

P13-2004-143

В. М. Луценко, В. В. Мялковский, В. Д. Пешехонов

ВРЕМЯАМПЛИТУДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ТОНКОСТЕННЫХ ДРЕЙФОВЫХ ТРУБОК (СТРОУ)
ДЛЯ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ArCO_2
С ДОБАВКАМИ CF_4 И O_2

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

Луценко В. М., Мялковский В. В., Пешехонов В. Д.
Времяамплитудные характеристики тонкостенных
дрейфовых трубок (строу) для газовых смесей ArCO_2
с добавками CF_4 и O_2

P13-2004-143

Приведены результаты исследований времяамплитудных характеристик тонкостенных дрейфовых трубок (строу) различного диаметра для газовых смесей ArCO_2 с добавками CF_4 и O_2 . Показано существенное уменьшение времени чувствительности строу при добавке CF_4 , особенно с увеличением диаметра строу. Добавка O_2 незначительно влияет на временные параметры строу. Добавки CF_4 или O_2 , обладающие так называемыми чистящими свойствами, представляют интерес для оптимизации параметров детекторов с малым временем чувствительности в условиях высоких нагрузок.

Работа выполнена в Лаборатории физики частиц ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2004

Перевод авторов

Lutsenko V. M., Mialkovski V. V., Peshekhonov V. D.
Time-Amplitude Characteristics of Thin-Walled Drift Tubes
(Straw) for Gas Mixtures ArCO_2 with Additives CF_4 and O_2

P13-2004-143

Results of researches of time-amplitude characteristics of thin-walled drift tubes (straws) of various diameter for gas mixtures ArCO_2 with additives CF_4 and O_2 are described. Essential time of sensitivity reduction for additive CF_4 for straws is shown, especially with increase of their diameter. Additive O_2 influences time parameters of straws insignificantly. Additive CF_4 or O_2 , possessing the so-called cleaning properties, is of interest for detectors with small sensitivity time in conditions of high loadings.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2004

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в экспериментах на ускорителях все шире применяются детекторы на основе тонкостенных дрейфовых трубок (строу) как для получения трековой информации о заряженных частицах, так и для идентификации электронов и пионов. В зависимости от целей и задач конкретного эксперимента необходима оптимизация времяамплитудных параметров детекторов, определяемых в значительной мере их газовым наполнением.

Целью данной работы является изучение влияния на эти характеристики добавок CF_4 и O_2 в газовую смесь ArCO_2 для строу различного диаметра, используемых, в частности, в создаваемой установке эксперимента ATLAS [1] на LHC и в действующем спектрометре COMPASS [2] на SPS в ЦЕРН.

1. УСТАНОВКА

Исследования времяамплитудных характеристик строу различного диаметра проводились с использованием источников β -электронов ^{106}Ru и γ -квантов ^{55}Fe . В первом случае с помощью сцинтилляционных счетчиков отбирались срабатывания строу от быстрых β -электронов. Для измерений применялись строу диаметром 4, 6, 9,56 и 15 мм, изготовленные тождественным способом из каптоновой пленки [3]. Толщина стенок строу была около 70 мкм. В качестве анода использовалась золоченая вольфрамовая проволока диаметром 30 мкм. Сигналы считывались с анодов исследуемых строу быстрым токовым усилителем с входным сопротивлением 300 Ом. Порог чувствительности регистрирующей электроники соответствовал 750 эВ.

На рис.1 приведена схема экспериментальной установки. Исследуемый прототип содержит слой склеенных между собой разных строу — по две строу каждого диаметра. Анодные проволоки каждой строу находятся в единой горизонтальной плоскости. Все строу продуваются со скоростью 10 л/ч газовой смесью, поступающей в общий для них газовый коллектор. Прототип размещен над сцинтилляционными счетчиками, задающими стартовые сигналы при временных измерениях. Над счетчиками установлен стеклотекстолитовый поглотитель с целью обрезания медленной составляющей пучка β -электронов. Для облучения строу при измерении временных характеристик был изготовлен специальный щелевой коллиматор из свинца, обеспечивающий в плоскости анодных проволок ширину пучка по основанию около 800 мкм. Специальное устройство с микрометрическим винтом обеспечивало перемещение коллиматора с точностью позиционирования центра его щели, расположенной параллельно анодной проволоке, не хуже 50 мкм.

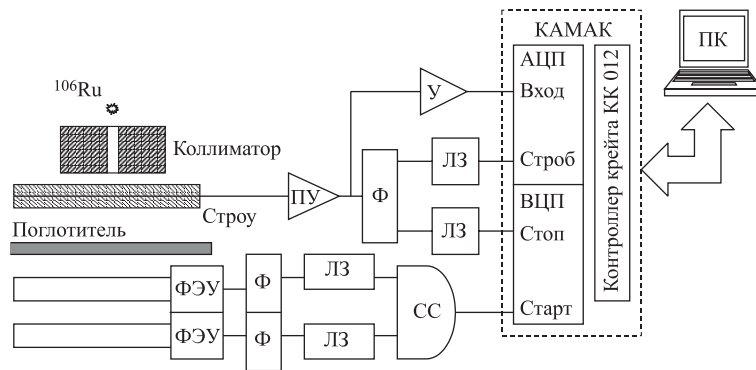


Рис. 1. Блок-схема установки: ПУ — предварительный усилитель; У — усилитель; Ф — формирователь; ЛЗ — линия задержки; СС — схема совпадений

Использовалась считывающая электроника в стандарте КАМАК; получаемые данные поступали на персональный компьютер через контроллер крейта КК 012.

2. АМПЛИТУДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Амплитудные спектры источника γ -квантов ^{55}Fe (5,9 кэВ) на исследуемых строу измерялись при равномерном облучении их по диаметру. Величина

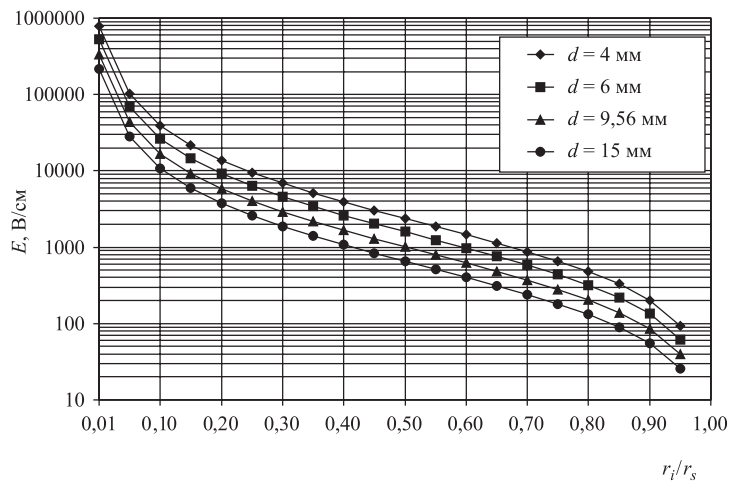


Рис. 2. Значения напряженности электрического поля вдоль радиуса строу диаметром 4, 6, 9,56 и 15 мм для газовой смеси AgCO_2 (70/30). Значения анодного напряжения соответствуют $G = 1,4 \cdot 10^4$ для каждой строу

анодного напряжения исследуемых строу при всех этих измерениях соответствовала газовому усилению $G = 1,4 \cdot 10^4$.

На рис. 2 показаны расчетные значения напряженности электрического поля E в зависимости от расстояния r_i для исследуемых строу с радиусом r_s :

$$E = (1/r_i)V(1 - \ln(r_i/r_a)/\ln(r_s/r_a)),$$

где V — анодное напряжение строу, r_a — радиус анодной проволоки. Видно, что с увеличением диаметра строу для обеспечения одинакового значения величины газового усиления необходимо некоторое увеличение напряженности электрического поля. Кроме того, с возрастанием диаметра строу увеличивается область низкой напряженности. Так, для строу диаметром 4 мм напряженность поля менее 100 В/см имеет место вблизи поверхности катода на расстоянии менее 3% радиуса строу. Для строу диаметром 15 мм область напряженности поля менее 100 В/см увеличивается до 15% радиуса.

На рис. 3–6 приведены амплитудные спектры источника γ -квантов ^{55}Fe (5,9 кэВ) для строу диаметром 4, 6, 9,56 и 15 мм при продуве их газовой сме-

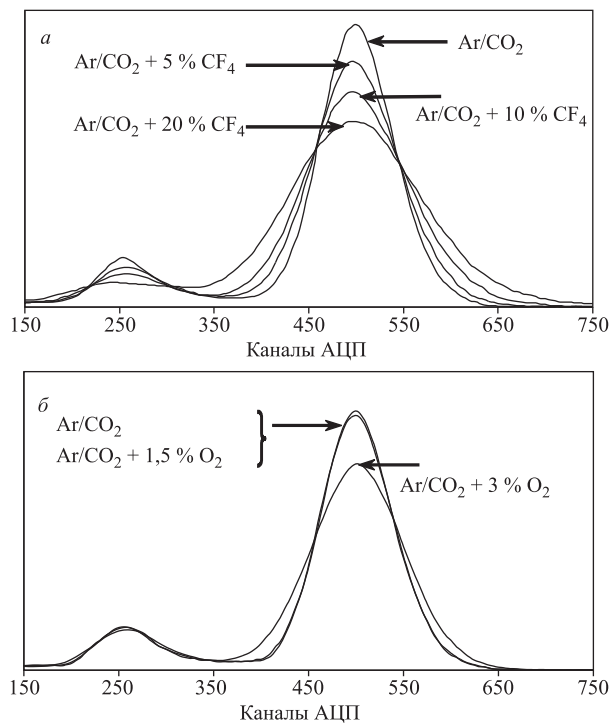


Рис. 3. Амплитудный спектр строу диаметром 4 мм при регистрации γ -квантов с энергией 5,9 кэВ. Газовая смесь ArCO_2 с добавками CF_4 (а) и O_2 (б), $G = 1,4 \cdot 10^4$

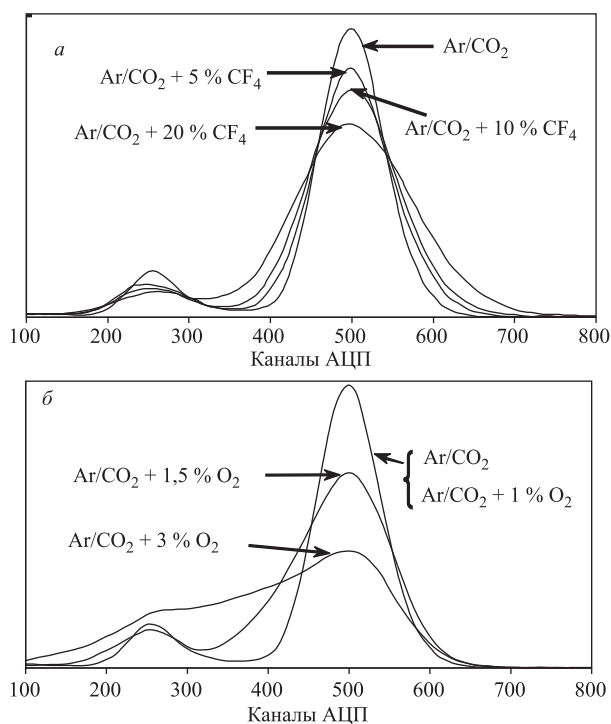


Рис. 4. Амплитудный спектр строу диаметром 6 мм при регистрации γ -квантов с энергией 5,9 кэВ. Газовая смесь ArCO_2 с добавками CF_4 (а) и O_2 (б), $G = 1,4 \cdot 10^4$

сью ArCO_2 с добавками CF_4 (рис. 3, а – б, а) и с добавками O_2 (рис. 3, б – б, б). Увеличение на 1 % парциального давления CF_4 в газовой смеси ухудшает энергетическое разрешение на величину около 0,7 % (табл. 1). Добавки с определенным парциальным давлением CF_4 практически не влияют на энергетическое разрешение строу диаметром от 4 до 15 мм, тогда как в случае смеси ArCO_2 без CF_4 энергетическое разрешение сохраняется для строу диаметром до 10 мм. Добавка CF_4 не оказывает влияния на эффективность регистрации как γ -квантов, так и β -электронов.

Добавка до 1,5 % O_2 практически не влияет на энергетическое разрешение строу диаметром 4 мм. С увеличением парциального давления O_2 и/или диаметра строу энергетическое разрешение резко ухудшается и появляется неэффективность регистрации событий. Видно, что строу диаметром до 10 мм могут работать без потери эффективности и ухудшения энергетического разрешения при добавке до 1 % O_2 .

В табл. 1 приведены измеренные значения величин энергетического разрешения строу различного диаметра при регистрации γ -квантов с энергией 5,9 кэВ при газовом усилении $G = 1,4 \cdot 10^4$.

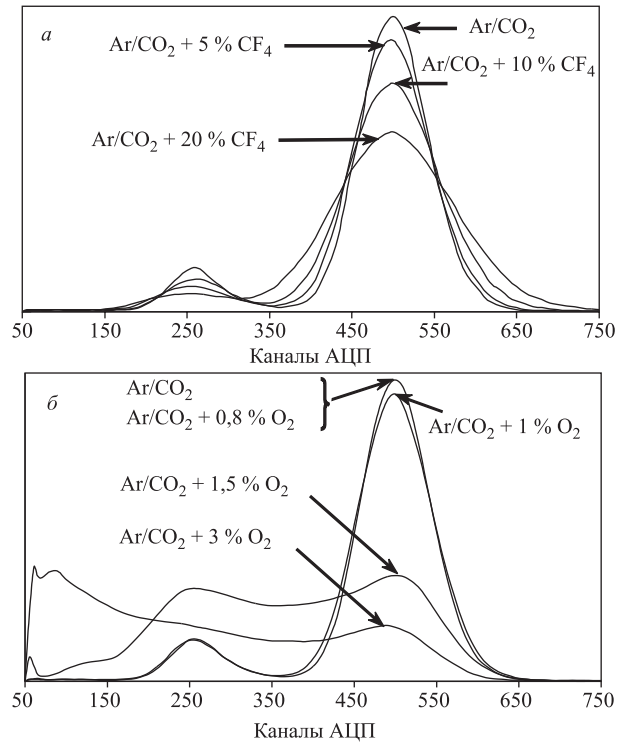


Рис. 5. Амплитудный спектр строу диаметром 9,56 мм при регистрации γ -квантов с энергией 5,9 кэВ. Газовая смесь ArCO_2 с добавками CF_4 (а) и O_2 (б), $G = 1,4 \cdot 10^4$

Таблица 1. Энергетическое разрешение строу диаметром d при регистрации γ -квантов с энергией 5,9 кэВ. $G = 1,4 \cdot 10^4$

Газовая смесь	Процентное содержание	$dE/E, \%$			
		$d = 4 \text{ мм}$	$d = 6 \text{ мм}$	$d = 9,56 \text{ мм}$	$d = 15 \text{ мм}$
Ar/CO_2	70/30	18,6	18,8	19,2	26
$\text{Ar/CO}_2/\text{CF}_4$	63/32/5	22,5	22,5	22	25
$\text{Ar/CO}_2/\text{CF}_4$	63/27/10	26	26,4	26	27
$\text{Ar/CO}_2/\text{CF}_4$	63/17/20	33	33,5	33,6	34,5
$\text{Ar/CO}_2/\text{O}_2$	(70/30)/0,8	18	18,8	21	35,5
$\text{Ar/CO}_2/\text{O}_2$	(70/30)/1	18	19	21,3	41,3
$\text{Ar/CO}_2/\text{O}_2$	(70/30)/1,5	19,4	28	—	—
$\text{Ar/CO}_2/\text{O}_2$	(70/30)/3	23	—	—	—

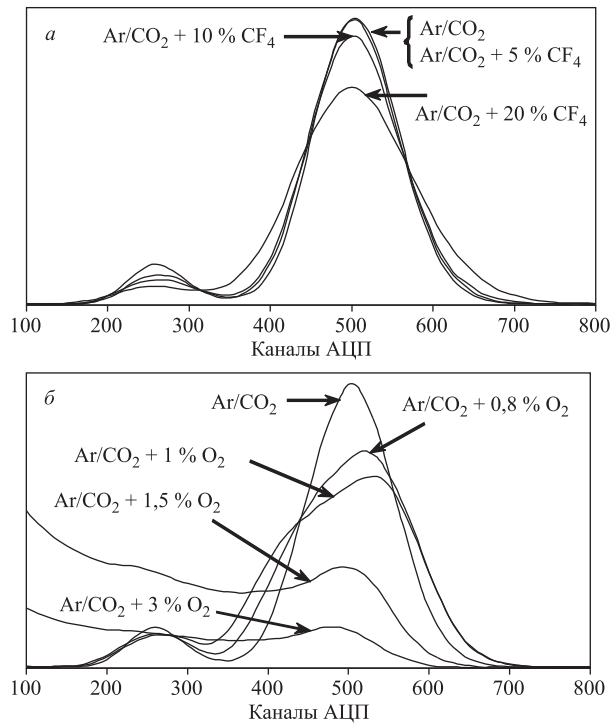


Рис. 6. Амплитудный спектр строу диаметром 15 мм при регистрации γ -квантов с энергией 5,9 кэВ. Газовая смесь ArCO₂ с добавками CF₄ (а) и O₂ (б), $G = 1,4 \cdot 10^4$

3. ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Временные параметры измерялись при облучении строу источником ¹⁰⁶Ru при напряжении, соответствующем газовому усилению $G = 10^5$. Строу различного диаметра продувались газовой смесью с различным парциальным давлением CF₄ и O₂. При этом они облучались равномерно вдоль диаметра. На рис. 7 представлены зависимости максимального времени дрейфа T_{\max} электронов ионизации, равного времени чувствительности строу, от парциального давления добавок.

Добавка 20% CF₄ уменьшает время чувствительности на 10% для строу диаметром 4 мм и на 42% для строу диаметром 15 мм. Добавка O₂ практически не влияет на время чувствительности строу при условии сохранения эффективности регистрации.

Значения максимальных времен дрейфа T_{\max} в строу приведены в табл. 2 и 3. Типичные временные спектры, полученные при равномерном облучении строу, показаны на рис. 8, 9.

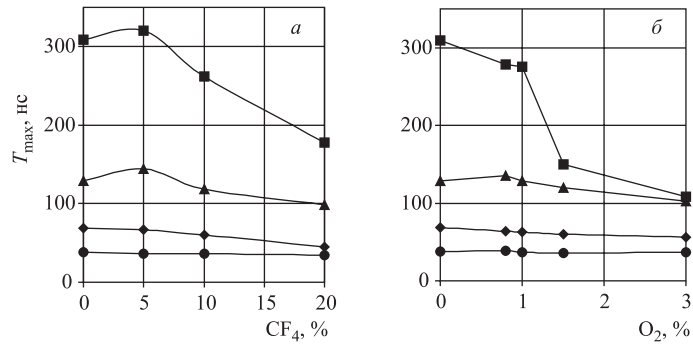


Рис. 7. Максимальное время дрейфа электронов в зависимости от парциального давления CF_4 (а) или O_2 (б) в газовой смеси ArCO_2 (табл. 2 и 3): ■ — для строу диаметром 15 мм; ▲ — 9,56 мм; ◆ — 6 мм; ● — 4 мм

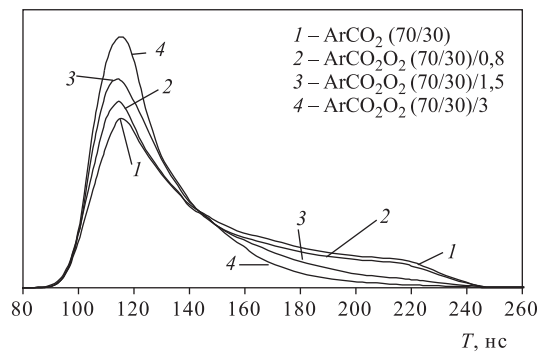


Рис. 8. Влияние парциального давления O_2 на время дрейфа электронов в строу диаметром 9,56 мм при газовом усилении $G = 10^5$

Таблица 2. Время дрейфа электронов T_{max} для различного процентного содержания CF_4 в газовой смеси ArCO_2CF_4

Состав газовой смеси	T_{max} , нс, для строу диаметром d			
	$d = 4$ мм	$d = 6$ мм	$d = 9,56$ мм	$d = 15$ мм
ArCO_2 (70/30)	38	68,4	129	309
ArCO_2CF_4 (63/32/5)	36,5	66,7	144	320
ArCO_2CF_4 (63/27/10)	36	60	119	262
ArCO_2CF_4 (63/17/20)	34	45	99	178

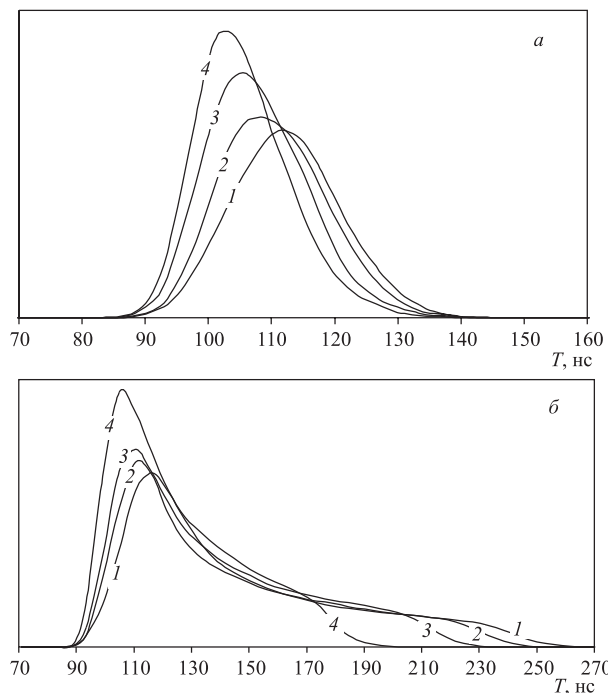


Рис. 9. Влияние парциального давления CF_4 на время дрейфа электронов для строу диаметром 4 мм (а) и 9,56 мм (б). Кривая 1 — газовая смесь ArCO_2 (70/30); 2 — ArCO_2CF_4 (63/32/5); 3 — ArCO_2CF_4 (63/27/10); 4 — ArCO_2CF_4 (63/17/20)

Таблица 3. Время дрейфа электронов T_{max} для различного процентного содержания добавки O_2 в газовой смеси ArCO_2O_2 , а также эффективность регистрации γ -квантов (ε_γ , %) в строу диаметром 4, 6, 9,56, 15 мм в случаях неполной их эффективности

Состав газовой смеси	T_{max} , нс, и ε_γ , % (в скобках)			
	$d = 4$ мм	$d = 6$ мм	$d = 9,56$ мм	$d = 15$ мм
ArCO_2 (70/30)	38	68,4	129	309
ArCO_2O_2 (70/30)/0,8	38,7	64,1	135 (99,7)	278,7 (78,3)
ArCO_2O_2 (70/30)/1	37	63,2 (99,6)	129 (89,9)	275,3 (72,6)
ArCO_2O_2 (70/30)/1,5	36,5	59,5 (99,4)	119,7 (70,1)	149,6 (62,6)
ArCO_2O_2 (70/30)/3	36	56,2 (99,3)	102,6 (66,6)	108,5 (59,6)

Представленные на рис. 8 временные спектры показывают, что при использовании токового усилителя с входным сопротивлением 300 Ом добавка 3% O_2 приводит к уменьшению времени нарастания переднего фронта временных распределений в среднем до 3,5 нс.

Видно, что смесь с добавкой CF_4 является более быстрым газом (рис. 9), так как нарастание переднего фронта распределений уменьшается на 7–8 нс с увеличением добавки CF_4 от 0 до 20 %.

4. СКОРОСТЬ ДРЕЙФА

Для оценки величины скорости дрейфа в различных точках вдоль радиуса строу проводилось их облучение β -источником ^{106}Ru через щелевой коллиматор, расположенный параллельно анодным проволокам прототипа. Облучались строу диаметром 6, 9,56 и 15 мм, ширина пучка по основанию составляла около 0,8 мм.

На рис. 10 приведены типичные временные спектры в разных точках облучения по радиусу строу диаметром 9,56 мм для газовой смеси ArCO_2CF_4 (63/17/20).

Зависимости центров тяжести временных спектров от расстояния r_i между центром коллиматора и анодной проволокой строу показаны на рис. 11. Так же как и приведенные на рис. 9 временные спектры сигналов строу, полученные при их равномерном облучении по диаметру, эти зависимости говорят о более быстрых процессах сбора зарядов при добавлении в состав газовой смеси CF_4 . Добавка O_2 (кривая на рис. 11, занимающая промежуточное положение) незначительно ускоряет сбор зарядов для малых дрейфовых расстояний, на которых еще не проявляется процесс захвата электронов, приводящий к большой неэффективности регистрации.

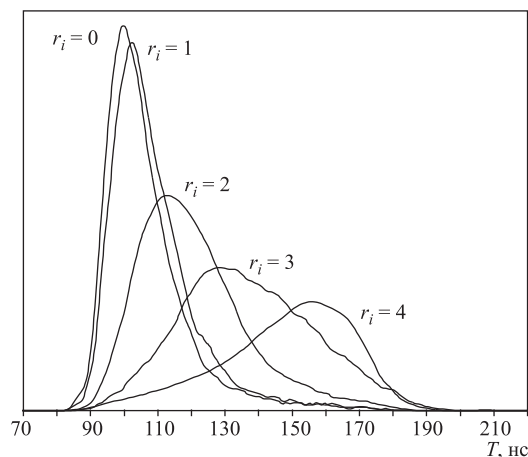


Рис. 10. Изменение положения центра тяжести пика временного спектра при облучении строу диаметром 9,56 мм в различных точках r_i (мм)

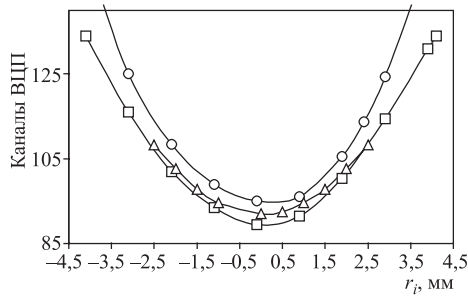


Рис. 11. Зависимость центров тяжести временных спектров от r_i для строу с $d = 9,56$ мм. Газовые смеси: \circ — ArCO_2 (70/30); \square — ArCO_2CF_4 (63/17/20); \triangle — ArCO_2O_2 (70/30)/3. $G = 10^5$. Цена канала ВЦП равна 1,14 нс

Оценка средней скорости дрейфа электронов в некоторых интервалах напряженности электрического поля ΔE_i при облучении строу в разных точках вдоль их диаметра определялась выражением

$$\langle W_i \rangle = (r_i - r_{i-1}) / (M_i - M_{i-1}),$$

где r_i — расстояние от центра щелевого коллиматора до анодной проволоки строу, M_i — значение задержки центра тяжести пика соответствующего временного спектра относительно сигнала «старт» ВЦП. На рис. 12–14 приведены зависимости средней скорости дрейфа электронов от напряженности электрического поля для газовых смесей с добавками CF_4 и O_2 при газовом усилении $G = 10^5$. Из этих зависимостей видно, что для строу разного диаметра при одинаковой газовой смеси и в «точках» с одинаковым значением E средние значения скорости дрейфа электронов равны только в области вы-

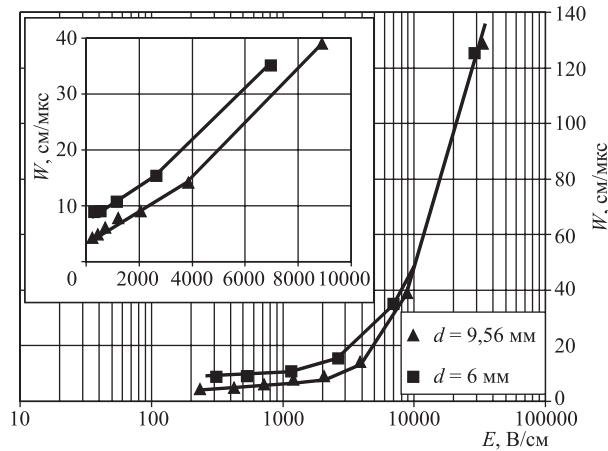


Рис. 12. Зависимости средней скорости дрейфа электронов от напряженности электрического поля E в строу диаметром 6 и 9,56 мм. Газовая смесь ArCO_2O_2 ((70/30)/3), $G = 10^5$

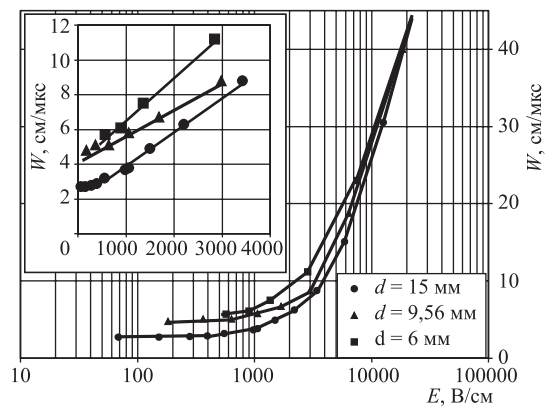


Рис. 13. Зависимости средней скорости дрейфа электронов от напряженности электрического поля E в строу диаметром 6, 9,56 и 15 мм. Газовая смесь ArCO_2CF_4 (63/17/20), $G = 10^5$

сокой напряженности. Это следует из того, что скорость дрейфа электронов W пропорциональна напряженности электрического поля в соответствии с выражением [4]

$$W \sim (E/P)^b, \text{ где } 1/2 < b < 1.$$

В области высокой напряженности поля $b \sim 1/2$, и в области низкой напряженности поля b приближается к 1.

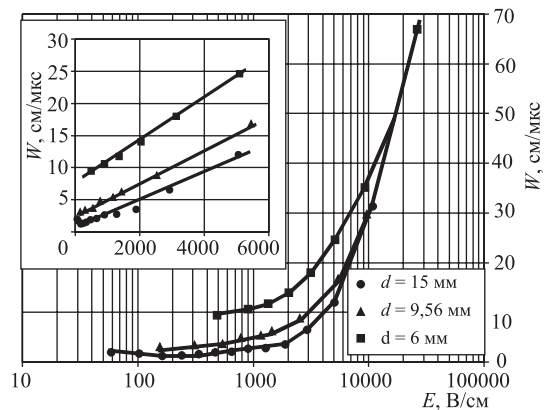


Рис. 14. Зависимости средней скорости дрейфа электронов от напряженности электрического поля E в строу диаметром 6, 9,56 и 15 мм. Газовая смесь ArCO_2 (70/30), $G = 10^5$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование времяамплитудных характеристик строу диаметром до 15 мм для смеси ArCO_2 с добавками CF_4 и O_2 показало, что добавка CF_4 уменьшает время чувствительности всех строу при сохранении эффективности регистрации, но с некоторым ухудшением энергетического разрешения.

Добавка $\text{O}_2 \leq 1\%$ незначительно уменьшает время чувствительности строу диаметром до 10 мм, не влияя при этом на энергетическое разрешение и эффективность регистрации. Для 15-мм строу добавка 0,8% O_2 снижает эффективность регистрации приблизительно на 20%. Добавка O_2 до 3% возможна только при работе со строу диаметром не более 4 мм с незначительным ухудшением энергетического разрешения.

Для получения высокого пространственного разрешения с использованием строу различного диаметра необходимо определять корреляционные времякоординатные коэффициенты для строу каждого диаметра независимо.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ATLAS Collaboration*. ATLAS Inner Detector Technical Design Report. CERN/LHCC/97-16. 1997.
2. COMPASS. CERN/SPSLC/96-14, SPSLC/P297. 1996.
3. *Bychkov V. N. et al.* Construction and Manufacture of Large Size Straw-Chambers of the COMPASS Spectrometer Tracking System // Part. Nucl., Lett. 2002. No. 2[111].
4. *Калашиникова В. И., Козодаев М. С.* Детекторы элементарных частиц. М.: Наука, 1966.

Получено 16 сентября 2004 г.

Редактор *О. Г. Андреева*

Подписано в печать 29.10.2004.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,00. Уч.-изд. л. 0,92. Тираж 305 экз. Заказ № 54645.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@pds.jinr.ru

www.jinr.ru/publish/