

90-200

2662/90



сообщения
Объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

344.1c1

P1-90-200

А.С.Водопьянов, Ю.Н.Готра, Н.И.Зимин,
Ал.И.Зинченко, Р.Б.Кадыров, Л.С.Малахова,
В.Н.Поздняков, В.Н.Рыжов, А.Б.Садовский,
В.А.Сутулин, В.Г.Тимофеев, И.А.Тяпкин,
Э.Н.Цыганов

ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
АДРОННОГО КАЛОРИМЕТРА ДЕЛФИ

1990

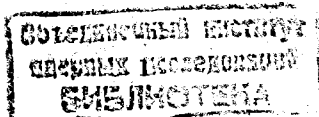
1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных проблем, с которыми приходится сталкиваться в процессе подготовки к работе экспериментальных установок, использующих в большом количестве пластиковые трубки с резистивным покрытием катода, является проблема выбора рабочей газовой смеси. Газовая смесь должна обеспечивать стабильную и надежную работу детекторов в нужном режиме в течение длительного времени. Кроме того, для установок, используемых в закрытых подземных залах, существенным является пожаробезопасность газовой смеси. Все эти требования в полной мере предъявляются к установке ДЕЛФИ, где пластиковые трубки используются в качестве детекторов адронного калориметра^{1/}. Результаты исследований различных газовых смесей представлены в настоящей работе.

Для изучения некоторых особенностей работы адронного калориметра в процессе подготовки к пуску установки ДЕЛФИ нами был собран модуль калориметра в конфигурации, максимально повторяющей реальную. В данной работе приведены результаты исследований одного из процессов, который необходимо будет учитывать при проведении экспериментов - процесса растекания заряда вдоль поверхности детекторов.

2. ИССЛЕДОВАНИЯ НЕГОРЮЧИХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ДЕТЕКТОРОВ АДРОННОГО КАЛОРИМЕТРА

Наиболее распространенным вариантом газовой смеси для пластиковых трубок является смесь, содержащая благородный газ (Ar) и одну или несколько гасящих добавок (углеводороды, CO_2)^{2-5/}. Образцы таких смесей - Ar:Isb в соотношении 1:3 и Ar:CO₂:Isb 1:6:3 использовались при исследованиях детекторов ДЕЛФИ. На рис.1 приведены основные характеристики детекторов для газа Ar:CO₂:Isb - зависимость от напряжения наиболее вероятной величины заряда, собираемого с анодной проволоки от β - источника Ru¹⁰⁶, и счетная характеристика, полученная на космических лучах. Счетная характеристика приведена для двух порогов регистрации - I и IO пКл, которые соответствуют переходам в насыщенный пропорциональный и самогасящийся стримерный режимы работы детекторов (определение насыщенного пропорционального режима см. в^{6/}). Недостатком этих смесей следует считать повышенное содержание изобутана, которое



приводит к нарушению условия пожаробезопасности: отношение объемного содержания горючего газа к негорючему должно быть менее 0,106 для смесей с изобутаном^{/7/}. Кроме того, большое содержание высокомолекулярных соединений в условиях сильноточных стримерного или насыщенного пропорционального режимов работы способствует быстрому "старению" детекторов за счет полимеризации углеводородов на их внутренней поверхности^{/8/}. Поэтому мы попытались найти газовую смесь с малым содержанием изобутана (менее 10%).

Измерения проводились с использованием стандартных детекторов ДЕЛФИ длиной 3,6 м. Они представляют собой восемь квадратных ячеек размером 9x9 мм, помещенных в один газовый объем. Отметим, что используемые трубки имели замкнутую геометрию, то есть катод окружал анодную проволочку с четырех сторон. В качестве анода использовалась Cu:Be проволока диаметром 81 мкм.

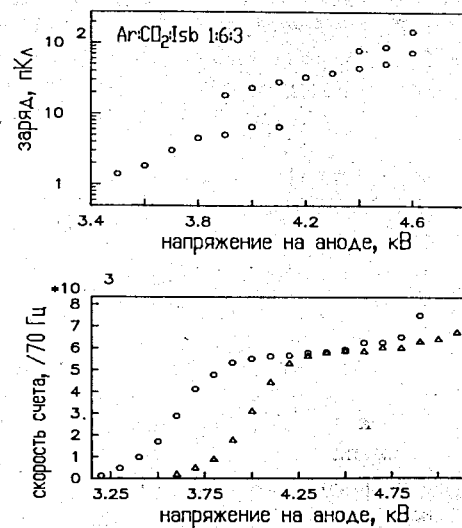


Рис.1. Основные характеристики пластиковых трубок, полученные при использовании газовой смеси Ar:CO₂:Isb в соотношении 1:6:3. Вверху - зависимость от напряжения наиболее вероятной величины заряда с анодной проволочки, внизу - счетная характеристика (кружки соответствуют порогу регистрации 1 пКи, треугольники - 10 пКи).

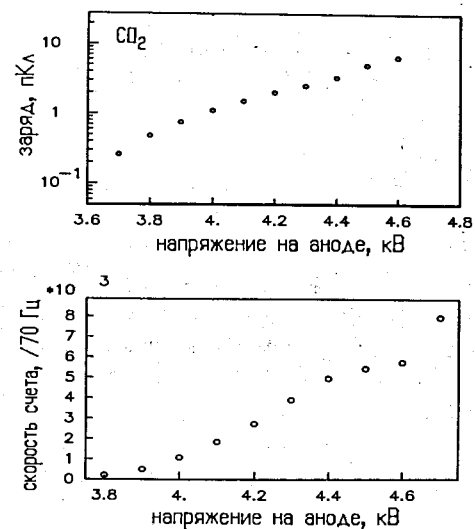


Рис.2. То же, что и на рис.1, для CO₂.

В ряде публикаций^{/9,10/} приведены данные, свидетельствующие о возможности работы некоторых типов детекторов в сильноточных режимах с использованием газовых смесей, не содержащих органических добавок. Однако результаты сильно зависят от конструктивных особенностей детекторов, поэтому необходимо было проверить эти выводы для используемых нами трубок. На рис.2 приведены результаты, полученные для детекторов, работающих на чистом CO₂, а на рис.3 представлена счетная характеристика для газовой смеси Ar:CO₂ в соотношении 5:95. Видно, что в чистом CO₂ не удается достичь перехода в сильноточный режим работы. Кроме того, для обеих смесей характерно отсутствие плато счетной характеристики, обусловленное появлением большого числа послеимпульсов. Таким образом, в исследуемом варианте детекторов не удается использовать газ без органических добавок.

На рис.4 приведены счетные характеристики детекторов, работающих на газовых смесях с органическими добавками, однако доля изобутана была фиксирована на уровне 9%, что обеспечивало пожаробезопасность газа. Из приведенных данных видно, что смесь с долей аргона от 0% до 5% может быть использована в качестве рабочей, особенно при работе в насыщенном пропорциональном режиме.

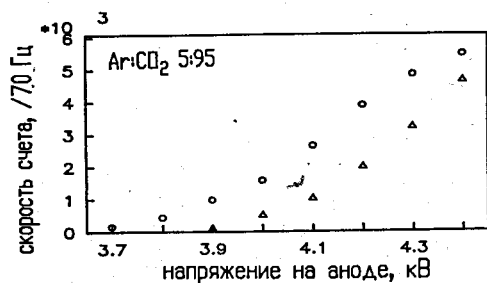


Рис.3. Счетная характеристика детекторов для газа $Ar:CO_2$ в соотношении 5:95 (кружки - порог регистрации 1 пКи, треугольники - 10 пКи).

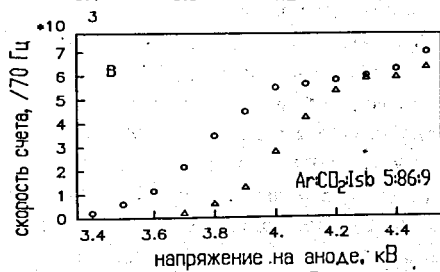
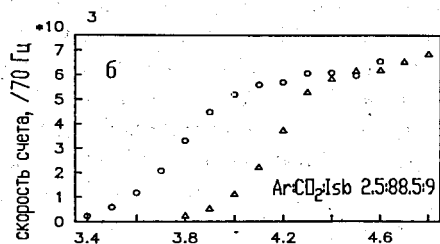
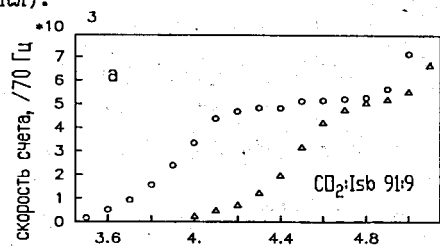


Рис.4. То же, что и на рис.3, для газовых смесей с использованием изобутана: а - смесь $CO_2:Isb$ в соотношении 91:9; б - $Ar:CO_2:Isb$ 2,5:88,5:9; в - $Ar:CO_2:Isb$ 5:86:9.

Как уже отмечалось, газовая смесь должна обеспечивать возможность долговременной стабильной работы большого числа детекторов в выбранном режиме. Исследования такого рода были проведены в ОИЯИ на прототипе модуля цилиндрической части адронного калориметра ДЕЛФИ¹¹¹. Целью этих исследований был подбор устойчивого режима работы детекторов на газовых смесях с малым содержанием изобутана. Общее число детекторов в оснащённом модуле составляло 219. В процессе работы регистрировался полный ток, потребляемый модулем, с одновременным контролем величины заряда от прохождения космических мюонов.

На рис.5 приведена зависимость тока от времени для газовой смеси $CO_2:Isb$ 91:9 при рабочем напряжении 4,5 кВ. Оно было

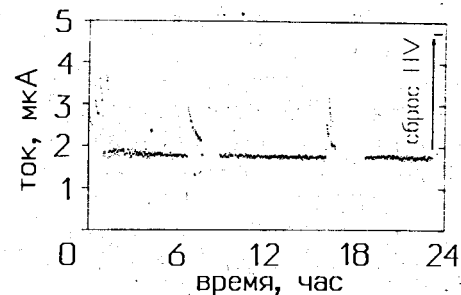


Рис.5. Зависимость тока, потребляемого детекторами модуля адронного калориметра, от времени. Газ $CO_2:Isb$ 91:9. Рабочее напряжение 4,5 кВ.

выбрано, исходя из требования получения сигнала со съёмного электрода от прохождения частицы с минимальной ионизацией около 10 пКи, т.е. из области напряжений, соответствующей самогасящемуся стримерному режиму. Через 24 часа непрерывной работы произошло отключение высоковольтного питания по превышению тока. Причиной этого был выход из строя одного из детекторов за счет перегорания анодной проволоочки. Такие же испытания были проведены для смеси $Ar:CO_2:Isb$ 2,5:88,5:9. Через 35 часов последовал аналогичный отказ еще одной трубки. Таким образом, приведенные результаты еще раз свидетельствуют о том, что работа пластиковых трубок в самогасящемся стримерном режиме недостаточно надежна и предъявляет повышенные требования к качеству изготовления детекторов, составу газовой смеси и системе обеспечения установки.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТЕКАНИЯ ЗАРЯДА В МОДУЛЕ АДРОННОГО КАЛОРИМЕТРА ДЕЛФИ

В установке ДЕЛФИ съем информации с пластиковых трубок осуществляется с помощью считывающих электродов, на которые наводится сигнал при срабатывании детекторов. Емкостное растекание заряда вдоль поверхности трубок приводит к уменьшению сигнала на считывающей площадке, через которую прошла частица, и к появлению заряда на соседних площадках. В результате может возникнуть неоднозначность интерпретации информации с адронного калориметра в процессе проведения экспериментов.

Работы, посвященные исследованиям растекания заряда по резистивному катоду пластиковых трубок, проводились и ранее^{12,13/}, однако измерения и расчеты осуществлялись для тестовых конфигураций. Для нас же было важно исследовать этот процесс в реальной установке, с тем чтобы прямо использовать данные в эксперименте. Измерения проводились на полномасштабном модуле, описанном в части I. Он работал в режиме регистрации космических мюонов. Использовалась стандартная электроника ДЕЛФИ, снабженная дополнительными предусилителями^{11/} для обеспечения возможности работы детекторов в насыщенном пропорциональном режиме. Запуск установки осуществлялся при совпадении сигналов с двух триггерных плоскостей детекторов, расположенных сверху и снизу модуля. Из-за того, что одним каналом электроники считывается сигнал с пяти последовательных по глубине площадок считывающих электродов (с "башни"), т.е. с пяти плоскостей детекторов, необходимо было выработать строгие критерии отбора мюонных треков, проходящих через всю толщину башни. Результаты отбора можно было контролировать визуально в процессе графического анализа информации с установки. На рис. 6а и 6б приведены картины распределения наведенного на считывающие электроды заряда для двух времен интегрирования - 1,5 и 4 мкс.

Набор статистики проводился в течение нескольких дней, поэтому для исключения влияния неконтролируемых изменений условий работы детекторов мы брали за экспериментальные данные не абсолютные величины зарядов, собранных на считывающие электроды, а относительные. В частности, мы использовали отношение сигнала с центральной башни (через которую прошла частица), к сумме зарядов с 5 соседних башен, расположенных вдоль детекторов (центральной и по две с каждой стороны от нее). Полученные результаты приведены на рис. 7.

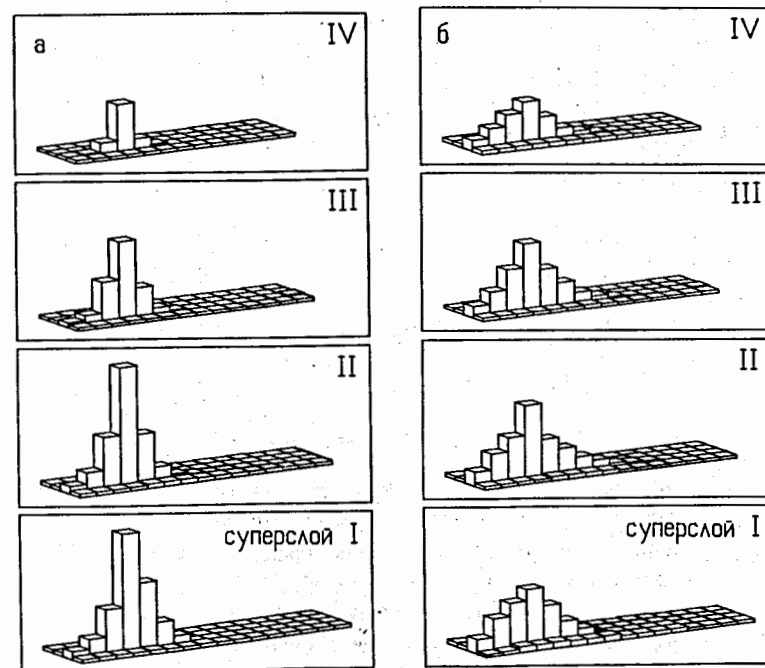


Рис. 6. Распределение заряда по башням в суперслоях модуля от прохождения космического мюона: а - время интегрирования заряда 1,5 мкс, б - 4 мкс.

Для описания процесса распространения заряда мы применили одномерное уравнение диффузии, решение которого для импульсного заряда Q_0 , инжектируемого в момент времени $t=0$ в точку катода с координатой $x=0$, имеет вид^{12/}:

$$q(x, t) = \frac{Q_0}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{rc}{t}} \exp\left[-\frac{rc}{t} x^2\right], \quad (1)$$

где $q(x, t)$ - плотность заряда в точке x в момент времени t , r и c - сопротивление и емкость единицы длины детектора. Заряд, собранный на считывающую площадку длиной $l=x_2-x_1$ (около 20 см), представляется следующим выражением:

$$Q(t) = \int_{x_1}^{x_2} q(x, t) dx = \frac{Q_0}{2} [\operatorname{erf}(\sqrt{\frac{rc}{t}} x_2) - \operatorname{erf}(\sqrt{\frac{rc}{t}} x_1)], \quad (2)$$

где erf - функция ошибок.

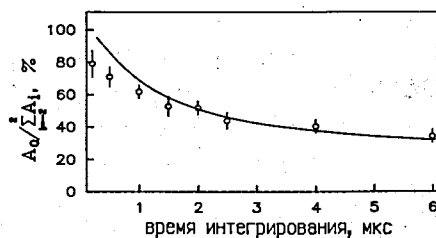


Рис. 7. Отношение сигнала с центральной башни (через которую прошла частица) к сумме сигналов с 5 соседних башен, расположенных вдоль детекторов (центральной и по две с каждой стороны от нее), в зависимости от времени интегрирования заряда. Кривая - результат фитирования выражением (2). Три левые точки не учтены при фитировании.

Строго говоря, использование формулы (2) в нашем случае было затруднено тем обстоятельством, что начало интегрирования заряда запаздывало относительно начала сигнала из-за задержки в схеме выработки триггера. Учет этой задержки потребовал бы точного моделирования формы импульса на входе интегратора, что трудно осуществить по причине сложности описания системы. Однако, учитывая, что нас прежде всего интересовала картина распределения заряда при больших временах интегрирования, мы использовали формулу (2) для фитирования экспериментальных точек. Для уменьшения влияния неточности описания исследуемой системы одномерным уравнением, а также для исключения влияния переходных процессов, происходящих в цепях сбора заряда и длящихся около $1 \text{ мкс}^{14/}$, данные для времен интегрирования менее 1,5 мкс не учитывались при фитировании. Кроме того, из-за невозможности отбора мюонных треков, проходящих через центр всей башни, при

расчете проводилось усреднение по разным точкам попадания мюонов в считывающие площадки.

Приведенная на рис. 7 кривая представляет собой результат фитирования. Полученное значение параметра rc составляет $3,6 \pm 0,4 \text{ нс/см}^2$, что согласуется с результатом, полученным в [13]. Рассчитанные для найденного параметра rc зависимости зарядов, наведенных на центральную и соседнюю с ней башни, от времени интегрирования изображены на рис. 8. Видно, что при больших временах интегрирования процесс растекания заряда может существенно изменить отклик калориметра, и это необходимо учитывать в процессе обработки экспериментальной информации.

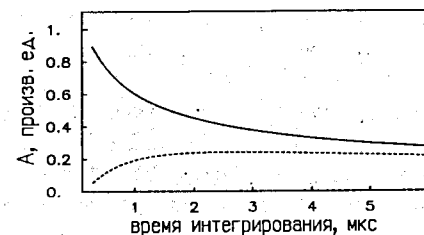


Рис. 8. Зависимости от времени зарядов, наведенных на центральную и соседнюю с ней башни, рассчитанные по формуле (2) для найденного параметра растекания: сплошная линия соответствует центральной башне, пунктирная - соседней с ней.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в работе данные по исследованиям негорючих газовых смесей для пластиковых трубок позволяют сделать вывод о возможности применения смесей типа $\text{Ar}:\text{CO}_2:\text{Isb}$ с долей изобутана 9% и аргона от 0% до 5% при работе детекторов в насыщенном пропорциональном режиме. Еще раз показано, что самогасящийся стримерный режим предъявляет повышенные требования к качеству изготовления и условиям эксплуатации пластиковых трубок.

Исследования растекания заряда в модуле адронного калориметра продемонстрировали возможность удовлетворительного описания этого процесса с помощью одномерного уравнения диффузии. Полученная

константа растекания может быть использована при интерпретации экспериментальных данных с установки. Данные предполагается использовать при модернизации установки ДЕЛФИ для работы на комплексе ЛЭП с повышенной светимостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. DELPHI progress report, CERN/LEPC/84-16.
2. V.M.Golovatyuk et al. Nucl. Instr. and Meth. A236 (1985) 306.
3. V.Lapin, V.Obratsov. DELPHI 85-59 CAL-14, 1985.
4. M.Carla et al. Nucl. Instr. and Meth. A260 (1987) 368.
5. G.Artusi et al. Nucl. Instr. and Meth. A279 (1989) 523.
6. N.A.Filatova et al. Nucl. Instr. and Meth. A272 (1988) 707.
7. S.Cartwright et al. Nucl. Instr. and Meth., A277 (1989) 269.
8. J.Va'vra. SLAC-PUB-3882, 1986.
9. Y.Kamyshkov et al. Nucl. Instr. and Meth. A257 (1987) 125.
10. H.Bergstein et al. Nucl. Instr. and Meth. A269 (1988) 560.
11. N.A.Filatova et al. Nucl. Instr. and Meth. A279 (1989) 518.
12. E.Gygi, F.Schneider. CERN EP Int./83-06 (1983).
13. M.Ellilä. Nucl. Instr. and Meth., A277 (1989) 507.
14. M.Ellilä, M.Laakso. DELPHI 86-71 CAL-39, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 марта 1990 года.