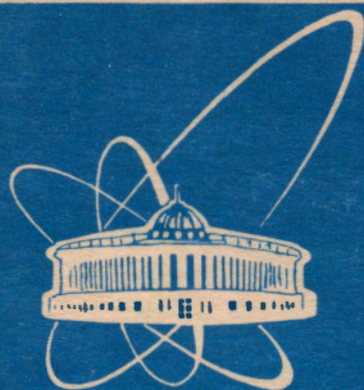


95-92



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13-95-92

В.В.Карпухин, А.С.Коренченко, С.М.Коренченко,
Н.П.Кравчук, Н.А.Кучинский, Ш.Ритг¹, Н.В.Хомутов

ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ
КАМЕРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА
ПО ИЗУЧЕНИЮ РАСПАДА $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

¹Университет Вирджинии, США. В настоящее время работает
в Институте Пауля Шеррера, Швейцария

1995

1 Введение

В настоящее время в PSI (Швейцария) создается установка для точного измерения вероятности распада $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$ (β -распад пиона). Целью эксперимента является точное измерение вероятности β -распада пиона с улучшением точности с 4 до 0,5% на первом этапе и до 0,2–0,3% в последующем. Точное измерение вероятности β -распада пиона на этом уровне позволяет сделать строгую проверку универсальности заряженного кварк-лептонного тока и унитарности матрицы смешивания Кабиббо-Кобаяши-Маскава [1].

Эксперимент планируется провести на мезонной фабрике PSI на пучке π^+ -мезонов с импульсом ~ 100 МэВ/с при интенсивности остановок до $5 \cdot 10^6$ π^+ /с. Относительная вероятность распада $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$ составляет $\sim 10^{-8}$ и для измерения ее со статистической точностью 0,2% понадобится экспозиция длительностью около года ($2 \cdot 10^7$ с). Нормировка будет сделана по распаду $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e$, который детектируется в этой же экспозиции.

Схема эксперимента показана на рис. 1.

Пионы, пройдя пучковые счетчики, останавливаются и распадаются в мишени. Мишень окружена двумя коаксиально расположенными цилиндрическими многопроволочными пропорциональными камерами (ЦМПК) [2, 3], регистрирующими заряженные частицы. За камерами располагается цилиндрический годоскоп из сцинтилляционных счетчиков с высоким временным разрешением. Все это окружено ливневым калориметром, регистрирующим γ -кванты от распада π^0 -мезона. Полный телесный угол установки составляет $\sim 0,77 \cdot 4\pi$ ср.

Две цилиндрические пропорциональные камеры определяют траектории заряженных частиц с точностью ≤ 1 мм и обеспечивают высокую степень подавления случайных совпадений позитронов от распада мюонов. Для уверенной регистрации позитронов с низкими энергиями и для уменьшения вероятности конверсии γ -квантов в веществе камер на электрон-позитронные пары суммарное количество вещества в радиальном сечении камер должно быть порядка 10^{-3} радиационных длин.

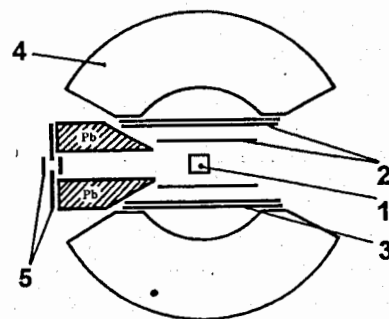


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для точного измерения вероятности бета-распада пиона. 1 – активная мишень, 2 – ЦМПК 1–2, 3 – сцинтилляционные счетчики, 4 – сфера из кристаллов CsI, 5 – пучковый телескоп

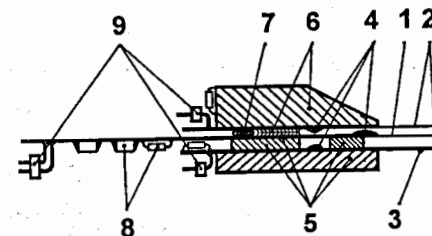


Рис. 2. Сечение ЦМПК (ось вращения проходит горизонтально вниз). 1 – анодные проволочки; 2 – катодные поверхности; 3 – опорный цилиндр; 4 – места подсоединения контактов к анодным проволочкам и катодным стрипам; 5 – элементы внутреннего фланца; 6 – элементы наружного фланца; 7 – газовое уплотнение; 8 – конденсаторы и сопротивления схемы питания и съема информации; 9 – разъемы для подсоединения кабелей к анодным проволочкам и катодным стрипам

2 Конструкция и параметры ЦМПК

Конструктивно камеры установки выполнены как две независимые и самоподдерживающиеся двухкоординатные камеры. Азимутальная координата событий определяется по номерам сработавших проволочек, расположенных по образующей цилиндра. Вторая координата (вдоль оси камеры) вычисляется после обработки сигналов, индуцированных на отдельные плоскости (стрипы), на которые разделены катоды камер. Стрипы имеют спиральную форму с противоположным углом закручивания на внутреннем и наружном катодных цилиндрах.

Рассмотрим подробнее конструкцию камер на примере внутренней камеры. Основные параметры камеры приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные параметры ЦМПК

Активная длина камеры, мм	350
Общая длина камеры, мм	580
Диаметр по аноду, мм	120
Число анодных проволочек	192
Зазор анод-катод, мм	2,5
Сопротивление анодных проволочек, Ом	110
Число стрипов на внутренней поверхности	2 × 64
Угол наклона стрипов на внутренней поверхности, град	36,96
Число стрипов на внешней поверхности	2 × 64
Угол наклона стрипов на внешней поверхности, град	-33,65

На рис. 2 показано сечение камеры.

Фланцы камеры закреплены на тонкостенном лавсановом опорном цилиндре, который поддерживает анодные проволочки в натянутом состоянии. Катоды выполнены в виде сплошных лавсановых цилиндров, на внутренних (по отношению к аноду) поверхностях которых имеются винтовые проводящие полоски — стрипы. Внутренний катод совмещен с опорным цилиндром, а наружный служит газоограничительной оболочкой. Необходимая точность и прочность наружного катодного и опорного цилиндров обеспечивается склеиванием их из нескольких слоев лавсановой пленки, выкроенной специальным образом.

Объемные элементы фланцев камеры отлиты из компаунда — 50% эпоксидной смолы и 50% порошка TiO_2 . Тонкие элементы фланцев склеены из листового стеклотекстолита, на котором имеются печатные проводники в местах закрепления и подсоединения анодных проволочек, катодных стрипов и разъемов.

Анод выполнен из позолоченного вольфрам-рениевого провода (3% Re) диаметром 20 мкм. Измеренное натяжение проволочек после первичной деформации опорного цилиндра составляет 44–48 г. Такое натяжение проволочек достаточно для обеспечения их устойчивой работы при возможных изменениях температуры, влажности и временной усадки опорного цилиндра [4]. Опорный цилиндр испытывался двухкратной нагрузкой.

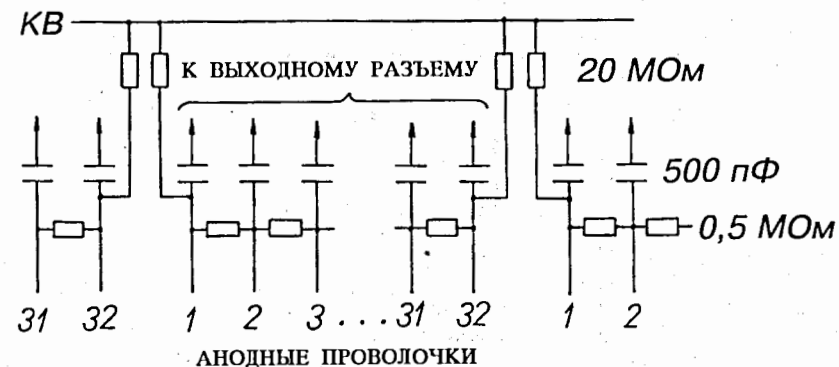


Рис. 3. Электрическая схема высоковольтного питания камеры и съема информации с анодных проволочек

Ширина катодных стрипов 3 мм, расстояние между стрипами 0,4 мм (в перпендикулярном к стрипу направлении). Углы наклона стрипов к основанию цилиндра приведены в табл. 1. Стрипы делают более одного витка на катодном цилиндре, поэтому для устранения неоднозначности в определении координаты вдоль оси камеры и для увеличения нагрузочной способности они разделены пополам, а информация снимается с двух сторон камеры.

В подобных камерах используются катоды с напыленным проводящим покрытием (толщина < 1 мкм), электрический контакт осуществляется проводящей краской. В описываемой камере стрипы выполнены из алюминиевой фольги толщиной 6 мкм, а контактные выводы подсоединяются к ним методом сварки. Это повышает их устойчивость к разрушению под действием электрохимических процессов и разрядов, увеличивает надежность контакта.

Основные геометрические параметры камеры выполнены с точностью $\pm 0,1$ мм.

С целью уменьшения количества вещества в рабочей зоне камеры опорный цилиндр и стрипы имеют минимально допустимую толщину и выполнены из материалов с малым атомным номером (Z). Состав и количество вещества в камере приводятся в табл. 2.

Положительное высокое напряжение подается на анодные проволочки ЦМПК (рис. 3). Проволочки камеры разделены на группы по 32 штуки. В группах они соединены между собой сопротивлениями 0,5 МОм. Высокое

Таблица 2.

Состав, количество и расположение вещества в камере

Элемент	Радиус, мм	Материал	Размеры, мм	Количество вещества	
				мг/см ²	рад.дл. × 10 ⁻³
Опорный цилиндр	57,25	Лавсан	толщина 0,26	36,14	0,906
Внутр. катод	57,5	Алюминий	3 × 0,006 (шаг 3,4)	1,43	0,060
Анод	60,0	Вольфрам	φ 0,02 (шаг 2,0)	0,30	0,045
Внешн. катод	62,5	Алюминий	3 × 0,006 (шаг 3,4)	1,43	0,060
Защитный цилиндр	62,5	Лавсан	толщина 0,105	14,60	0,366
Всего:				53,90	1,442

напряжение подается на крайние проволоочки через сопротивления 20 МОм, ограничивающие ток через камеру. Разбиение проволочек на группы позволяет в случае необходимости индивидуально устанавливать (менять) режим работы отдельных зон камеры. Информация с анодных проволочек снимается через разделительный высоковольтный конденсатор емкостью 500 пФ. Все катодные стрипы соединены с землей сопротивлениями 0,8 МОм, поэтому катодные поверхности имеют нулевой потенциал.

3 Стенд для испытания камер

Блок-схема стенда для испытания камер показана на рис. 4. Сигналы с двух зон анодных проволочек (A1 и A2) подаются на усилители-формирователи BA-32 и запоминаются в блоках задержки и регистрации BR-32, разработанных с использованием микросхем быстрой памяти, частота записи 50 МГц. Весь комплект анодной электроники, в который также входят PC — контроллер считывания крейта блоков BR-32 и CM — драйвер системы, специально разработан в ЛЯП ОИЯИ для эксперимента по поиску перехода мюоний-антимюоний, проводимого в PSI.

Катодные сигналы со стрипов принимаются усилителем тока CSA32 (коэффициент усиления $500 \pm 2\%$, шум усилителя $3300 e^-$). Этот усилитель разработан специально для эксперимента по исследованию распада $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$. Усиленные и задержанные кабельной задержкой (200 нс) сигналы поступают на вход преобразователя заряд-код LeCroy 1882L в стандарте FASTBUS (длительность строба преобразователя 100 нс).

Система считывания запускается при совпадении сигналов со сцинтил-

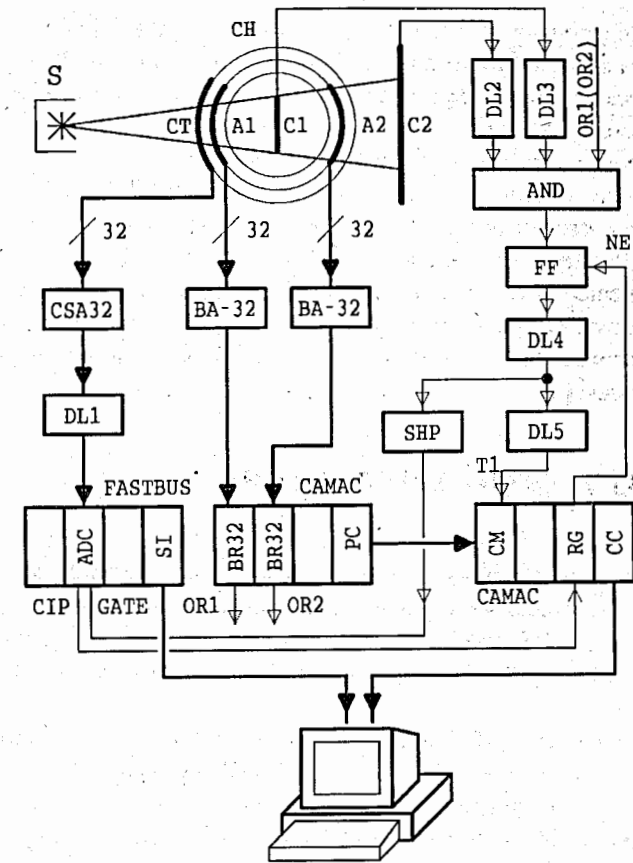


Рис. 4. Блок-схема стенда для испытания камер. S — коллимированный источник ⁹⁰Sr, CH — цилиндрическая камера, C1 и C2 — сцинтилляционные счетчики, BA-32 — анодные усилители-формирователи, CSA32 — катодные усилители, DL1÷DL5 — блоки задержки, BR-32 — блоки регистрации, PC — контроллер крейта блоков BR-32, CM — драйвер системы, FF — триггер синхронизации, SHP — формирователь длительности, RG — регистр управления, CC — контроллер крейта КАМАК, NE — сигнал разрешения приема следующего события, SI — менеджер сегмента, ADC — аналого-цифровой преобразователь

ляционных счетчиков ($C1$ и $C2$) и «быстрого ИЛИ» (OR) с соответствующих групп анодных проволочек. При исследовании анодных проволочек сигнал запуска вырабатывается по триггеру $C1 \cdot C2 \cdot OR2$, а при исследовании стрипов — $C1 \cdot C2 \cdot OR1$. При этом исследовалась группа стрипов, соответствующая группе анодных проволочек $A1$.

По сигналу триггера вырабатывается строб АЦП ($GATE$) длительностью 100 нс и сигнал считывания с анодов $T1$. По окончании работы АЦП (сигнал CIP) данные передаются в ЭВМ типа PC/AT.

Программное обеспечение стенда, написанное на языке TURBO PASCAL, позволяет графически отображать распределение сработавших проволочек и стрипов для отдельных запусков и осуществлять набор соответствующих спектров.

4 Результаты испытания

Описанный выше стенд был использован для испытания камеры в PSI. В качестве источника электронов использовался ^{90}Sr . Камеры продувались стандартной для PSI газовой смесью аргон-этан-фреон (CBF_3) в соотношении 49,9-49,9-0,2%, обеспечивающей газовое усиление $\sim 5 \cdot 10^4$ и низкий уровень шума.

Эффективность срабатывания анодных проволочек при порогах регистрирующей электроники 0,5; 1,2 и 2,0 мкА показана на рис. 5. Здесь также показана эффективность срабатывания стрипов. Стрип считается сработавшим, если амплитуда сигнала с него превышает пьедестал на 100 отсчетов АЦП. Видно, что при пороге регистрирующей электроники для анодов, равном 2,0 мкА, кривые эффективности для анода и катода практически совпадают. Это дает основание в рабочем режиме установить порог регистрации для анода на оптимальном уровне, равном 2,0 мкА.

На рис. 6 представлена эффективность срабатывания катодных стрипов в зависимости от напряжения на камере при условии обязательного срабатывания анодной проволочки в соответствующей группе (триггер $C1 \cdot C2 \cdot OR1$). На этом же рисунке показана зависимость тока утечки камеры от напряжения (без облучения камеры источником).

Для иллюстрации на рис. 7 показан пример распределения сигналов, индуцированных на катодных стрипах

Приведенные в этой работе данные относятся к одной зоне камеры. Более полное описание характеристик камер: эффективность по всему ра-

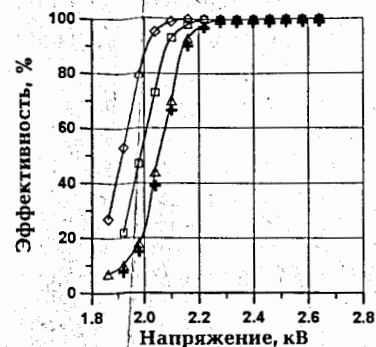


Рис. 5. Анодная эффективность камеры при пороге срабатывания электроники 0,5 мкА (◇); 1,2 мкА (□); 2,0 мкА (△) и эффективность срабатывания катодов (+)

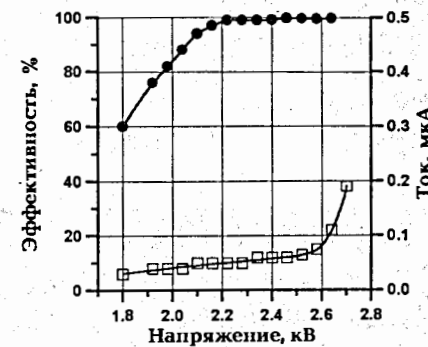


Рис. 6. Эффективность срабатывания катодных стрипов при условии обязательного срабатывания соответствующих анодных проволочек (●) и ток в камере (□)

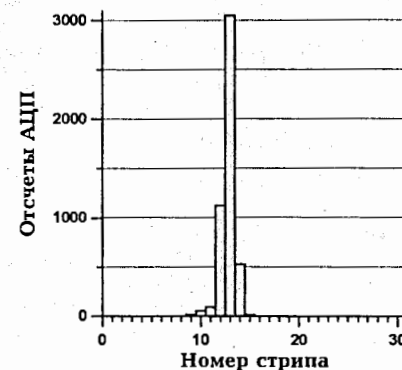


Рис. 7. Пример распределения сигналов, индуцированных на катодных стрипах

бочему объему, точностные, загрузочные и другие характеристики будут получены после сборки комплекса из двух камер и испытания их на пучке ускорителя.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований в рамках проекта № 94-02-06009 и фондом INTAS.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Pocanic D., Assamagan K.A., Day D. et al.* // Proposal for an Experiment at PSI, R 89-01.1, 1991.
- [2] *Кравчук Н.П.* // ЭЧАЯ, 1994, т.25, вып.5, с.1244.
- [3] *Некрасов К.Г.* // Сообщение ОИЯИ P13-92-513, Дубна, 1992.
- [4] *Ванко Ю., Кравчук Н.П., Некрасов К.Г. и др.* // Сообщение ОИЯИ 13-88-468, Дубна, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 марта 1995 года.

Карпухин В.В. и др.

P13-95-92

Цилиндрическая пропорциональная камера для эксперимента по изучению распада $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$

В работе описывается конструкция и характеристики двухкоординатной цилиндрической многопроволочной пропорциональной камеры, изготовленной в ОИЯИ (Дубна) для эксперимента по изучению распада $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$.

Камера диаметром 120 мм и длиной 350 мм выполнена в виде самоподдерживающейся конструкции, содержащей малое количество вещества в радиальном сечении (54 мг/см²).

Координатная информация получается в результате обработки сигналов со 192 анодных проволочек и 256 стрипов. Стрипы размещены на внутреннем и внешнем катодных цилиндрах под углом к проволочкам.

Описывается электроника, разработанная для испытания и эксплуатации камеры: усилители-формирователи для катодных и анодных сигналов, блоки регистрации и задержки, соответствующие контроллер и интерфейс.

Приводятся результаты испытания камеры: эффективность 99% при длине плато 400 В.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1995

Перевод авторов

Karpukhin V.V. et al.

P13-95-92

Cylindrical Proportional Chamber for Experimental Investigation of the Decay $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$

Construction and characteristics of a two-coordinate cylindrical multi-wire proportional chamber manufactured in JINR (Dubna) for experimental investigation of the decay $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$ are described.

The chamber has a diameter of 120 mm and a length of 350 mm. It is made as a self-supporting construction containing small amount of matter in radial cross section (54 mg/cm²).

Information about the coordinates is obtained after processing of the signals from 192 anode wires and 256 strips. The strips are placed on inner and outer cylinders at an angle to the wires.

The electronics developed for testing and operating the chamber: shaping amplifiers for the cathode and anode signals, registration and delay blocks, special controller and interface.

The results of the chamber test are given: efficiency 99% with plato length 400 V.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1995