\text{Тор}^{-1}$ $\alpha/p \approx 3$.

Характер зависимости максимальной величины коэффициента усиления M_c от давления изобутана показан на рис.8. Видно, что введение промежутка дополнительного усиления эффективно при давлении $4 \div 10 \text{ Тор}$. Наибольший коэффициент усиления достигается при давлении 5 Тор и близок к 100.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ И ВРЕМЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ ДЕТЕКТОРА

Пространственное разрешение детектора σ_D определялось при помощи коллимированного альфа-источника. Использовался коллиматор со щелью 200 мкм и высотой 15 мкм, расположенный на расстоянии 5 мм от первого дополнительного электрода. При этом профиль пучка альфа-частиц характеризовался величиной $\sigma = 150 \text{ мкм}$. Измерение проводилось при давлении 6 Тор. Напряжение на переднем электроде С составляло: $U_{c1} = -410$ вольт, второй дополнительный электрод был заземлен. Анодное напряжение МПК было равно 590 В.

Проводились координатные измерения при $\beta = 30^\circ$ для различных режимов работы детектора. Полученные с помощью амплитудного анализатора координатные распределения приведены на рис.9. Распределение /а/ отвечает случаю, когда в переднем дополнительном промежутке осуществляется усиление, а второй дополнительный электрод заземлен. Распределение /b/- передний дополнительный электрод заземлен, во втором дополнительном промежутке осуществляется усиление. Распределение /с/ - оба дополнительных электрода заземлены. Пространственное разрешение детектора при этом ухудшается из-за понижения амплитуды регистрируемых сигналов. Расстояние между центрами распределений /а/ и /b/ равно 9 мм, что

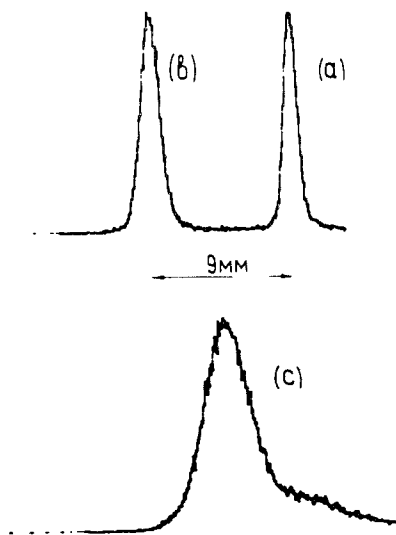


Рис.9. Профиль коллимированного источника альфа-частиц, полученный при трех режимах работы детектора. Угол входа частиц в детектор равен 30° . Давление изобутана - 6 Тор. Распределение /а/ - $U_{c1} = 410$ вольт, $U_{c2} = 0$; /b/ - $U_{c1} = 0$, $U_{c2} = 360$ вольт; /с/ - $U_{c1} = U_{c2} = 0$.

совпадает со значением $\Delta x = 4l \cdot \text{tg} \beta$ с хорошей точностью. Таким образом, видно, что с дополнительным усиливающим промежутком детектор обладает "фокусирующим" свойством, т.е. регистрируется координата пересечения частицами дополнительного электрода.

С помощью двух тождественных детекторов, размещенных в едином газовом объеме, было проверено собственное временное разрешение детектора при давлении 6 Тор. Полная ширина на полувысоте общего распределения составила 4,5 нс, откуда следует, что собственное временное разрешение детектора лучше чем 3,2 нс (FWHM). При этом не учитывался вклад в эту величину, даваемый электронной аппаратурой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что МПК, заполненные парами изобутана при давлении до 10 Тор, могут успешно регистрировать сильноионизирующие частицы, величина ионизационных потерь которых в детекторе превышает 4 кэВ. Подтверждено, что в МПК при таких давлениях /как было показано ранее в работе /8/ /происходит дополнительное усиление в однородном электрическом поле.

Для увеличения амплитуд регистрируемых сигналов, повышения надежности и стабильности работы детектора предложено использовать дополнительный усиливающий газовый промежуток. При этом газовое усиление может быть увеличено практически на 2 порядка.

Величина пространственного разрешения детектора $0,1 \div 0,2 \text{ мм}$ при временном разрешении лучше чем 3,2 нс.

В заключение авторы благодарят Н.П.Волкова, Ю.Г.Федулова, М.Н.Михайлову за помощь в изготовлении детектора, а также Л.Моучку за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Golovatyuk V.M. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1977, 145, p. 437.
2. Binon F. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1971, 94, p. 27.
3. Breskin A. Nucl.Instr. and Meth., 1977, 141, p. 505.
4. Anisimov Yu.S. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1980, 176, p. 67.
5. Erskine G.A. Nucl.Instr. and Meth., 1972, 105, p. 565.
6. Möller G., Presser G., Stähler J. Nucl.Instr. and Meth., 1981, 187, p. 605.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 декабря 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

D13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
D17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
D6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
D3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
D13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
D1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
D1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 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.

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

Абдушукуров Д.А. и др. P13-82-812
Многопроволочная пропорциональная камера низкого давления с высоким коэффициентом газового усиления

Приведены характеристики многопроволочной пропорциональной камеры низкого давления. В качестве рабочего газа используется изобутан при давлении $1 \div 100$ Тор. Показано, что при создании дополнительного газового промежутка с однородным электрическим полем в нем газовое усиление детектора может быть увеличено на 2 порядка. Показано, что детектор обладает пространственным разрешением $0,1 \div 0,2$ мм при временном разрешении, лучшем чем 3 нс.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Abdushukurov D.A. et al. P13-82-812
Multiwire Proportional Low-Pressure Chamber with a High Gas Amplification Coefficient

Characteristics of a multiwire proportional low-pressure chamber are presented. Isobutane under 1-100 torr pressure is used as a working gas. An additional gaseous gap with homogeneous electric field allows one to increase a gas amplification of the detector by two orders. It is shown that the space resolution of the detector is 0-0.2 mm at a time resolution better than 3 ns.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.