

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P13-85-644

Ю.Т.Кирюшин, П.Тодоров

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР  
ЭКСПЕРИМЕНТА **BCDMS**  
ПО ИЗУЧЕНИЮ  
ГЛУБОКОНЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ МЮОНОВ

Направлено в журнал  
"Приборы и техника эксперимента"

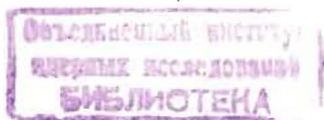
1985

## Введение

Для измерения траектории рассеявшегося мюона в эксперименте Болонья-ЦЕРН-Дубна-Мюнхен-Сакле (BCDMS)<sup>/1/</sup> по глубоконеупругому рассеянию мюонов используются 40 X и 40 Y однокоординатных плоскостей пропорциональных камер размером 3x3 м<sup>2</sup>. Каждая плоскость состоит из двух камер размером 3x1,5 м<sup>2</sup> с несимметричным вырезом 0,5x0,25 м<sup>2</sup> для мишени, расположенным на длинной стороне камеры. Перед установкой камер в спектрометр все они были тщательно испытаны от радиоактивного источника <sup>106</sup>Ru<sup>/2/</sup> либо космических лучей. Эффективность камер определялась как отношение числа срабатываний, зарегистрированных испытываемой камерой в зоне облучения, к числу триггерных событий и была выше 99,5% на плато по напряжению. Восстановление треков при этом не производилось. Другие характеристики камер изложены в работах<sup>/3,4,5/</sup>. Настоящая работа посвящена определению эффективности камер на реальных данных в составе спектрометра, а также исследованию стабильности эффективности камер в течение длительного времени набора данных.

Проведение этих работ обусловлено несколькими причинами:

- необходимостью включения в программу моделирования реальных значений эффективности камер для правильного вычисления структурных функций<sup>/6/</sup>;
- определением поправочного коэффициента, связанного со стабильностью во времени, для эксперимента по измерению электрослабой асимметрии В<sup>/7/</sup> мюон-нуклонного глубоконеупругого рассеяния, поскольку измеряемый эффект очень мал;
- поисками возможностей усовершенствования программы реконструкции событий.



### Пропорциональные камеры в составе спектрометра

Каждая камера изготовлена из двух панелей сотовой структуры и двух разделительных рам, между которыми заключены сигнальные проволочки. Количество материала по пучку  $\sim 0,64 \text{ г/см}^2$ . Общий вид камеры изображен на рис. 1.

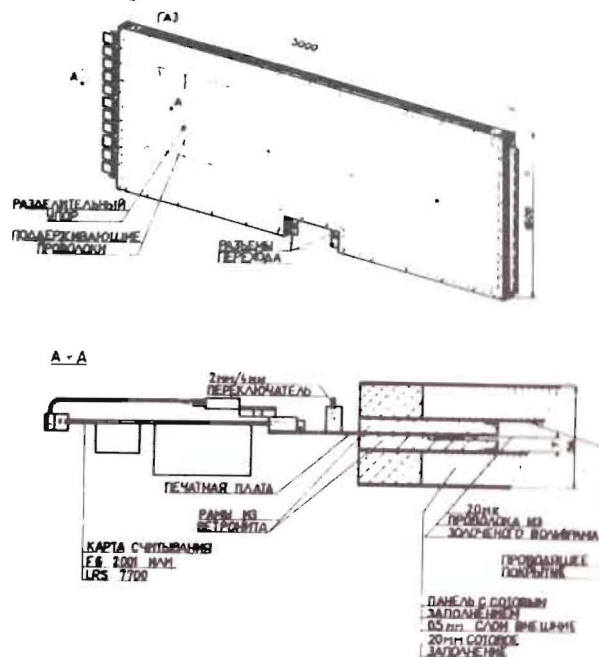


Рис. 1. Общий вид пропорциональной камеры стандартной части спектрометра ВСДМЗ.

Сигнальные проволочки из золочёного вольфрама диаметром 20 мкм натянуты с шагом 2 мм вдоль длинной стороны камеры, а в месте выреза соединены посредством четырёх отрезков плоского кабеля разной длины. Проволочный массив имеет четыре поддерживающие нити, расположенные на

расстояниях  $\pm 240 \text{ мм}$  и  $\pm 800 \text{ мм}$  от центра камеры. Зазор камеры 7 мм, шаг считывания информации 4 мм. В спектрометре камеры закреплены в промежутках между железными модулями магнита. Точность юстировки не хуже  $\pm 0,5 \text{ мм}$ . Электроника считывания информации <sup>8,9/</sup> расположена непосредственно на камерах. Каждый канал имеет два одновибратора задержки, срабатывающих поочередно по входу и объединённых по выходу. Такое включение существенно сокращает неэффективность электроники при высокой нагрузке из-за "мёртвого" времени, обусловленного величиной задержки. Предварительный отбор каналов электроники <sup>10/</sup> обеспечил точность задержки  $470 \pm 7 \text{ нс}$ , а управляющее напряжение задержки выдерживается во всей установке с точностью  $\pm 40 \text{ мВ}$ , что приводит к суммарному разбросу величины задержки не более  $\pm 11 \text{ нс}$ . Порог регистрирующей электроники выбран равным 5 мкА, состав газовой смеси определен по результатам испытаний прототипов камеры <sup>4,5/</sup>: аргон - 68,7%, изобутан - 28%, метилаль - 3%, фреон - 0,3%. Длительность стробирующего сигнала для электроники считывания равна 100 нс, а напряжение высоковольтного питания камер первых пяти супермодулей равно 4,5 кВ, последующих - 4,6 кВ. Логика триггера ВСДМЗ имеет распределённую структуру /см. рис. 2/.

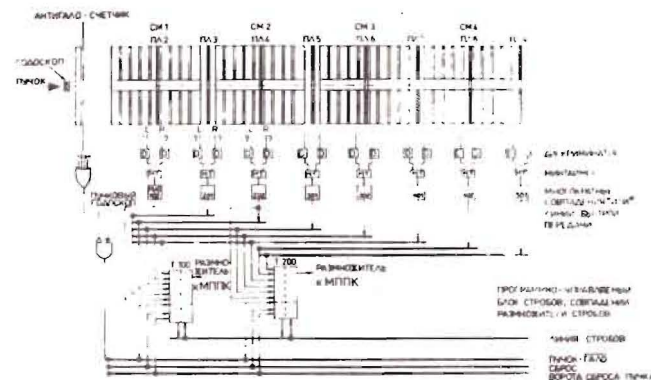


Рис. 2. Распределённая структура логики триггера эксперимента ВСДМЗ.

Каждому супермодулю соответствует триггерная логическая станция, а сигналы с 19 триггерных плоскостей сцинтилляционных счётчиков включены в триггерные станции таким образом, что каждое срабатывание четырёх последовательных плоскостей в совпадении с сигналом пучка даёт триггер. Сигнал пучка вырабатывается пучковым годоскопом при отсут-

ствии сигнала со счётчиков защиты от гало. Время разрешения триггера при эффективности 99% составляет  $\pm 7$  нс. Реконструкция треков в эксперименте VCDMS осуществляется программой восстановления событий PATRAS /11/, в функции которой входят отбор треков по определенным критериям и их интерполяция с помощью кубического многочлена вида

$$X(Z) = A_0 + A_1 Z + A_2 Z^2 + A_3 Z^3.$$

На рис. 3 приведён в качестве примера восстановленный трек, удовлетворяющий критериям отбора.

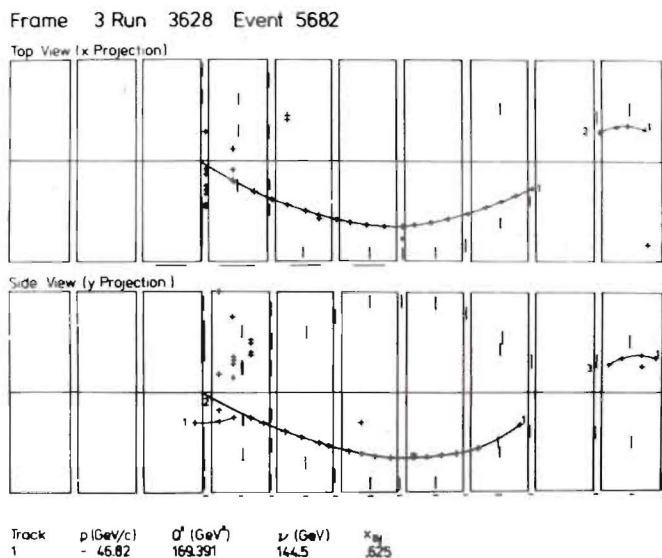


Рис. 3. Восстановленный трек в спектрометре VCDMS, удовлетворяющий критериям отбора.

Вычисление эффективности камер в установке было проведено на реальных данных одного из периодов /PIC 1980/ измерения асимметрии  $V$ . /PIC 1980<sup>+</sup> – принятое нами обозначение периода набора данных:

P – период, I – порядковый номер, C – подпериод, 1980 – год набора, <sup>+</sup> или <sup>-</sup> – заряд пучка/.

Всего было обработано более 100 000 событий при следующих условиях:

- использованы события, в которых программой PATRAS найден только один трек с вычисленными для него параметрами интерполяционного многочлена;

- число сработавших плоскостей по каждой координате для отобранных треков было больше 8;
- в вычислениях использованы только те треки, для которых найдены X и Y координаты;
- исключены зоны неэффективности камер шириной  $\pm 1$  см вблизи поддерживающих нитей, положение которых было определено с точностью  $\pm 1$  мм, и шириной 1 см вдоль всей границы чувствительной зоны.

Изучение всех сработавших проволочек вдоль трека в коридоре  $\pm 2,4$  см показало, что стандартная программа, восстанавливая трек, не учитывала те камеры, у которых в выделенной области сработало больше 4 каналов одновременно /ширина кластера больше 4/. Во-вторых, в силу низкой точности экстраполяционной процедуры восстановления трека в стандартной программе часть истинных событий оказывалась за пределами установленного коридора  $\pm 2,4$  см. Естественно, что использование стандартной программы для вычисления эффективности камер в отдельных случаях приводило к неверным результатам. Поэтому был произведён учёт всех сработавших проволочек, после чего трек повторно интерполирован кубическим многочленом того же типа. Только такие треки использовались в дальнейшем для вычислений.

#### Определение геометрического положения камер в спектрометре

Первым шагом в вычислении эффективности камер стало уточнение их геометрического положения с использованием реальных треков периода PIC 1980. Программа определения "сдвигов", используемая в VCDMS эксперименте, следует простому принципу: проводится локальная интерполяция трека по трём камерам до и трём камерам после исследуемой камеры, а "сдвиг" определяется из разности координат между точкой интерполяции и измеренной точкой в камере. Поскольку интерполяционные коэффициенты сами зависят от положения камер, то вся процедура итерационно повторяется несколько раз. Этот же метод был применён и для определения чувствительной зоны, зоны поддерживающих нитей, угла поворота и эффективности камер.

В результате проведенной обработки установлено, что "сдвиги" камер супермодулей 9 и 10 существенно отличались от тех, которые определены только на основании геодезических измерений. Это видно из таблицы I, где приведены эти разности для камер супермодуля 10.

Таблица I

Камера №	I38	I41	I42	I45	I46	I49	I50	I51	I52
Сдвиги /см/	-0,1	-0,1	-0,12	-0,18	-0,23	-0,21	-0,45	0,22	-0,18
Камера №	I53	I54	I55	I56	I57	I58	I59	I60	
Сдвиги /см/	0,55	-0,45	0,27	-0,43	0,85	-0,65	0,30	-0,60	

Контроль правильности выбранных сдвигов осуществляется измерением расстояния между поддерживающими нитями, которое для всех камер в соответствии с технологией их изготовления является величиной постоянной. На рис. 4 приведены разности для каждой камеры между измеренной и ожидаемой величинами расстояния между поддерживающими нитями. Видно, что отклонение не превышает одной стандартной ошибки.

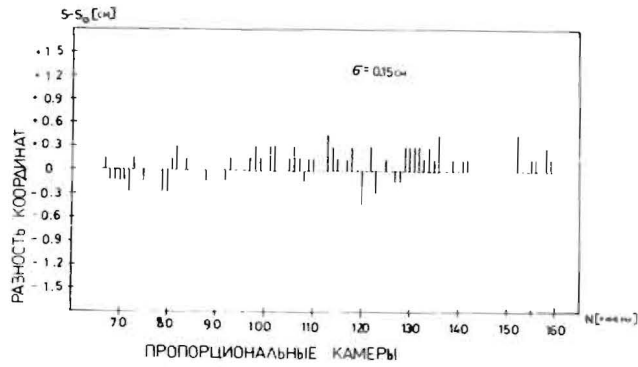


Рис. 4. Разности между измеренной и ожидаемой величинами расстояния между поддерживающими нитями в пропорциональной камере.

Эффективность камер Эффективность камер была определена как отношение

$$\xi = \frac{N_1}{N_2},$$

где  $N_1$  - число срабатываний камеры в области  $\pm 2,4$  см от выделенного трека,  
 $N_2$  - ожидаемое число срабатываний в той же области.

Таблица 2

Средняя эффективность всех камер = 94,49

Средняя эффективность зон I+5 91,91 92,39 92,91 93,45 95,48

№ камеры	I 2 3 4 5 6 7 8 9 10 II 12 13 14 15 16															
	супер-модуля															
2	100,0	93,4	97,5	98,0	96,4	97,8	99,3	98,5	97,9	96,2	97,6	96,3	98,5	98,9	97,7	96,9
3	96,4	97,4	99,2	99,4	97,9	95,6	99,0	96,2	98,8	96,8	98,7	97,2	94,7	95,2	92,6	98,5
4	98,5	97,7	97,7	96,6	0,0	0,0	99,1	98,9	99,1	94,4	95,4	94,4	98,2	98,7	96,8	98,9
5	0,0	96,6	92,7	96,8	96,5	97,1	98,5	98,2	95,8	98,3	97,4	99,2	97,7	98,6	96,6	97,9
6	96,1	96,0	95,7	97,1	97,8	96,6	96,8	97,5	97,5	97,7	95,8	97,5	97,9	96,3	96,9	97,8
7	97,2	97,2	97,9	98,3	95,8	97,8	97,8	98,1	97,6	98,0	97,8	96,9	98,2	96,9	97,3	97,2
8	96,6	97,6	95,7	97,5	95,6	95,7	97,8	96,9	95,5	97,4	96,8	0,0	97,9	97,2	98,1	97,3
9	97,1	96,9	97,4	97,4	92,9	96,0	96,3	97,4	96,8	97,0	98,0	98,6	98,0	97,0	98,2	96,9
10	98,9	98,7	97,0	98,8	98,7	99,1	97,8	98,4	98,6	98,7	99,0	98,3	0,0	0,0	0,0	0,0

Примечание. Камеры, имеющие нулевую эффективность, были выключены из-за нарушений в работе устройств вывода информации.

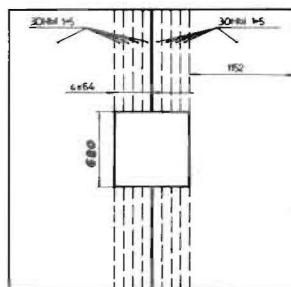
С целью выявления систематических погрешностей проведены исследования и установлено, что эффективность камер не зависит от:

- положения относительно триггерных станций, от которых выработывался запуск установки;
- длины трека в спектрометре, когда  $8 \leq N_x$ ,  $N_y \leq 40$ ;
- положения камеры по длине трека;
- число кластеров в камере.

Эффективность камер почти не меняется от изменения ширины коридора вдоль трека. Так, изменение ширины его от  $\pm 2,4$  см до  $\pm 1,5$  см приводит к изменению вычисленного значения эффективности на  $\sim 0,13\%$ . В таблице 2 приведены значения эффективности камер для периода РИС 1980<sup>+</sup>.

Среднее значение неэффективности по всем камерам составило  $\sim 3\%$ .

Изучение распределения эффективности камеры по площади позволило установить, что в зоне выреза для мишени эффективность камер существенно ниже и имеет определённую структуру. Для правильного учёта структуры распределения эффективности камеры вся площадь была разделена на пять зон относительной стабильности, причём четыре из них расположены в зоне выреза для мишени, как показано на рис. 5. Зоны (I+4) соответствуют тем проволочкам, которые соединены посредством отрезков плоского кабеля. Ширина каждой из зон (I+4) равна 64 мм, зоны 5 - 1152 мм. В среднем неэффективность для зон (I+4) составляет  $\sim 6\%$ , а для зоны 5 - 2%. Причины низкой эффективности камер в зоне выреза требуют дополнительного исследования.



Плоскость, составленная из двух камер

Рис. 5. Зоны относительной стабильности эффективности в пропорциональной камере.

### Стабильность во времени

В течение 1980 года проводился набор данных для измерения электрослабой асимметрии В в мюон-нуклонных взаимодействиях <sup>117</sup>. Поскольку величина эффекта составляет 1% от глубоконеупругого сечения, резко возрастают требования к стабильности работы всей аппаратуры в течение достаточно длительного времени ( $\sim 5$  месяцев) в условиях чередования знака заряда пучка, его интенсивности, интенсивности фона и направления магнитного поля спектрометра. Чередование знака заряда пучка и полярности магнитного поля проводилось через каждые четверо суток, чтобы свести к минимуму систематические ошибки. Всего было проведено 15 периодов. С целью определения поправочного коэффициента в величину асимметрии В, связанного со стабильностью эффективности камер во времени, была определена средняя эффективность каждой камеры в течение отдельного периода набора данных. На рис. 6 и 7 представлено изменение эффективности камер второй половины установки по периодам, причём показано изменение эффективности лучшей и худшей камер каждого супермодуля, все остальные заключены между ними. Видно, что эффективность камер слабо меняется от периода к периоду, за исключением периодов РИС 1980<sup>+</sup> (200 ГэВ) и РИС 1980<sup>-</sup> (200 ГэВ), когда эффективность камер упала на (1,5+2)%. Возможно, это связано с тем, что интенсивность мюонов возросла до величины, большей  $3 \cdot 10^7$  за сброс.

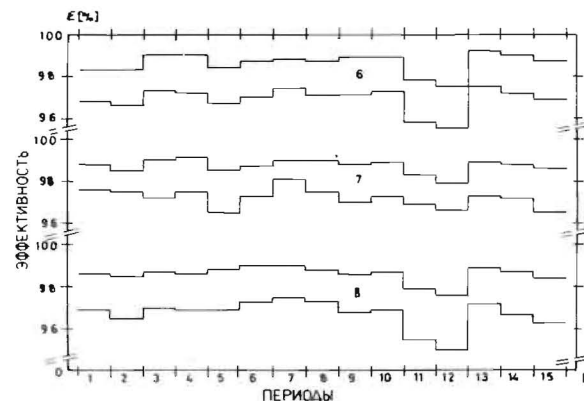


Рис. 6. Изменение эффективности камер супермодулей 6,7 и 8 по периодам набора данных.

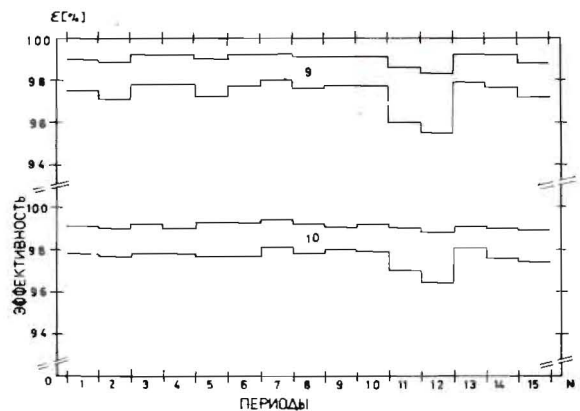


Рис. 7. Изменение эффективности камер супермодулей 9 и 10 по периодам набора данных.

Важно отметить, что внутри одного периода при чередовании знака заряда пучка изменение эффективности камер не превышало 0,2%. Все нерегулярности в работе камер были связаны с отказами в электронике считывания информации, либо, очень редко, с нарушениями проволочного массива, что естественно выводило камеру из строя до ближайшего перерыва в наборе данных.

В среднем, число отказов в электронике считывания составляло 20 из 60000 каналов за 2 месяца непрерывной работы, а обрывов сигнальных проволочек было всего 3 за весь 1980 год. Как результат стабильной работы, величина поправочного коэффициента в вычисленное значение асимметрии  $B$  из-за неэффективности камер составила 0,9% <sup>17/</sup>. Для сравнения можно указать, что величина поправочного коэффициента из-за различия энергий пучков положительно и отрицательно заряженных мюонов составила 12%.

#### Заключение

Проведённые вычисления эффективности пропорциональных камер по данным за 1980 год позволяют заключить:

- каждая камера полностью описывается пятью значениями эффективности в соответствии с делением на зоны;
- значения эффективности стабильны во времени с точностью долей процента;
- отказы в работе камер в основном связаны с выходом из строя отдельных каналов электроники считывания информации.

В течение 1980 года из строя выходило приблизительно 20 каналов из 60 тыс. за 2 месяца непрерывной работы.

В заключение авторы считают приятным долгом выразить благодарность за интерес к работе и полезные обсуждения И.А.Савину, И.А.Голутвину, В.В.Кухтину, Д.А.Смолину, А.Штауде, Ж.Фелтесу и Б.Смадьа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. D.Bollini et al., Nucl. Instr. and Meth. 204, 1983, 333.
2. А.В.Вишневский и др. ОИЯИ. Препринт Р13-10856, Дубна, 1977.
3. А.В.Вишневский и др. ОИЯИ. Препринт Р13-10939, Дубна, 1977.
4. K.Bussmann et al., CERN Report, 76-10, 1976.
5. J.Feltesse et al., CERN-Saclay Report, 76-14, 1976.
6. D.Bollini et al., Phys. Lett. 104, 1981, 403.
7. A.Argento et al., Phys. Lett. 120 B, 1983, 245.
8. PCOS II, Proportional chamber operating system, Le Croy Research Syst. Corp., Spring Valley, New York, 1977.
9. М6, Societe pour l'etude et la fabrication de circuits integres speciaux notes technique No. 78069, 78070, mars 1978, Grenoble, France.
10. I.Golutvin et al., CERN Report 81-39, 1981.
11. R.Brun, CERN-DD/EE/79-3, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 августа 1985 года.