

## ВРЕМЯПРОЕКЦИОННАЯ КАМЕРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА PEN

*В. А. Баранов<sup>a</sup>, М. А. Батурицкий<sup>b</sup>, А. Ван дер Шааф<sup>c</sup>,  
А. С. Коренченко<sup>a</sup>, С. М. Коренченко<sup>a</sup>, Н. П. Кравчук<sup>a</sup>,  
Н. А. Кучинский<sup>a1</sup>, П. Робманн<sup>c</sup>, В. В. Сидоркин<sup>a</sup>,  
В. С. Смирнов<sup>a</sup>, Н. В. Хомутов<sup>a</sup>, С. Н. Шкаровский<sup>a</sup>*

<sup>a</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

<sup>b</sup> Национальный научно-образовательный центр физики высоких энергий и частиц  
Белорусского государственного университета, Минск

<sup>c</sup> Цюрихский университет, Цюрих, Швейцария

В Институте им. П. Шеррера (PSI, Швейцария) на спектрометре RIBETA завершен набор статистики относительной вероятности распада  $\pi^+ \rightarrow e^+\nu$ . С целью регистрации частиц в пучке пионов специально разработана и создана миниатюрная времяпроекционная камера (mTPC). Количество вещества камеры на пути частиц составляет  $14 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>2</sup>. Камера успешно проработала в течение годового сеанса. Приводятся конструкция камеры и ее характеристики.

The PEN collaboration carries out precision measurements of the  $\pi^+ \rightarrow e^+\nu$  decay branching ratio at the Paul Scherrer Institute (PSI, Switzerland). A special mini time-projection chamber (mTPC) has been developed for registrations of particles in the pion beam. The chamber contains  $14 \cdot 10^{-3}$  g/cm<sup>2</sup> of matter on the particle path. The chamber was successfully used during one-year-long run. Design and characteristics of the mTPC are described.

PACS: 29.40.Gx

Коллаборация PEN проводит в Институте им. П. Шеррера (PSI, Швейцария) прецизионное измерение относительной вероятности распада  $\pi^+ \rightarrow e^+\nu$  [1] с целью достижения точности не хуже  $5 \cdot 10^{-4}$ . В настоящее время точность измерения относительной вероятности распада в 40 раз хуже теоретических вычислений [2, 3]. Хорошее теоретическое понимание распада  $\pi^+ \rightarrow e^+\nu$  делает его изучение наиболее предпочтительным для определения параметров новых физических моделей [4] за пределами стандартной модели электрослабых взаимодействий.

Измерения ведутся на спектрометре RIBETA [5], прошедшем модернизацию к данному эксперименту, заключающуюся в использовании новой регистрирующей электроники в стандарте VME, новой мишени с 10-см воздушным световодом и пучковой мини-времяпроекционной камеры (mTPC).

Схема центральной части спектрометра показана на рис. 1. Пучок положительных пионов с импульсом 65–80 МэВ/с теряет часть энергии в активном замедлителе (AD) и

---

<sup>1</sup>E-mail: kuchinski@jinr.ru

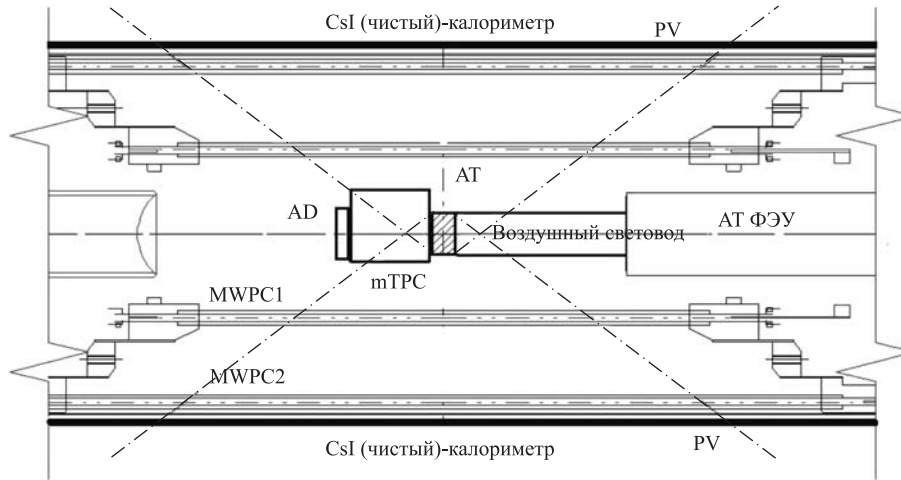


Рис. 1. Схема центральной части спектрометра РИВЕТА, использовавшейся в сеансе 2010 г.: активные замедлитель (АД) и мишень (АТ), mTPC — мини-времяпроекционная камера. Эти пучковые детекторы окружены цилиндрическими многопроволочными пропорциональными камерами (MWPC1,2), двадцатисегментным пластиковым годоскопом с двусторонним считыванием (PV) и сферическим калориметром. Апертура 240-элементного калориметра на основе чистого CsI (12RL) показана штрихпунктирными линиями

останавливается в активной мишени (АТ). Импульсы в мишени от остановки пиона и частиц после его распада регистрируются ФЭУ через цилиндрический воздушный световод длиной 10 см. Форма импульсов с мишени оцифровывается с частотой 2 ГГц, что позволяет разделять распады  $\pi^+ \rightarrow e^+\nu$  и  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$  в мишени. С другой стороны, mTPC, годоскоп (PV), многопроволочные цилиндрические пропорциональные камеры и CsI (чистый)-калориметр дают возможность восстановить полную геометрию события.

Мини-времяпроекционная камера (mTPC) специально разработана для данного эксперимента. Она дает возможность определять траекторию пиона перед мишенью, что позволяет:

- вести мониторинг распределения остановок  $\pi^+$  и  $\mu^+$  в мишени, что необходимо для вычисления акцептанса детектора;
- восстанавливать вершины распада пиона в активной мишени и проводить коррекцию потерь энергии  $\pi^+$ ,  $\mu^+$  и  $e^+$  с учетом неоднородности светосбора в активной мишени;
- восстанавливать длины треков  $e^+$  в мишени для определения потерь энергии  $e^+$  для каждого отдельного события;
- исключать события с  $\pi^+$  и  $\mu^+$ , которые распадаются на лету.

В сеансе 2009 г. mTPC располагалась перед мишенью вне апертуры калориметра. Оптимальное положение mTPC в эксперименте — приближение ее к мишени. Это позволяет максимально исключать события с распадами пионов на лету между активным замедлителем и мишенью, приводящими к ошибкам в измерениях. При этом камера перекрывает часть апертуры калориметра, что требует, чтобы ее конструкция была про-

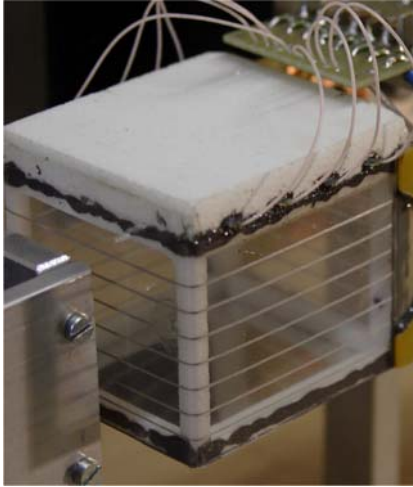


Рис. 2. Фотография mTPC на испытательном стенде. Пропорциональная камера расположена в верхней части mTPC. Видны электроды, формирующие дрейфовое поле

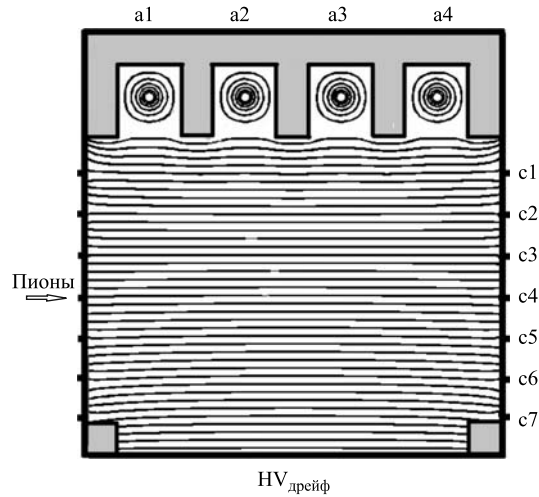


Рис. 3. Моделированное программой GARFIELD электрическое поле mTPC в габаритах детектора: a1–a4 — анодные проволочки (под напряжением  $HV_{\text{анод}}$ ); c1–c7 — полеформирующие электроды;  $HV_{\text{дрейф}}$  — электрод, на который подается напряжение дрейфа. Внешние габариты mTPC  $56 \times 50 \times 51$  мм. Серым цветом показаны детали из пенопласта плотностью 0,1–0,2 г/см<sup>3</sup>

зрачной. Такой вариант максимально облегченной камеры был сделан к сеансу 2010 г. Это позволило приблизить mTPC вплотную к мишени (рис. 1).

Поскольку полученная точность для обеих камер идентична, ниже приводится подробное описание только камеры, использовавшейся в сеансе 2010 г.

Внешние габариты камеры  $56 \times 50 \times 51$  мм определяются размерами центральной части детектора РИВЕТА. Длина дрейфового промежутка и анодной проволочки 40 мм. Камера изготовлена из пенопласта плотностью 0,1–0,2 г/см<sup>3</sup>. Максимальная толщина конструктивных элементов 4 мм. Для уменьшения количества вещества в стенках камеры вырезаны окна, заклеенные лавсановой пленкой, толщиной 20 мкм (рис. 2).

Однородность электрического поля в дрейфовом объеме mTPC обеспечивается высоковольтным электродом  $HV_{\text{дрейф}}$  и семью полеформирующими электродами, которые представляют собой расположенные по периметру дрейфового объема полоски из алюминиевой фольги шириной 0,5 мм и толщиной 5 мкм. Потенциалы на полеформирующих электродах задаются с делителем между высоковольтным электродом  $HV_{\text{дрейф}}$  и землей. Анодные проволочки выполнены из нихромовой проволоки (NiCr) диаметром 12 мкм с линейным сопротивлением  $60 \pm 1$  Ом/см. Проволочки расположены перпендикулярно пучку с шагом 12 мм. Камера продувалась газовой смесью  $CH_4$  (10%) + Ar (90%) при нормальном давлении.

На рис. 3 показаны результаты моделирования с помощью программы GARFIELD электрического поля в дрейфовом объеме mTPC. Также на этом рисунке приведены габариты камеры и расположение соответствующих электродов.

Координаты трека прошедшей через камеру частицы определяются:

$X$  — методом деления тока от лавины на сопротивлении анодной проволоочки;

$Y$  — по времени дрейфа электронов от трека до анодной проволоочки;

$Z$  — по положению сработавшей проволоочки относительно мишени.

Сигналы с двух сторон анодных проволоочек снимаются через высоковольтные разделительные конденсаторы и усиливаются восьмиканальным усилителем AMPL-8.3 [6] с коэффициентом усиления 70 мВ/мкА. Далее через 6-м кабель сигналы поступали на блок CAEN V1720, где оцифровывались с частотой дискретизации 250 МГц. Необходимо отметить, что использование оцифровывания формы импульса позволяет получить как информацию о времени дрейфа, так и соотношение сигналов с разных сторон проволоочек, определяющее положение лавины вдоль проволоочки.

Метод определения координаты по делению токов на анодной проволоочке был использован как наиболее подходящий для нашего детектора [7, 8]. Это связано с ограниченностью пространства в центральной области спектрометра и возможностью использования одного комплекта электроники для определения  $X$ – $Y$ -координат трека. Точность определения координаты таким методом определяется ошибкой в измерении заряда, которая зависит от места лавины вдоль проволоочки и приведенного к входу шума усилителей. Полученная для mTPC точность составила  $\sigma_x \sim 1,3$  мм и  $\sigma_y \sim 0,35$  мм [9].

Рис. 4–6 иллюстрируют работу mTPC. Так, на рис. 4 показаны события с одним и двумя пионами в mTPC и соответствующие им сигналы в мишени. На рис. 5 представлено распределение по количеству треков, зарегистрированных в одном событии. Трековая неэффективность, когда число точек на треке меньше 3, примерно  $5 \cdot 10^{-3}$ .

Итак, в сеансах 2009–2010 гг. камеры проработали более восьми месяцев. Остановлено  $3,94 \cdot 10^{11}$  пионов и зарегистрировано  $2,12 \cdot 10^7$  триггеров, что соответствует статистической неопределенности  $\sim 5 \cdot 10^{-5}$ . В настоящее время ведется обработка экспериментальных данных. Набранная статистика в эксперименте PEN удваивает статистику

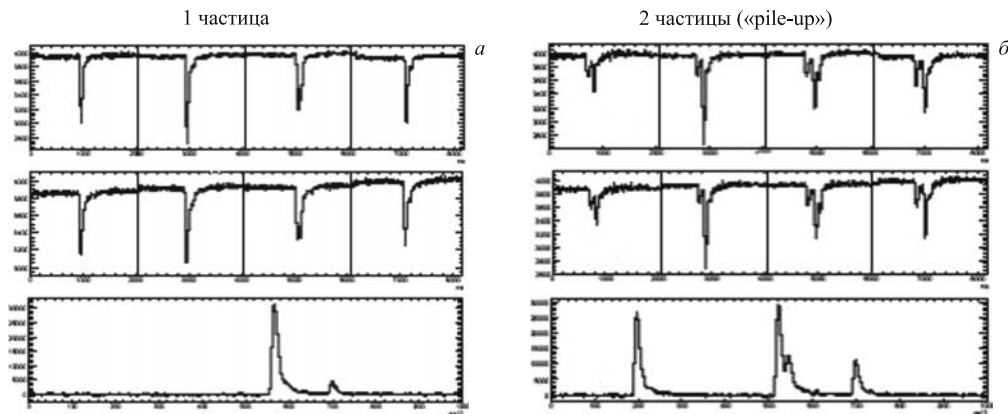


Рис. 4. Оцифрованные сигналы с mTPC и мишени для типичных событий с одним (а) и двумя (б) треками пионов. Два верхних ряда — сигналы с противоположных сторон четырех анодных проволоочек mTPC. Нижний ряд — сигналы в мишени, соответствующие остановкам пионов и позитронов от их распада. Сигналы с одного конца анодных проволоочек даны с постоянным временным сдвигом. Для двухтрекового события время между пионами — около 150 нс

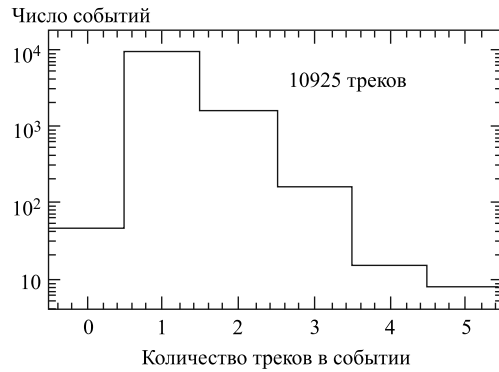


Рис. 5. Гистограмма множественности треков, реконструированных в mTPC

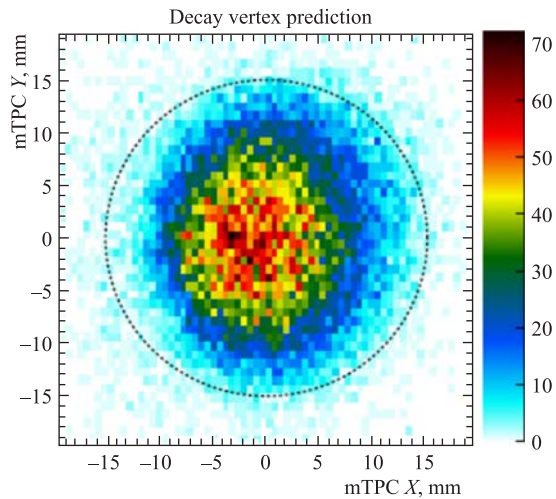


Рис. 6. Проекция треков пучковых пионов на мишень. Пунктирной окружностью показан размер мишени (диаметр 30 мм). Координата  $X$  из деления токов  $\sigma_x < 1,3$  мм, координата  $Y$  по времени дрейфа  $\sigma_y < 0,35$  мм

для радиационных распадов пионов и мюонов, приводя к дальнейшему улучшению точности их измерений в предыдущих экспериментах.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 08-02-00652а.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pocanic D. et al.* Precise Measurement of the  $\pi^+ \rightarrow e^+\nu$  Branching Ratio. Proposal for an Experiment at PSI R-05-01. 2005.
2. *Britton D.I. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1992. V. 68. P. 3000;  
*Czapek G. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1993. V. 70. P. 17.

3. *Marciano W. J., Sirlin A.* // Phys. Rev. Lett. 1993. V. 71. P. 3629;  
*Decker R., Finkemeier M.* // Nucl. Phys. B. 1995. V. 438. P. 17;  
*Cirigliano V., Rosell I.* // Phys. Rev. Lett. 2007. V. 99. P. 231801.
4. *Campbell Bruce A., Ismail Ahmed.* CERN-PH-TH-2008-212. 2008.
5. *Frlez E. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2004. V. 526. P. 300–347.
6. *Alexeev G. D. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2001. V. 462. P. 494–505.
7. *Radeka V.* // IEEE Trans. on NS. 1978. NS-23, 25, 1.
8. *Bird F. et al.* SLAC-PUB-3790. 1985.
9. *Alonzi P.* // April APS Meeting. <http://phys.virginia.edu/talks/index.html>

Получено 30 июня 2011 г.