

2018802604



ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

ИТЭФ -- 217 (1987)

~~ИТЭФ -- 87 -- 217~~

А.В.АРЕФЬЕВ, С.И.БУРОВ, И.И.ВОРОБЬЕВ,  
Ю.В.ГАЛАКТИОНОВ, Ю.А.КАМЫШКОВ, А.А.КЛИМЕНТОВ,  
В.А.КУЦЕНКО, А.Г.МАЛИНИН, В.Н.МАРКИЗОВ,  
В.Л.МОРГУНОВ, В.В.ПЛЯСКИН, А.Б.РОЖКОВ, А.Ю.САВИН,  
В.Н.ЧУДАКОВ, М.М.ЧУМАКОВ, С.В.ШЕВЧЕНКО

УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕРКИ  
ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР  
АДРОННОГО КАЛОРИМЕТРА ЛЗ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
КОСМИЧЕСКИХ МЮОНОВ  
Препринт №217

Москва — ЦНИИАтоминформ — 1987

УДК 51.07

И-16

БОТАКОВА Д.В. ПОВЕРКИ ПРОЦЕДУРЫ НАЧЕР  
АДРОННОГО КАЛИБРИМЕТРА ПЗ С ПОМОЩЬЮ РЕАКЦИЙ  
КОСМИЧЕСКИХ НЕЙТРОНОВ : ПРЕПРИНТ ИТЭФ, В. 117  
И. Б. Арефьев, С. И. Буров, И. И. Воробьев и др.  
М. : Институт физики, 1987 - 21с.

Рис. -12, список лит. -5 назв.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных детекторов установки ЛЗ, создаваемой в ЦЕРН для работы на встречных  $e^+e^-$  пучках ЛЕП, является адронный калориметр. Он предназначен для измерения энергии и пространственных характеристик адронной составляющей в событии.

Центральная часть адронного калориметра представляет собой набор из 9 колец по 16 модулей в каждом. Модуль, в свою очередь, состоит из чередующихся слоев абсорбера и детектора (рис. 1). В качестве абсорбера используется обедненный уран толщиной 5 мм, а детектором служат пропорциональные камеры. Камеры в модуле набираются из отдельных прямоугольных трубок сечением 5,6 мм  $\times$  10,6 мм. Поперечный размер камер зависит от порядкового номера слоя. Средняя камера имеет размер 490 мм  $\times$  470 мм и содержит 46 независимых пропорциональных счетчиков. Конструкция калориметра, толщина абсорбера, состав рабочего газа в камерах и пропорциональный режим ее работы были выбраны на основе предварительных исследований, выполненных в ИТЭФ и ЦЕРН [1,2].

Цилиндрическая часть калориметра содержит около 8.000 камер, которые изготавливаются в ИТЭФ (70%), Мичиганском Университете (30%) и ИФВЭ, Пенн (10%).

Режим работы установки ЛЗ (непрерывный набор данных в течение нескольких месяцев и ограниченный доступ к адронному калориметру) предъявляет повышенные требования к надежности работы камер калориметра, что, в свою очередь, приводит к необходимости всесторонней и тщательной их проверки перед сборкой модулей. Для проверки камер в ИТЭФ было создано несколько стендов, на которых измерялись:

1. ток каждого канала камеры в отсутствие источников ионизации на этапе ее сборки с необходимой тренировкой либо заменой проволочки [3];
2. коэффициент газового усиления ( $G$ ) каждого канала и его однородность в пределах каждой камеры с использованием естественного фона урана;
3. долговременная работа камер в условиях, близких к реальным;
4. герметичность камер и высоковольтная прочность.

В данной работе приводятся характеристики стенда для часовой проверки камер в условиях, близких к реальным, с использованием космических частиц. Регистрация космических мюонов позволяла производить измерения круглосуточно и независимо от работы ускорителя. Производительность стенда определялась общим темпом производства камер (30/день), и числом считываний в отдельном канале камеры, необходимым для получения заданной точности измерения коэффициента газового усиления ( $G$ ). Экспозиция и набор статистики производились для 32 проверяемых камер одновременно. Заключение о работоспособности камеры делалось по амплитудным спектрам, измеренным для каждого ее канала.

Важным достоинством стенда является возможность длительной (несколько часов) экспозиции каждой проверяемой камеры в условиях интенсивной ионизации ураном по всей поверхности и заданного высокого напряжения. Измерения коэффициента газового усиления в течение экспозиции дают информацию о возможных скрытых дефектах внутренних поверхностей пропорциональных трубок, а также процессов старения, связанных с отжигиванием конструкционных материалов камеры.

#### УСТАНОВКА

Схема установки приведена на рис. 2. Основу конструкции составляет этажерка с пластинами из обедненного урана и система из 3 сцинтилляционных счетчиков и 3 пар координатных камер. В зазоры между урановыми пластинами вставляются листы из тонкого стеклотекстолита с закрепленными на них камерами и шиной для съема сигналов. Точность установки проверяемых камер относительно координатных  $\pm 2$  мм. В состав установки входят контрольная (реперная) камера, дополнительный пропорциональный счетчик, система датчиков давления и температуры и электроника регистрации. Стена работала "на линии" с мини-ЗЕМ СМ 1420.

Сцинтилляционные счетчики, размером  $1000 \times 500 \times 16$  мм, обрызгивали телескоп для выделения частиц, прошедших в заданном телесном угле. ФЭУ АУР-56 обеспечивали высокую эффективность по всей площади сцинтиллятора.

Наличие урана приводило к росту загрузки сцинтилляционных счетчиков. Были установлены дополнительные экраны из стали толщиной по 20 мм, что позволило снизить фон случайных

совпадений. Введение в триггерную схему разравнивателя с временем запрета 100 нс, запускаемого по ИЛИ(C1,C2,C3), устранило случайные запуски из-за повторных срабатываний дискриминаторов от сигналов с большой амплитудой. Длительность импульсов, подаваемых на вход схемы тройных совпадений, составляла 20 нс.

Совпадение сигналов от 3 сцинтилляционных счетчиков служило триггером для системы опроса координатной и амплитудной электроники. По триггерному сигналу вырабатывались: импульс, отключающий запоминающие емкости от выхода усилителей в каналах измерения амплитуды, импульс "ворот" для координатной электроники и импульс на прерывание для СМ 1420. Затем в компьютер передавались адреса сработавших координатных проволочек и, наконец, последовательно считывались и оцифровывались амплитудные сигналы с проверяемых камер.

Для гистограммирования использовалась информация только о тех событиях, в которых либо: в каждой из 3 координатных камер одной проекции было по 1 сигналу и их координаты лежали на прямой (см. ниже), либо - по 1 сигналу было лишь в двух камерах одной проекции, но на прямой, проведенной через сработавшие проволоочки, было, по крайней мере, два сигнала с исследуемых камер. Требование одиночного срабатывания в координатной камере необходимо для исключения при отборе многотрековых событий.

Определение координат прохождения частиц позволяло сократить число каналов регистрации амплитудных сигналов для проверяемых камер путем объединения каждой восьмой проволоочки в один канал. Такое считывание сокращало также время опроса амплитудной электроники.

Координатные камеры были изготовлены по технологии, принятой для камер адронного калориметра, и имели размер: X-камера -  $615 \times 603 \times 9$  мм (59 проводочек), Y-камеры -  $657 \times 603 \times 9$  мм (62 проводочки). Для обеспечения работы в пропорциональном режиме с максимальной эффективностью координатные камеры продувались чистым метаном и работали при напряжении (HV) 2600 В. Проверяемые камеры продувались смесью  $Ar/CO_2$  (80/20%), выбранной в качестве рабочей для адронного калориметра ЛЗ, и имели рабочее напряжение 1800 В.

Для улучшения точности измерения абсолютных значений величин сигналов с проверяемых камер в состав стенда были включены датчики давления и температуры на также дополнительный пропорциональный счетчик с установленным на нем радиоактивным источником  $Fe-55$ . Сигналы с датчиков, пропорциональные атмосферному давлению (P) и температуре (T), использовались для программной коррекции гистограммных величин амплитуд с целью компенсации влияния T и P на величину коэффициента газового усиления за время экспозиции. Дополнительная пропорциональная трубка с рабочей газой позволяла контролировать состав газовой смеси по положению пика от  $Fe-55$  и с использованием информации о T и P.

Резервная камера представляла собой стандартную камеру, выбранную после многократной проверки. Такая камера постоянно занимала одну из позиций стенда и продувалась рабочей газовой смесью. Сравнение величин ионного сигнала на проверяемых и резервной камерах было независимо от изменений T, P, HV и состава смеси характеристикой коэффициента газового усиления.

Электроника регистрации включала в себя многоканальную систему регистрации амплитуд сигналов, разработанную в Мичиганском университете [5]; многоканальную систему для приема координатной информации ЯМН; электронику триггера, выполненную в стандарте NIM. Сигналы с датчиков T и P и дополнительного пропорционального счетчика с Fe-55 передавались на входы АЦП LIS 2248. Электроника объединялась с СМ 1420 через системный шлейф для накопления гистограмм и организации графической памяти использовалась специальная полупроводниковая плата памяти емкостью 512К бит, подключаемая к СМ 1420 через расширитель системы.

#### МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

На рис. 3 показан типичный амплитудный спектр, набранный для одного канала камеры. Величины амплитуд сигналов и значения порогов здесь и далее приведены в каналах АЦП. В суммарный сигнал идет вклад фон от урана (8-10%), спектр которого имеет медленный спад в области больших амплитуд. Им, в основном, обусловлены "переполнения" - события в последнем канале амплитудной гистограммы. Для уменьшения влияния уранового шума вычисление среднего и дисперсии по спектру амплитуд сигналов производилось на 90% от полного числа событий в амплитудной гистограмме. При этом отбрасывались события в последних каналах.

Нижний порог для величины сигнала, занесенного в гистограмму, был выбран исходя из зависимости  $\langle A \rangle$  - средней амплитуды минимума сигнала, от  $N$  для различных величин нижнего порога и предела обреза (рис. 4). При высоком пороге уменьшается динамический

диапазон и появляется нелинейность в области малых амплитуд, при низком - проявляется неустойчивость "пьедестала" (в гистограмму попадают "пьедестальные" события). Аналогичная зависимость для камер с нормальным и низким коэффициентом газового усиления при обрезании 20% наибольших амплитуд дана на рис. 5. Из последнего рисунка видно, что при пороге "0" величина  $\langle A \rangle$  не отражает зависимость коэффициента газового усиления от  $NV$ , так как существенный вклад в амплитудный спектр вызван сбавываниями от равномерного шума. В результате был выбран порог, равный "2".

Величина "пьедестала" вычислялась как средняя амплитуда случайного спектра. Значения "пьедесталов" для каждого электронного канала определялись при работе в специальном режиме, с генератором от генератора, и записывались на диск. В дальнейшем, соответствующие значения "пьедесталов" вычитались из амплитуд сигналов данного канала при обработке каждого события перед гистограммированием.

На одну амплитудную гистограмму отсчиталось 64 16-битных слова, при этом каждое слово соответствовало одному шагу гистограммы.

Используемая система амплитудной электроники [4] позволяет производить калибровку усилителей путем подачи на вход сигнала известной амплитуды и длительности. Специальный программный режим обеспечивал возможность периодической калибровки усилителей, коэффициенты усиления, полученные при калибровке, также записывались на диск и использовались для относительной коррекции величин амплитудных сигналов с различных каналов электроники.

Точность восстановления трека ограничена многократным кулоновским рассеянием космических мюонов в веществе установки и конечными размерами регистрирующей ячейки (трубки) координатной камеры. Для события, в котором имелись три работавшие координатные камеры одной проекции, прямые по трем точкам проводились методом наименьших квадратов. Был выбран критерий наличия трека:  $\chi^2 < 17$ ,

$$\text{где } \chi^2 = \sum \left( \frac{X_{oi} - X_L}{3.06} \right)^2.$$

При этом дисперсия распределения отклонений работавшей ячейки в средней координатной камере относительно прямой, проведенной по двум крайним точкам, составляет 0.7 см, что согласуется с оценками отклонений из-за многократного рассеяния космических частиц в веществе установки. В соответствии с этим, срабатыванием в испытываемой камере на линии прохождения частицы считалось наличие сигнала в ячейке, которую пересекает линия, или в соседней с ней. Использование событий с двумя работавшими координатными камерами одной проекции (см. выше) и независимая обработка координатной информации в каждой проекции обеспечили существенное увеличение статистики. Необходимость такого подхода диктуется еще и тем, что существует резкое падение геометрической эффективности установки на краях (рис. 9).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Зависимость средней амплитуды сигнала и эффективности проверяемой камеры от HV показана на рис. 6. Видно, что газовое усиление (G) возрастает в 3.2 раза при увеличении HV на 100 В или  $dG/G = 20 \cdot dHV/HV_0$  при  $HV_0 = 1800$  В.

При измерениях эффективности отбирались треки, восстановленные в двух проекциях. Для таких треков координата пересечения с проверяемой камерой должна была лежать внутри прямоугольника со сторонами, отстоящими на 5 см от ее краев, чтобы устранить влияние краевых эффектов. Значение эффективности на "плато" составляет 95% и согласуется с геометрическим значением.

Изменение эффективности испытываемой камеры вдоль трубки представлено на рис. 7. Ее падение вблизи края трубки связано, в основном, с пространственным разрешением. Распределение получено с использованием координатной информации. При этом суммарная статистика по всем каналам камеры накапливалась в одной гистограмме. Набор длился несколько сутокных сеансов с периодическим спасением информации на диск.

На рис. 9,10 даны примеры итоговой выдачи для камеры и суммарной таблицы по окончании сеанса. Величина GAIN в суммарной таблице соответствует отношению  $\langle A \rangle / \langle A_{ref} \rangle$ , где  $\langle A \rangle$  - усредненная по всем каналам амплитуда мощного сигнала в проверяемой,  $\langle A_{ref} \rangle$  - в реперной камере. В распределении по каналам для каждой проверяемой камеры (однородность) MEAN - абсолютное значение  $\langle A \rangle$  для данного канала и RMS даны в каналах АЦП (рис. 9). Параметр наклона, полученный для этого распределения путем проведения прямой методом наименьших квадратов (SLOPE) приведен на рис. 9,10 в %.

Точность определения значения относительного коэффициента газового усиления исследовалась на наборе из 7 камер в 5 измерительных сеансах. Распределение отклонений в измерениях относительного G, для каждого канала, суммировалось в одну гистограмму рис. 8. Дисперсия такого распределения - 3.4%, что отвечает предъявляемым к стенд. требованиям.

## 10

Полный цикл измерений для одного набора камер занимает 24 часа, при этом набор данных продолжается 18-19 часов.

Стена проработала около 1 года без существенных отказов. За время работы стенда было проверено 2200 камер. Суммарное распределение по  $\langle A \rangle / \langle A_{ref} \rangle$  для отдельных трубок дано на рис. 11. Распределение по величине SLOPE приведено на рис. 12. Реализованная в стенде методика позволила выявить эффект старения камер связанный с отгашиванием клея, применявшегося при их сборке.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Galaktionov Y. et al. // Nucl. Instr. and Meth. A251 1986. P.258.
2. Arefiev A. et al. // Nucl. Instr. and Meth. A254 1987. P.529.
3. Буров С.И. и др. // Препринт ИТЭФ 1987. N 191.
4. Ball R.C. et al. // Nucl. Instr. and Meth. 222 1984. P.540.
5. Lindsay J. et al. // Nucl. Instr. and Meth. 156 1978.

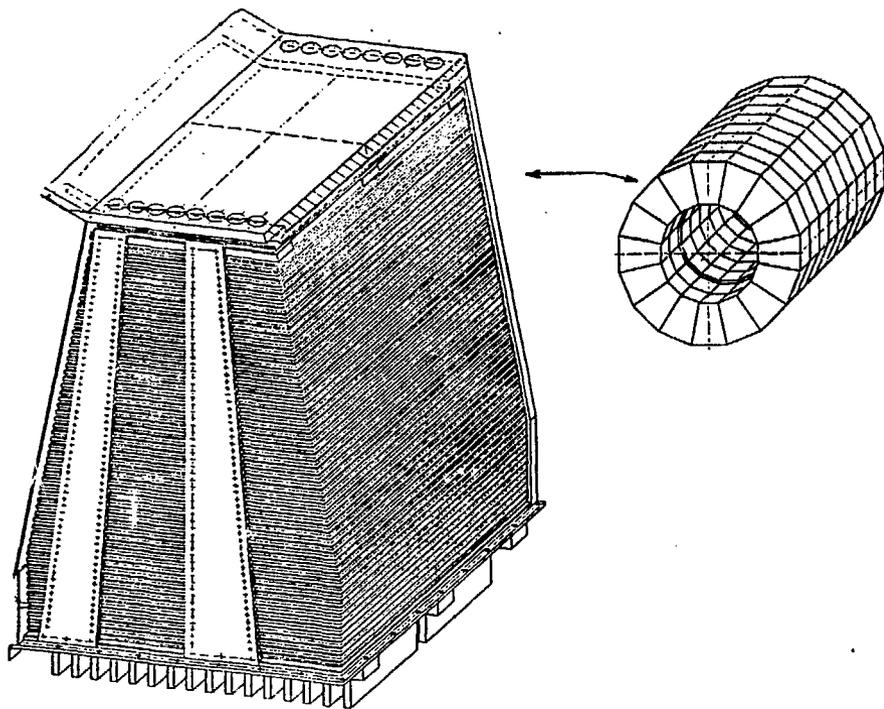


Рис. 1. Адронный калориметр установки 13.

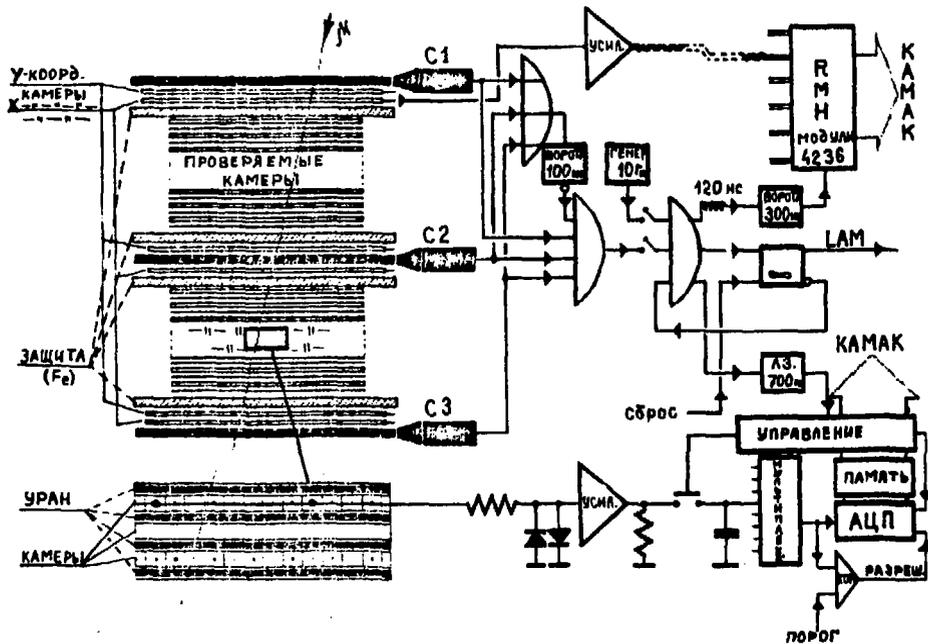


РИС. 2. Схема стенда.

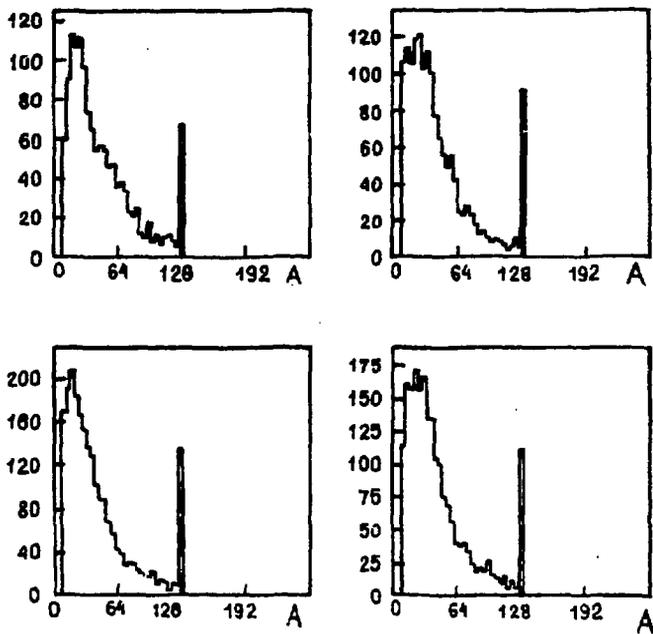


Рис. 3. Спектры сигналов с отдельных каналов проверяемых камер.

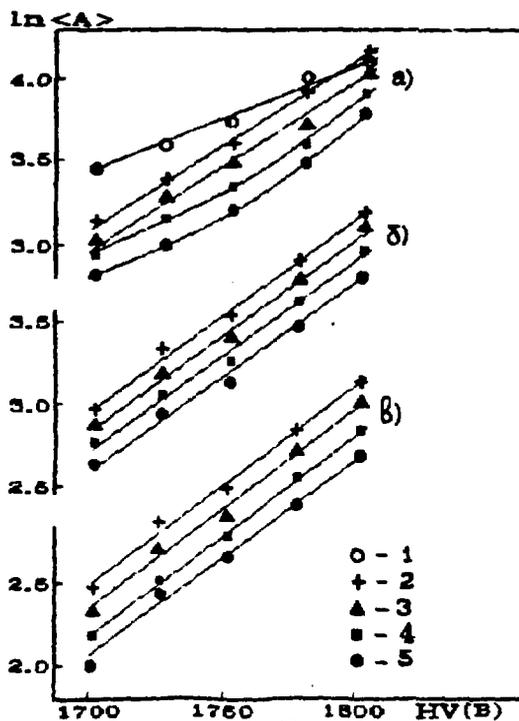


Рис. 4. Зависимость средней амплитуды сигнала от HV при различных значениях порога и предела обрезания спектра. Порог а) =8, б) =4, в) =0.  
 1- Среднее вычисляется по 100% статистики, 2- по 80% , 3- по 70% , 4- по 60% , 5- по 50%.

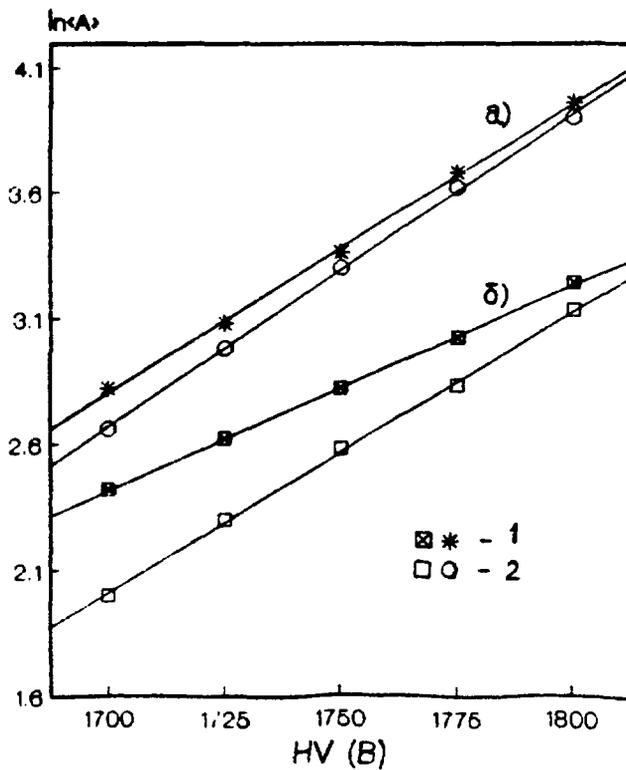


Рис 5. Зависимость средней амплитуды сигнала от  $HV$  для камер с нормальным а) и низким б) усилением. 1-порог =4, 2-порог =0.

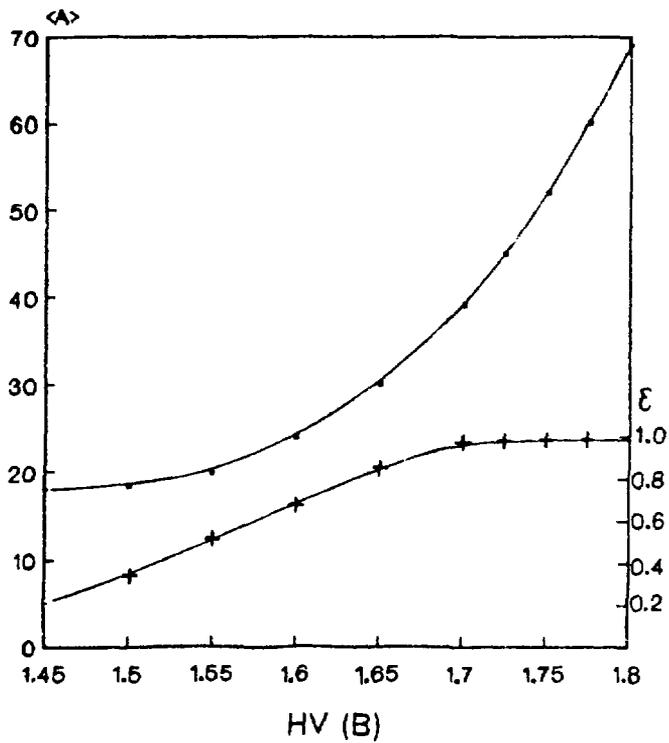


Рис. 6. Зависимость амплитуды мюонного сигнала и эффективности регистрации от HV.

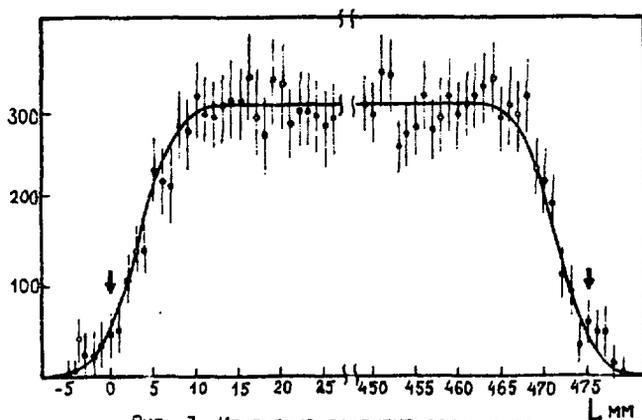


Рис. 7. Изменение эффективности камеры  
вазль трубки.

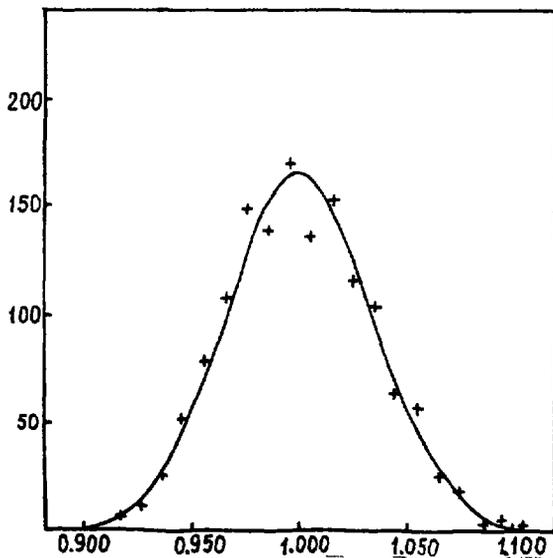


Рис. 8. Точность определения относительного  
коэффициента газового усиления.

COSMIC MUON TEST RUN... 63 09:53:11 07-JAN-87  
 GAS...AR/CD2 B0/20, HV...1800 V, SOFTWARE THRS... 4  
 10:36:31 06-JAN-87 ...09:49:15 07-JAN-87  
 CHAMBER... 100T1439 WIRES... 43 POS... 11

TUBE	EVENTS	MEAN	RMS	GAIN
1.	436	39.83	21.88	0.80
2.	689	42.95	24.51	0.87
3.	974	40.13	22.36	0.81
4.	1245	44.11	24.95	0.89
5.	1399	44.63	26.46	0.90
6.	1577	43.81	24.78	0.88
7.	1521	43.21	24.09	0.87
8.	2084	41.65	33.65	0.84
9.	1764	46.91	28.10	0.95
10.	1823	39.49	22.03	0.80
11.	1964	42.27	24.42	0.85
12.	2104	49.95	29.92	1.01
13.	2157	48.37	27.68	0.97
14.	2261	41.97	24.34	0.85
15.	2115	45.63	25.56	0.92
16.	2931	43.47	35.59	0.88
17.	2273	45.37	26.71	0.91
18.	2288	44.13	26.63	0.89
19.	2414	48.47	27.73	0.98
20.	2498	52.13	30.55	1.05
21.	2509	46.09	26.53	0.93
22.	2624	44.15	25.92	0.89
23.	2285	45.36	26.09	0.92
24.	3029	42.17	34.36	0.85
25.	2412	42.86	25.47	0.87
26.	2187	41.71	24.89	0.84
27.	2321	44.42	26.36	0.89
28.	2320	45.45	28.37	0.92
29.	2353	43.27	25.90	0.87
30.	2364	42.16	24.45	0.85
31.	1994	40.85	23.62	0.82
32.	2596	42.85	34.60	0.87
33.	1934	44.52	26.24	0.90
34.	1839	41.07	24.06	0.83
35.	1785	41.82	23.92	0.84
36.	1714	45.28	24.73	0.91
37.	1665	46.27	26.32	0.93
38.	1675	43.34	26.57	0.91
39.	1239	39.90	22.98	0.81
40.	1489	42.92	33.22	0.87
41.	973	39.74	21.94	0.80
42.	858	32.99	19.75	0.66
43.	546	40.63	23.2	0.87
MEAN	43.49 +/- 3.22			
RMS	26.41 +/- 3.36			
GAIN	0.88 +/- 0.07			
SLOPE	-6.38			

Рис. 9. Итоговый протокол для камеры

```

*****
*
*                               20:41:08 06-FEB-87
*
*           C O S M I C   M U O N   T E S T
*
*
*   RUN... 71
*   HV... 1780 V  AR/002 80/20  <P>,<T>... 739.MM HG,  25.C
*   14:22:34 06-FEB-87...20:40:25 06-FEB-87
*****

```

## LIST OF TESTED CHAMBERS

CHAMBER	WIRES	EVENTS	GAIN	ERRDR	SLOPE
1. I55P1580 (35)		24147	1.11 +/- 0.06	1.2	OK
2. I57P1546 (34)		19707	1.08 +/- 0.06	0.8	OK
3. I57P1535 (34)		25190	0.96 +/- 0.07	-6.3	OK
4. I57P1545 (34)		19959	0.99 +/- 0.04	-2.1	OK
5. I41P1277 (42)		30844	1.02 +/- 0.04	-4.7	OK
6. I49P1126 (38)		23706	0.99 +/- 0.07	0.8	OK
7. I47P1396 (39)		30750	0.89 +/- 0.07	-6.9	OK
8. I49P1116 (38)		24561	0.95 +/- 0.09	5.6	OK
9. I37P1320 (44)		32622	0.96 +/- 0.11	8.4	BAD
10. I29P1166 (48)		30193	1.00 +/- 0.10	0.2	OK
11. I47P1408 (39)		32062	0.89 +/- 0.07	-3.9	OK
12. I29P1154 (48)		31493	0.98 +/- 0.10	2.6	OK
13. I43P1393 (41)		33683	1.03 +/- 0.09	-20.3	BAD
14. I25P1142 (50)		32716	0.83 +/- 0.07	-13.2	OK
15. I55P1383 (35)		29746	0.79 +/- 0.04	5.0	OK
16. I31P1174 (47)		32096	0.86 +/- 0.07	0.2	OK
17. I51P1430 (37)		30446	0.72 +/- 0.05	-1.7	OK
18. I51P1422 (37)		26533	0.94 +/- 0.10	-10.5	BAD
19. I51P1424 (37)		29530	0.88 +/- 0.05	1.9	OK
20. I43P 500 (41)		29400	0.86 +/- 0.08	-8.6	OK
21. I35P1265 (45)		33408	1.09 +/- 0.06	0.3	OK
22. I33P1323 (46)		30325	0.92 +/- 0.05	-2.8	OK
23. I37P1309 (44)		21798	1.07 +/- 0.09	6.7	OK
24. I33P1332 (46)		29464	0.90 +/- 0.06	2.9	OK
25. I37P1312 (44)		30826	1.01 +/- 0.06	6.3	OK
26. I35P1389 (45)		28026	0.93 +/- 0.05	1.5	OK
27. I55P1376 (35)		22784	1.00 +/- 0.09	1.9	OK
28. I35P1294 (45)		27290	0.87 +/- 0.06	3.3	OK
29. I55P1380 (35)		21873	1.09 +/- 0.06	-1.2	OK
30. I55P1371 (35)		20591	1.02 +/- 0.05	-0.3	OK
31. I40T1070 (45)		40044	0.91 +/- 0.07	-5.8	OK
32. I43P1387 (41)		31261	0.94 +/- 0.05	3.1	OK
REF 33. I39P 20 (43)		22503	62.56 +/- 3.69	2.0	OK

Рис. 10. Суммарная итоговая таблица.

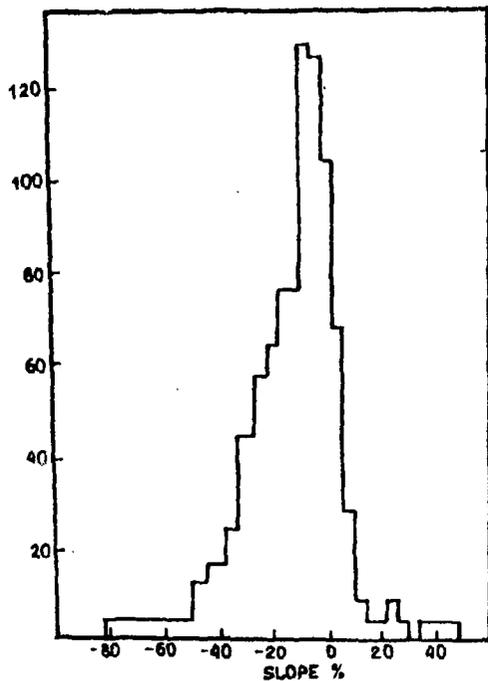


Рис. 12. Распределение для намер по величине SLOPE.

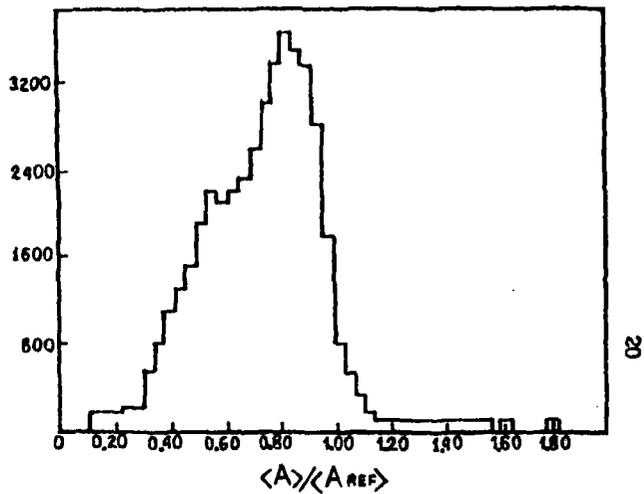


Рис. 11. Суммарное распределение по относительному коэффициенту газового усиления для отдельных трубок.

А. В. Арефьев и др.

Установка для проверки пропорциональных камер адронного калориметра ЛЗ с использованием космических мюонов.

Редактор И. Н. Ломакина

Корректор О. Ю. Ольховникова

Работа поступила в ОНТИ 1.12.87

---

Подписано к печати 18.12.87	T25214	Формат 60x90 1/16
Обсетн. печ. Усл.-печ. л. 1,25.	Уч.-изд. л. 0,9.	Тираж 200 экз.
Заказ 217	Индекс 3624	Цена 13 коп.

---

Отпечатано в ИГиЭ, 117259, Москва, Б. Черемушкинская, 25

13 коп.

ИНДЕКС 3624



М., ПРЕПРИНТ ИТЭФ, 1987, № 217, с.1-20