

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ КООРДИНАТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ТОНКОСТЕННЫХ ДРЕЙФОВЫХ ТРУБОК

*Н. Д. Дикусар, В. В. Мялковский, Е. А. Назиева, В. Д. Пешехонов*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Рассматривается возможность использования зависимости распределения величины пространственного разрешения вдоль радиуса тонкостенных дрейфовых трубок (строу) для улучшения параметров треков регистрируемых частиц координатными детекторами на основе тонкостенных дрейфовых трубок.

The opportunity to use depending on the distribution of spatial resolution along the radius of the thin-walled drift tubes (straws) to improve the track parameters of detected these coordinate detectors is considered in the article.

PACS: 29.40.ka

### ВВЕДЕНИЕ

Детекторы на основе тонкостенных дрейфовых трубок (строу) используются как координатные детекторы и/или детекторы переходного излучения в экспериментах на ускорителях и в космофизических исследованиях. Обладая достаточно хорошим пространственным разрешением и малым количеством собственного вещества, эти (относительно дешевые) координатные детекторы могут перекрывать большие площади [1, 2], а при использовании в них строу с сегментными анодами их гранулярность может быть уменьшена до  $1 \text{ см}^2$  [3, 4]. Детекторы на основе строу работают в вакууме [5] и способны работать при давлении их газового наполнения до 5 бар [6, 7]. Пространственное разрешение этих детекторов типично для всех модификаций дрейфовых камер и обычно составляет около 200 мкм. В работе рассматривается возможность оптимизации пространственного разрешения двухслойных строу-камер.

### КОНСТРУКЦИЯ ДЕТЕКТОРОВ

При создании детекторов в основном используются строу диаметром ( $d$ ) от 4 до 10 мм с толщиной их пленочных стенок ( $\varepsilon$ ) менее 100 мкм. Технология изготовления строу обеспечивает высокую цилиндричность и однородность диаметра. Координатные детекторы на основе строу обычно содержат два детектирующих слоя, сдвинутых для устранения лево-правой неопределенности относительно друг друга в ортогональном к

ориентации строу направления. Строу каждой плоскости при нормальном давлении их газового наполнения могут быть склеены между собой с точностью позиционирования отдельных элементов около 50 мкм и с зазором ( $\delta$ ) между стенками соседних строу  $\sim 20$  мкм или более. Нечувствительный промежуток между строу с  $\varepsilon \sim 30$  или  $\sim 70$  мкм составляет  $\sim 80$  или  $\sim 160$  мкм соответственно. При изменении внутреннего давления газового наполнения происходит изменение длины и диаметра строу [6], что требует учета этого при конструировании камер. В частности, зазор между соседними строу в слое должен превышать возможные изменения их диаметра. Строу каждой плоскости могут быть установлены в отверстия рамы камеры, выполненные с требуемой точностью, или склеены между собой. Например, в прототипе [7] строу высокого давления с внутренним диаметром 9,56 мм были склеены между собой с зазором 0,5 мм и рабочее давление газовой смеси варьировалось от 1 до 5 бар. При установке строу в отверстия рам величина зазора обычно более 1 мм.

### ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ

Пространственное разрешение многоканального детектора зависит от однородности его детектирующих элементов и их электрического поля, состава газовой смеси, величины газового усиления и отношения сигнал/шум. Камеры на основе строу обладают лучшими собственными параметрами в сравнении с традиционными дрейфовыми камерами. На рис. 1 показано энергетическое разрешение строу диаметром 4, 6 и 9,56 мм с анодом диаметром 30 мкм при одинаковом их газовом усилении, тождественной электроникой считывания и газовой смеси  $\text{ArCO}_2$  (80/20). Видно, что энергетическое разрешение этих строу при газовом усилении  $\sim 2 \cdot 10^4$  составляет 18% (рис. 1, а) и с увеличением газового усиления до  $\sim 8 \cdot 10^4$  ухудшается до  $\sim 29\%$  (рис. 1, б). При этом более сильное ухудшение заметно для строу меньшего диаметра, что определяется, видимо, ухудшением соотношения точности технологической сборки строу к их диаметру.

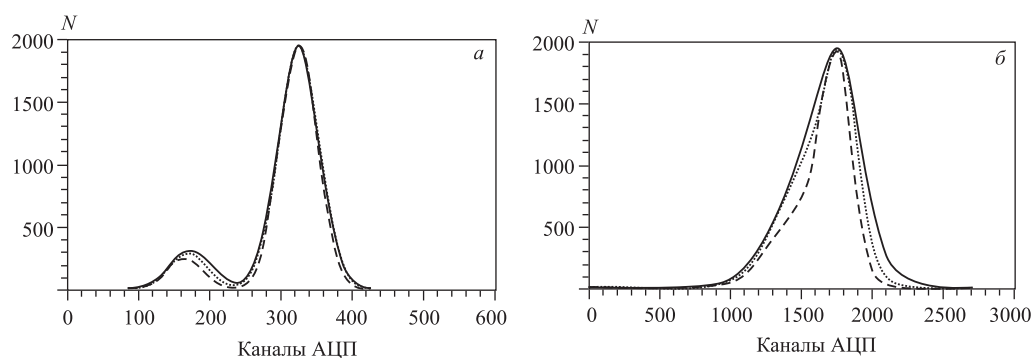


Рис. 1. Энергетическое разрешение строу диаметром 4 (сплошная линия), 6 (пунктирная) и 9,56 мм (штриховая). а) Газовое усиление  $\sim 2 \cdot 10^4$ , анодное напряжение этих строу 1,387, 1,521 и 1,655 кВ соответственно. б) Газовое усиление  $\sim 8 \cdot 10^4$ , анодное напряжение 1,570, 1,718 и 1,850 кВ соответственно. Регистрировались гамма-кванты с энергией 5,9 кэВ

Напряженности электрического поля в цилиндрических счетчиках зависят от радиуса строу  $r_k$  и радиуса анода  $r_a$  как  $E = V/r \times \ln(r_k/r_a)$ , где  $V$  — напряжение на аноде. На рис. 2 показаны распределения напряженности электрического поля  $E$  вдоль радиуса строу диаметром 4, 6 и 9,56 мм при анодных напряжениях, обеспечивающих их газовое усиление  $\sim 8 \cdot 10^4$ .

Измерения пространственного разрешения строу диаметром 4 и 9,56 мм было выполнено на тестовом пучке SPS в ЦЕРН [7, 8], при этом использовался Si-ПЭД пучковый телескоп EUDET с трековой точностью лучше 5 мкм [9]. Регистрировались частицы с минимальными ионизационными потерями. Строу продувались газовой смесью  $\text{ArCO}_2$  (80/20). Газовое усиление строу диаметром 9,56 мм было  $\sim 8 \cdot 10^4$  и на 20 %

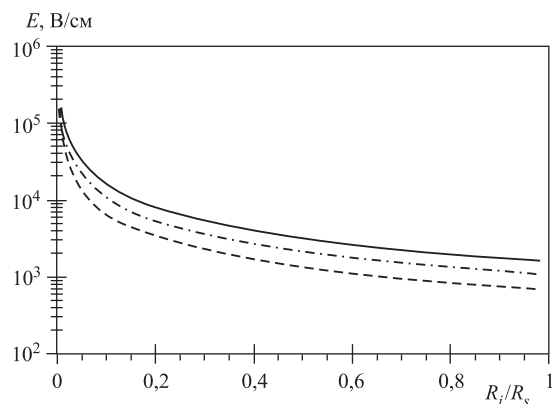


Рис. 2. Напряженности электрического поля вдоль радиуса строу диаметром 4, 6 и 9,56 мм при одинаковом их газовом усилении. Анодное напряжение 1,57, 1,72 и 1,85 кВ для строу диаметром 4 (сплошная линия), 6 (штрихпунктирная) и 9,56 мм (штриховая) соответственно. По оси абсцисс отложены отношения позиций точек вдоль радиуса строу к его величине

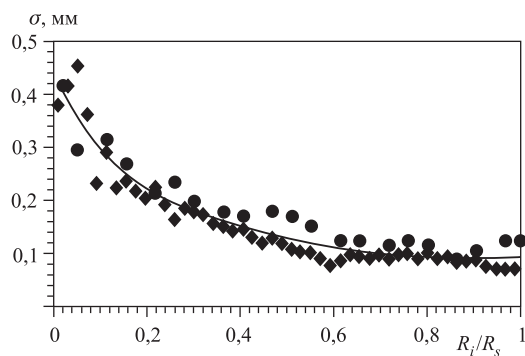


Рис. 3. Пространственное разрешение вдоль радиуса строу диаметром 4 мм (●) и 9,56 мм (◆). По оси абсцисс отложено отношение расстояния точек от анода к радиусу строу. Газовая смесь  $\text{ArCO}_2$  (80/20)

меньше в строу диаметром 4 мм. На рис. 3 показаны распределения пространственного разрешения вдоль радиуса этих строу. Нижняя зависимость соответствует строу диаметром 9,56 мм, а верхняя — 4 мм. Средняя величина пространственного разрешения вдоль радиуса этих строу составляет  $\sim 180$  и  $\sim 190$  мкм соответственно. Характер зависимостей определяется распределением напряженности электрического поля вдоль радиуса строу. Видно, что неоднородность пространственного разрешения вдоль радиуса строу достаточно большая: от  $\sim 400$  мкм вблизи анода и до  $\sim 90$  мкм вблизи катода.

Развитие электронных лавин происходит у анода в поле с напряженностью более  $10^5$  В/см. При удалении от анодов напряженность электрического поля уменьшается, что может приводить к уменьшению скорости дрейфа электронов в прилегающей к катоду области строу. На рис. 4 показаны значения скорости дрейфа электронов в этой области для строу диаметром 4, 6 и 9,56 мм при двух значениях их газового усиления. Видно, что с увеличением диаметра строу возрастает область с уменьшенными величинами скорости дрейфа электронов. Так, для строу диаметром менее 6 мм при приближении к катоду изменения величины скорости дрейфа пренебрежимо малы, тогда как при диаметре более 6 мм область снижения скорости дрейфа равна примерно половине радиуса и уменьшение скорости достигает фактора 2. Изменение скорости дрейфа приводит к увеличению максимального времени дрейфа электронов к аноду строу и может ухудшать пространственное разрешение этой области.

В идеальном случае пространственное разрешение двухслойной камеры определяется выражением  $\delta^{-2} = \delta_1^{-2} + \delta_2^{-2}$ , где значения  $\delta_1$  и  $\delta_2$  — пространственное разрешение соответствующих слоев строу. На рис. 5 показано пространственное разрешение двухслойной камеры в зависимости от точки пересечения радиуса строу первого слоя в его анодной плоскости частицами с различными углами их входа в детектор. Использовалась показанная на рис. 3 зависимость, описываемая полиномом 5-й степени,  $\chi^2$  которого равна 0,9445. Кривые рис. 5 показывают высокую однородность пространственного разрешения для углов входа частиц менее  $10^0$  и некоторое его ухудшение при увеличении отклонения угла входа частиц в детектор от нормального значения. Таким образом, ве-

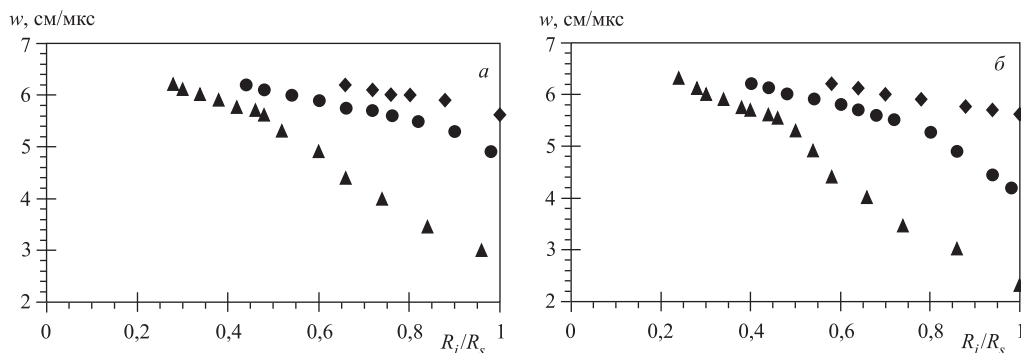


Рис. 4. Скорость дрейфа вдоль радиуса строу диаметром 4 (◆), 6 (●) и 9,56 мм (▲). Газовая смесь  $\text{ArCO}_2$  (80/20). а) Газовое усиление  $2 \cdot 10^4$  (анодное напряжение 1,387, 1,521 и 1,655 кВ соответственно). б) Газовое усиление  $8 \cdot 10^4$  (анодное напряжение 1,570, 1,718 и 1,850 кВ соответственно). Использовались данные рис. 45, 49 и 63 из работы [10]

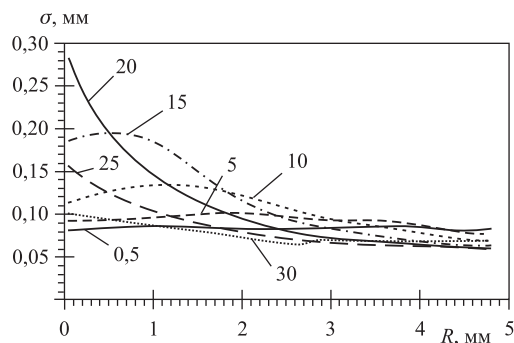


Рис. 5. Зависимости пространственного разрешения двухслойной камеры вдоль радиуса строу первого слоя для пересекающих эту строу частиц с различными углами входа. Строу диаметром 9,56 мм,  $\varepsilon = 70$  мкм, зазор  $\delta$  между стенками соседних строу  $\sim 20$  мкм. Сдвиг между двумя слоями 4,9 мм. Расстояние между анодными плоскостями слоев 10,6 мм. Значения углов входа частиц показаны около кривых

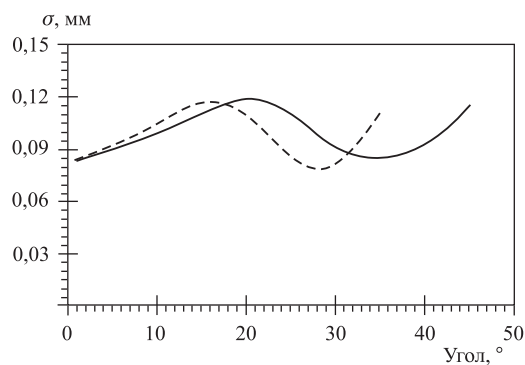


Рис. 6. Среднее значение пространственного разрешения двухслойной камеры в зависимости от угла входа частиц. Штриховая и сплошная линии — для расстояния между анодными плоскостями двухслойной камеры 10,7 и 13,7 мм соответственно

личина среднего значения пространственного разрешения камеры не более 120 мкм в широком диапазоне углов входа частиц в детектор (рис. 6).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тонкостенные дрейфовые трубки позволяют определять координаты пересекающих их заряженных частиц измерением времени дрейфа электронов ионизации, ближайших к анодам. Типичное среднее значение пространственного разрешения строу при нормальном давлении газовой смеси  $\text{ArCO}_2$  несколько лучше 200 мкм. Однако при обычно используемом газовом усилении ( $\leq 8 \cdot 10^4$ ) величины пространственного разрешения у анода и у катода строу различаются в несколько раз ( $\sim 400$  и  $\sim 90$  мкм соответственно). Характер распределения величины пространственного разрешения вдоль радиуса в его относительных значениях достаточно близок для строу с диаметрами от 4 до 10 мм.

Использование этих зависимостей при реконструкции треков частиц в процессе преобразования измеряемых временных интервалов в пространственные координаты может обеспечить более точное определение параметров треков. Кроме того, при этом отпадает необходимость коррекции возможной неоднородности скорости дрейфа по радиусу строу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bychkov V. N. et al.* // Part. Nucl., Lett. 2002. No. 2[111]. P. 64–73.
2. *Bychkov V. N. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2006. V. 556. P. 66–79.
3. *Davkov K. I. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2008. V. 584. P. 285–290.
4. *Gusakov Yu. V. et al.* // Part. Nucl., Lett. 2010. V. 7, No. 2(158). P. 223.
5. *Darbarito E. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 1996. V. 381. P. 39–48.
6. *Davkov V. I. et al.* // Instr. Exp. Tech. 2008. V. 51, No. 6. P. 787–791.
7. *Davkov V. I. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2011. V. 634, No. 1. P. 5–7.
8. *Bazylev S. N. et al.* // Ibid. V. 632. P. 75–80.
9. *Haas T.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2006. V. 569. P. 53.
10. *Peisert A., Sauli F.* CERN 84-08, EP. 1984.

Получено 11 мая 2011 г.