

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



1/8-77

A-471

P13 - 10607

2910/2-77

Г.Д.Алексеев, Н.А.Калинина, В.В.Круглов,
Д.М.Хазинс

ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ КАМЕРА

С ШАГОМ НАМОТКИ СИГНАЛЬНЫХ ПРОВОЛОК 10 ММ

1977

P13 - 10607

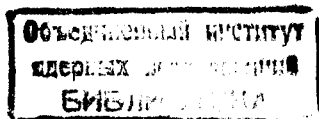
Г.Д.Алексеев, Н.А.Калинина,* В.В.Круглов,*
Д.М.Хазинс

ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ КАМЕРА

С ШАГОМ НАМОТКИ СИГНАЛЬНЫХ ПРОВОЛОК 10 ММ

Направлено в ПТЭ

*НИИЯФ МГУ



Алексеев Г.Д. и др.

P13 - 10607

Пропорциональная камера с шагом намотки сигнальных проволочек 10 мм

Рассматривается работа пропорциональной камеры с большим шагом намотки сигнальных проволочек. Показано, что при использовании определенных газовых смесей такая камера имеет высокую эффективность без введения дополнительных потенциальных проволочек. На камере с шагом намотки сигнальных проволочек 10 мм, заполненной смесью 60% Ar + 40% CH₄, получена эффективность $\approx 99,9\%$ при временном разрешении 120 нс. Рассматривается возможность использования такой камеры в качестве дрейфовой.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Preprint Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Alekseev G.D. et al.

P13 - 10607

Proportional Chamber with the 10 mm Spacing of Signal Wires

A proportional chamber with a large spacing of the signal wires is considered. The chamber is shown to be of high efficiency when certain gas mixtures are used that eliminates additional potential wires. In the chamber with the 10 mm spacing of the signal wires filled with 60% Ar + 40% CH₄ mixture the efficiency of $\approx 99.9\%$ has been achieved at a time resolution being 120 ns. The possibility of using such a chamber as a drift one is considered.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1977

В данной работе рассматривается пропорциональная камера с большим ~ 1 см/ шагом намотки сигнальных проволочек. Такая камера, при использовании информации о времени дрейфа электронов, в определенной степени сочетает хорошее временное разрешение обычной пропорциональной камеры^{/1/} и координатное разрешение дрейфовой камеры^{/2,3/}. Кроме того, камера обладает некоторыми полезными эксплуатационными свойствами: 1/ ее удобно использовать в качестве годоскопа для предварительного отбора событий; 2/ электростатическое расталкивание проволочек сравнительно невелико, что позволяет наматывать сигнальные электроды большой площади без использования поддержек; 3/ требования, предъявляемые к точности электронной аппаратуры, линейности дрейфовых характеристик, постоянству газовой смеси и т.п., которые необходимы для получения высокого координатного разрешения, в данном случае слабее, чем для дрейфовых камер с большим шагом намотки сигнальных проволочек.

На работоспособность камеры с большим шагом намотки решающее влияние оказывает область слабого электрического поля с центром, находящимся посередине между сигнальными проволочками^{/4/}. Наличие такой области приводит к большой задержке электронов, что ухудшает временное разрешение или снижает эффективность камеры. Усиление поля в этой области с помощью потенциальной проволоки не всегда возможно: при шаге сигнальных проволочек ~ 1 см возникают пробой с потенциальной проволоки на сигнальную. С другой стороны, влияние этой области можно заметно ослабить, применяя

газовые смеси, в которых скорость дрейфа электронов достигает уровня насыщения при небольшой напряженности электрического поля.

В литературе имеются сообщения о пропорциональных камерах с большим шагом намотки сигнальных проволок^{5,6,7,8}. В настоящей работе на примере камеры с шагом намотки 10 мм подробно исследуется влияние области слабого поля на основные характеристики камеры: эффективность, временное разрешение, линейность дрейфовых характеристик; изучаются свойства камеры в зависимости от газового наполнения.

Для выяснения поведения электронов в камере необходимо знать картину электрического поля и зависимость скорости дрейфа электронов от напряженности поля.

Выражение для потенциала электрического поля U в камере /рис. 1/ зазора L , с шагом сигнальных проволок

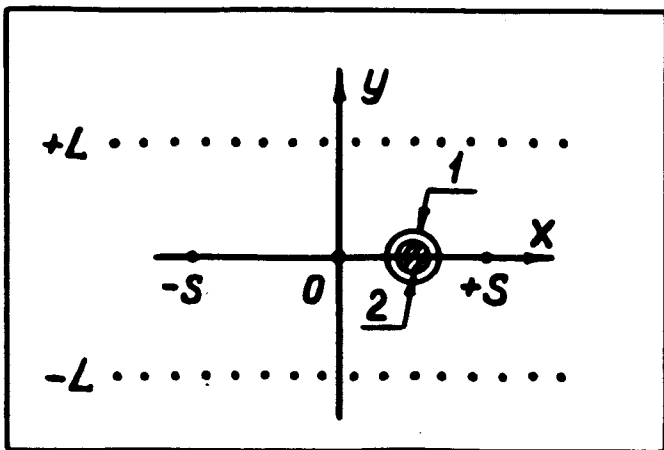


Рис. 1. Схема камеры. Зазор между плоскостями $L=8$ мм, шаг намотки сигнальных проволок $s=10$ мм, диаметр сигнальной проволоки $d=20$ мкм, шаг намотки катодных проволок 2 мм, диаметр катодной проволоки 100 мкм. 1 - область справедливости линейных формул /2/; 2 - граница области насыщения скорости дрейфа.

s и линейной плотностью заряда на сигнальных проволоках q имеет вид⁹:

$$U(x,y) = q \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (-1)^k \ln \frac{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi L}{s} (2k+1) + \sin^2 \frac{\pi x}{s}}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi L}{s} (2k + \frac{y}{L}) + \sin^2 \frac{\pi x}{s}} \quad /1/$$

Наибольший интерес представляет область слабого электрического поля между сигнальными проволоками, где скорость дрейфа еще не достигает уровня насыщения. Пользуясь /1/, получим для компонент напряженности поля в этой области следующие выражения:

$$\left. \begin{aligned} E_x &= q\rho \left(\frac{s}{2} - x \right), \\ E_y &= q\rho y, \end{aligned} \right\} \quad /2/$$

где $\rho = \frac{2\pi^2}{s^2} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (-1)^k \frac{1}{\operatorname{ch}^2 \frac{2\pi L}{s} k}$ - геометрический множитель.

Выражения /2/ получены из разложения в ряд формулы для поля вблизи точки $x = s/2$, $y = 0$. Они справедливы с точностью 10% в области радиусом $\sim 0,17 \cdot s$ для $s < 2L$ /рис. 1/.

Зависимость скорости дрейфа электронов v от напряженности электрического поля E в газовой смеси 60% Ar + 40% CH₄, используемой в экспериментальных исследованиях, была аппроксимирована кусочно-линейной функцией на основании данных, приведенных в работе¹⁰: при изменении напряженности поля от нуля до критической величины $E_{кр} = 250$ В/см скорость дрейфа растет линейно от нуля до $v_0 = 7$ см/мкс, далее при $E > E_{кр}$ скорость дрейфа остается постоянной и равной v_0 .

Используя это упрощение, вычислим время дрейфа как функцию координаты прохождения трека /дрейфовую характеристику/ для треков, перпендикулярных к плоскости камеры. Для этого разобьем отрезок $[0, \frac{s}{2}]$ на два: $[0, x_0]$ и $[x_0, \frac{s}{2}]$, здесь x_0 - граница насыщения скорости

дрейфа, которая находится из уравнения $E_{кр} = q\rho(\frac{s}{2} - x_0)$.

На отрезке $[0, x_0]$ электрон движется равномерно, поэтому время дрейфа есть просто $\frac{x}{v_0}$. Для отрезка $[x_0, \frac{s}{2}]$ запишем уравнение движения:

$$\frac{dx}{dt} = -\kappa E_x = \kappa q\rho(x - \frac{s}{2}), \quad /3/$$

здесь $\kappa = \frac{v_0}{E_{кр}}$ - подвижность электронов в данном газе.

Проинтегрировав выражение /3/, запишем время дрейфа T от точки x до сигнальной проволоки в следующем виде:

$$T = \begin{cases} \frac{x}{v_0} & \text{при } 0 \leq x \leq x_0, \\ \frac{x_0}{v_0} + \frac{s/2 - x_0}{v_0} \ln \frac{s/2 - x_0}{s/2 - x} & \text{при } x_0 \leq x < \frac{s}{2}. \end{cases} \quad /4/$$

Эта зависимость представлена на рис. 2. Вычисления производились для камеры, используемой в экспериментальных исследованиях, при $x_0 = 4,3$ мм /рис. 1/. Данное значение x_0 соответствует плотности заряда на сигнальной проволоке $q = 190$ В /при $U = -2,9$ кВ, см, рис. 3а/ и геометрическому множителю $\rho = 19,7$ см⁻².

На рис. 2 изображено также семейство дрейфовых характеристик для треков, пересекающих камеру под различными углами. Эти характеристики были рассчитаны на ЭВМ с использованием точной формулы /1/. За время дрейфа принималось время движения электрона, который первым достигает сигнальной проволоки. Из рисунка видно, что характеристики практически линейны в широком диапазоне углов.

С помощью этих характеристик можно оценить неэффективность камеры при заданном временном разре-

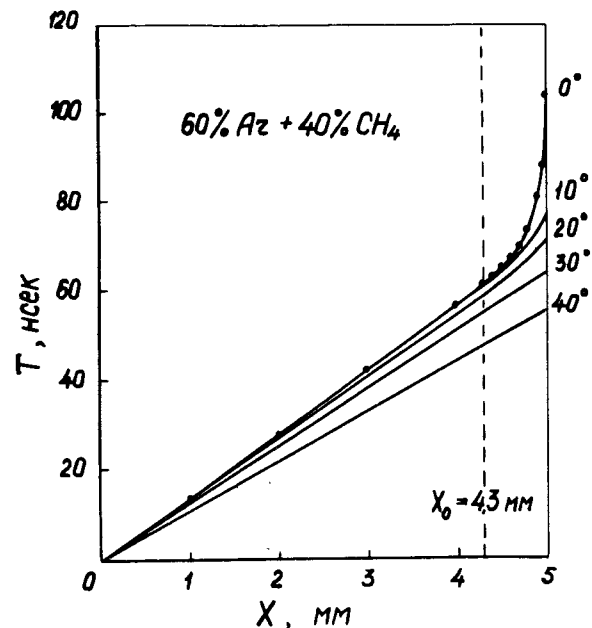


Рис. 2. Время дрейфа T как функция координаты x ; параметром служит угол между треком и перпендикуляром к плоскости камеры. Точками изображена дрейфовая характеристика, рассчитанная по формуле /4/.

шении /т.е. при определенной длительности строб-импульса/. Неэффективность возникает при прохождении трека через область слабого поля под малыми углами. Предполагая, что поток частиц равномерно распределен вдоль оси x , а также в интервале углов $\pm 20^\circ$, получим, что при разрешении 100 нс неэффективность составляет ~0,01% /для треков, перпендикулярных к плоскости камеры, соответствующая неэффективность составляет ~0,3%/. При разрешении 80 нс неэффективность имеет величину уже ~0,5%.

Была оценена неэффективность камеры в случае заполнения ее более медленной газовой смесью, 70% Ar + 30% изобутан, которая довольно часто употребляется в дрейфовых камерах / $v_0 = 5$ см/мкс, $E_{кр} = 500$ В/см/.

При временном разрешении 120 нс и угловой расходимости пучка $\pm 20^\circ$ неэффективность составила $\sim 1\%$.

Экспериментальные результаты

Для исследований использовалась разборная пропорциональная камера с чувствительной областью $15 \times 15 \text{ см}^2$. Катодные плоскости намотаны с шагом 2 мм проволокой из бериллиевой бронзы диаметром 100 мкм. Сигнальная плоскость намотана с шагом $s=10$ мм проволокой из золоченого вольфрама диаметром $d=20$ мкм. Зазор между плоскостями $L=8$ мм /рис. 1/.

Основные характеристики камеры исследовались с использованием смеси 60% Ar + 40% CH₄. Камера помещалась между двумя сцинтилляторами толщиной 1,5 мм и 10 мм и облучалась β^- -источником ⁹⁰Sr размером 10x15 см². Угловая расходимость пучка электронов составляла $\sim \pm 20^\circ$. Каждая сигнальная проволока подключалась к усилителю-формирователю К243АГ1^{11/}, порог срабатывания которого был выбран ~ 2 мкА. Сигналы с восьми усилителей объединялись, укорачивались до 10 нс и подавались на совпадения со строб-импульсом, который вырабатывался совпадениями сцинтилляционных счетчиков.

Зависимость эффективности камеры от напряжения питания и кривые задержанных совпадений представлены на рис. 3. Видно, что камера имеет широкое ~ 700 В/плато эффективности и временное разрешение ~ 100 нс. Измерения эффективности при длительности строб-импульса 120 нс дали значение $\epsilon \gtrsim 99,9\%$.

При использовании камеры в качестве дрейфовой существенным является вопрос о линейности дрейфовой характеристики. Простым способом качественной оценки однородности скорости дрейфа вдоль дрейфового промежутка является временной спектр сигналов с камеры^{12/}. На рис. 4а изображен такой спектр для нашей камеры; сигналом "Старт" служил строб-импульс, сигналом

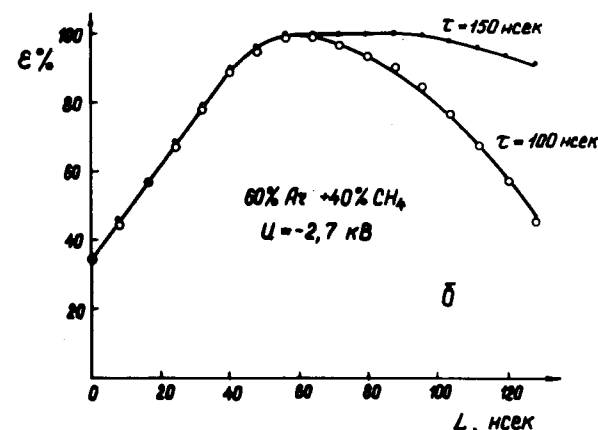
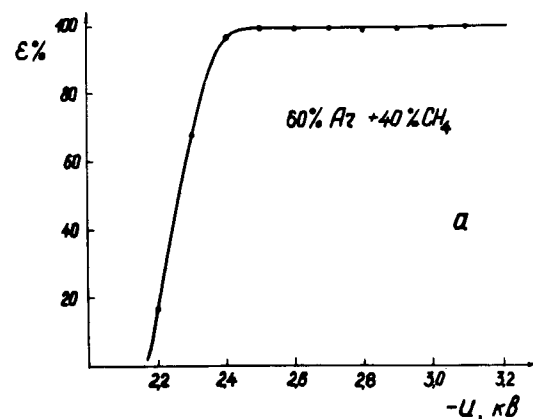


Рис. 3. а - зависимость эффективности камеры ϵ от напряжения питания U ; б - кривые задержанных совпадений. L - задержка строб-импульса относительно сигнала с камеры, τ - длительность строб-импульса.

"Стоп" - импульс камеры. Небольшой наклон вершины спектра говорит о том, что скорость дрейфа мало меняется вдоль дрейфового промежутка.

Кроме основной газовой смеси /60% Ar + 40% CH₄/, были исследованы и некоторые другие: 75% Ar + 25% (OCH₃)₂CH₂, 90% Ar + 10% CH₄, 90% Ar + 10% CO₂,

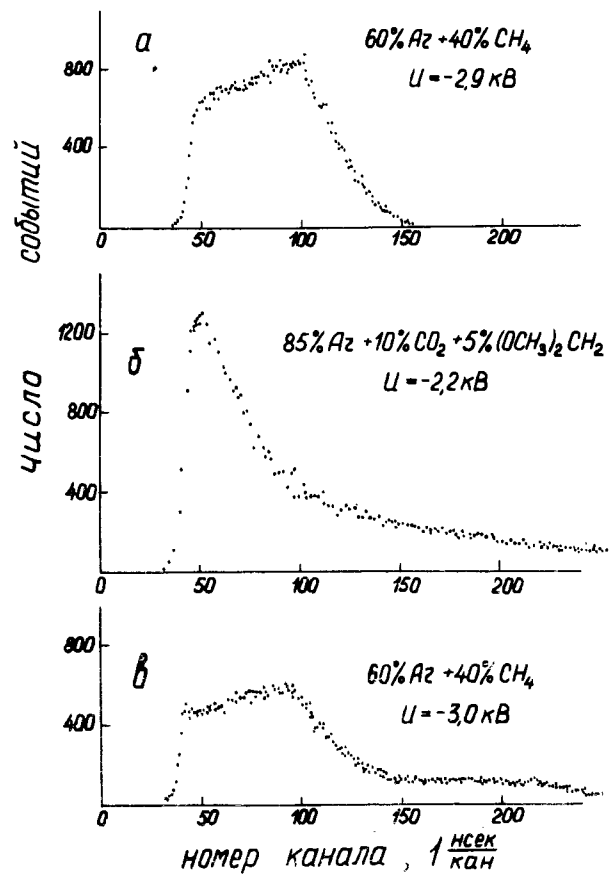


Рис. 4. Временные спектры сигналов с камеры; а, б - при заполнении различными газовыми смесями; в - временной спектр сигналов с одной проволоки.

95% Ar + 5% CO₂; три последние смеси исследовались с различными процентными добавками паров метилала (OCH₃)₂CH₂. Однако камера ни с одной из этих смесей не имела временного разрешения лучше 200 нс; не наблюдалось насыщения скорости дрейфа /за исключением случая использования смеси 90% Ar + 10% CH₄/. Для примера на рис. 4б изображен временной спектр

сигналов с камеры, наполненной смесью 85% Ar + +10% CO₂ + 5% (OCH₃)₂CH₂.

На рис. 4в изображен временной спектр сигналов с одной проволоки, который значительно отличается от спектра сигналов, собранных со всей камеры /рис. 4а/. "Хвост" в распределении сигналов /1/ вызван наклонными треками, которые в соседнем канале дают маленькую задержку и поэтому не ухудшают временного разрешения камеры в целом.

В заключение авторы выражают свою признательность А.В.Купцову и Л.Л.Неменову за постоянный интерес и внимание к работе, авторы благодарны Н.А.Владимировой, по программе которой были выполнены расчеты на ЭВМ.

Литература

1. Charpak G. *Annual Review of Nuclear Science*, 1970, 20, p.195.
2. Walenta A.H., Heintze J., Schürlein B. *Nucl. Instr. and Meth.*, 1971, 92, p. 373.
3. Charpak G., Sauli F., Duinker W. *Nucl. Instr. and Meth.*, 1970, 108, p.613.
4. Sadoulet B., Litke A. *Nucl.Instr. and Meth.*, 1975, 124, p.349.
5. Epple E., Decker D. *Nucl.Instr. and Meth.*, 1968, 66, p.77.
6. Charpak G. e.a. *Nucl.Instr. and Meth.*, 1968, 62, p. 262.
7. Atac M., Majka R., Dhawan S. *Nucl. Instr. and Meth.*, 1973, 106, p.389.
8. Бирюков В.А., Зинов В.Г., Конин А.Д. *ЖЭТФ*, 1970, 58, с. 104.
9. Алексеев Г.Д. и др. ОИЯИ, Р13-10606, Дубна, 1977.
10. Астабатьян Р.А., Заневский Ю.В., Пешехонов В.Д. ОИЯИ, Р13-8383, Дубна, 1974.
11. Бару С.Е. и др. ПТЭ, 1975, №4, с. 105.
12. Breskin A. e.a. *Nucl.Instr. and Meth.*, 1974, 119, p. 9.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 апреля 1977 года.