

98-320



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

98-320

P13-98-320

Р.А.Асатурян¹, Р.А.Астабатьян¹, М.П.Иванов,
Р.Л.Кавалов¹, А.Куглер², Э.Р.Маркарян¹, В.А.Маслов,
Л.Михайлов², Ю.Э.Пенионжкевич, Ю.Г.Соболев

СИСТЕМА КООРДИНАТНЫХ
МНОГОПРОВОЛОЧНЫХ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ
КАМЕР УСТАНОВКИ MULTI

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

¹Ереванский физический институт, Ереван, Армения

²Институт ядерной физики Чешской академии наук, Ржеж,
Республика Чехия

1998

Введение

В работах [1,2] описана многомодульная экспериментальная установка MULTI для изучения малоугловых корреляций между заряженными частицами, образующихся при распаде ядерных систем. Одной из интересных задач, решаемых на этой установке, является изучение распада ядра ${}^8\text{Be}$ с протонным гало на составляющие его кластеры. В таких корреляционных экспериментах важным измеряемым параметром является относительный импульс регистрируемой пары частиц с их надежной идентификацией. Поэтому основными параметрами установки являются энергетическое, изотопное и угловое разрешения выделенной пары коррелированных частиц. В работах [1, 2] приводились первые результаты испытаний установки MULTI на ускорителе У-400М и была описана ее координатная часть на основе многопроволочных пропорциональных камер (МПК) без приведения результатов ее испытаний на пучке ускорителя.

Вопросы методики МПК рассматривались во многих работах (см., например, [3,4]), а в настоящее время их разными модификациями оснащены все современные экспериментальные установки в физике высоких энергий.

Целью настоящей работы являлось испытание на пучке тяжелых ионов системы МПК установки MULTI, оценка основных характеристик МПК при регистрации продуктов ядерных реакций с разными ионизирующими способностями (в нашей задаче р и ${}^7\text{Be}$).

Система МПК

Общий вид спектрометра MULTI показан на рис. 1а. Установка состоит из полупроводникового телескопа, 19-модульного пластик-BGO-спектрометра и МПК. Система МПК выполнена в едином вакуумно-плотном объеме и составлена из двух передних (X1, Y1) и четырех задних (X2, Y2), (X3, Y3) координатных плоскостей (рис.1б). Система МПК является модернизированным и дополненным вариантом газовой камеры, предназначенной ранее для регистрации и идентификации продуктов фотофрагментации ядер [5,6]. Общая длина камеры 230 мм, максимальный угловой захват составляет более 100 мср. Входное и выходное майларовые окна диаметрами 80 и 100 мм, толщиной 8 и 20 мкм поддерживаются проволочными сетками высокой (97 %) прозрачности. Камера



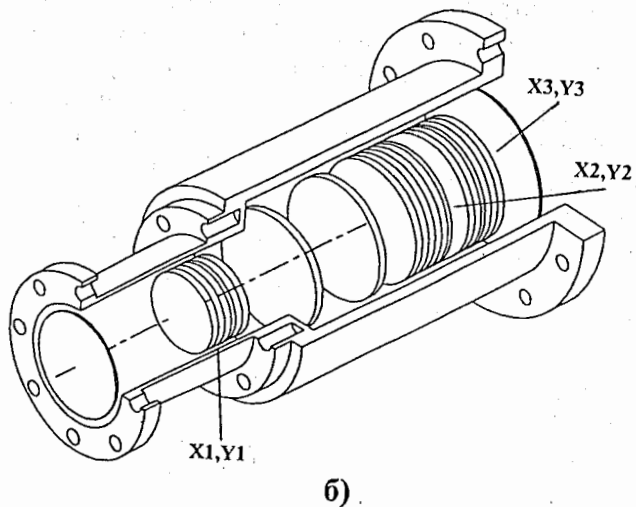
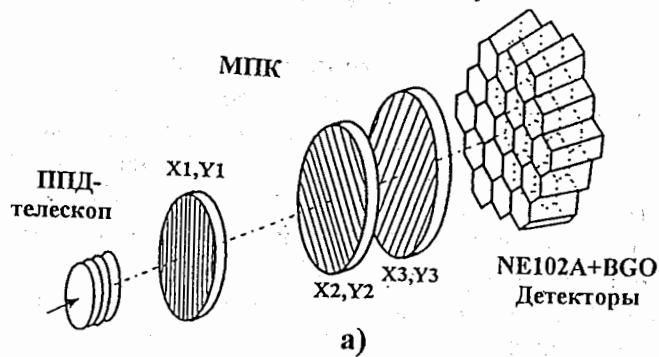


Рис.1. Общий вид установки MULTI (а), схематический разрез координатной камеры установки с системой МПК (б)

работает при стационарном газовом наполнении. После форвакуумной очистки объема камеры разовая заправка ~ 3 л рабочей газовой смеси обеспечивает стабильную работу МПК в течение 15-20 часов. В качестве рабочего газа используется смесь $Ag+CH_4$ при атмосферном давлении (с добавкой паров метилала при стендовых испытаниях частицами с минимальной ионизирующей способностью от изотопов ^{55}Fe и ^{90}Sr). Все МПК изготовлены из концентрических плоскостей фольгированного стеклотекстолита. Сигнальные нити диаметром 20 мкм натянуты с шагом 2 мм. Катоды – сплошные электроды из наклеенного на рамы металлизированного

майлара толщиной 3 мкм. Суммарное количество вещества камеры, включающей в себя (3 x 6) плоскостей МПК, входное и выходное окна, рабочий газ, составляет не более 50 мг/см^2 . Сигнальные нити МПК формируют 256 информационных каналов, в том числе по 32 канала для передних (X_1, Y_1) и по 48 каналов для задних (X_2, Y_2), (X_3, Y_3) координатных плоскостей.

Система считывания информации с МПК организована на базе аналоговых блоков электроники типа РПК-32, разработанных в ОИЯИ [7]. По своим функциональным возможностям РПК-32 аналогичен системам типа PCOS II. Электроника регистрации выполнена в виде карт на 32 канала, содержащих входные предусилители-формирователи и ОЗУ общим объемом памяти 32×16 разрядных слов. Имеется возможность измерения временной координаты регистрируемого события. Время считывания координаты ~ 400 мкс. Выходы МПК подключаются к картам 2-метровыми ленточными кабелями. Общее число карт, обслуживающих систему МПК, равно восьми. На рис.2 схематично

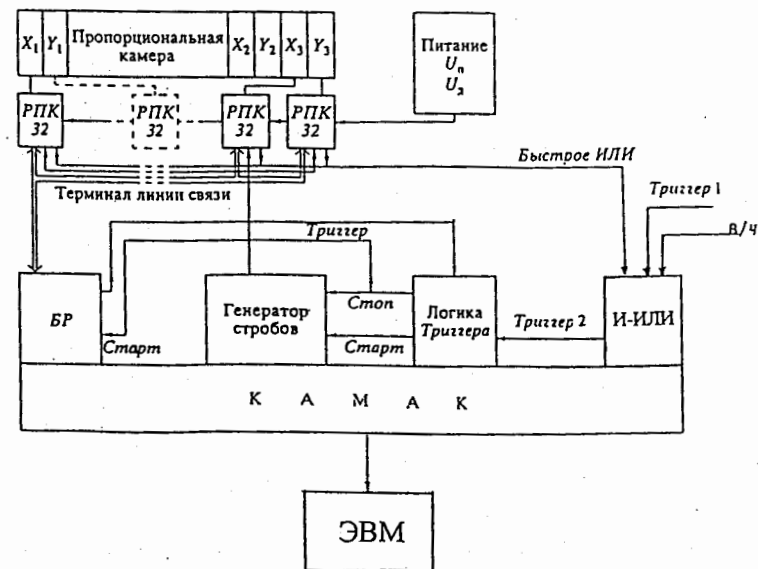


Рис.2. Блок-схема считывания информации с МПК:

РПК-32 - карты регистрации сигналов; БР- контроллер считывания с буферной памятью; "И-ИЛИ" - программно-управляемый блок логических функций; в/ч - сигнал высокой частоты ускорителя

показана логика считывания информации, позволяющая использовать сигналы "быстрый ИЛИ" со всех восьми карт и формировать триггерный сигнал второго уровня для считывания информации с МПК, а по необходимости также для всей установки MULTI.

Основное назначение системы МПК в установке MULTI – координатные измерения: позиционное разделение частиц, восстановление траекторий и определение углового раствора между коррелированными частицами. Помимо основного назначения МПК служит для выработки триггера второго уровня с условием срабатывания соответствующих плоскостей. Это позволяет сильно подавить фон от нейтронов и γ -квантов, а также от фоновых заряженных частиц. Система МПК служит для отбора двухчастичных событий. Такой отбор событий необходимо проводить при наборе данных в эксперименте по распаду ${}^8\text{B} \rightarrow {}^7\text{Be} + p$ с регистрацией обоих продуктов распада, т.к. оценочный расчет показывает, что частота событий от распада ${}^8\text{B}$ при оптимальной толщине мишени составляет несколько десятков в час при общем числе 1000 1/с падающих на мишень ядер ${}^8\text{B}$.

Для эффективного отбора двухчастичных событий, а также для отбора реальных траекторий и отбраковки ложных следов от возможных наводок и шумов многоканальной системы сигнальные плоскости МПК, составляющие соответственные пары (X1,Y1), (X2,Y2), (X3,Y3), повернуты друг относительно друга. Такая геометрия упрощает процедуру выбора соответствующей пары координат при многотрековых событиях или событиях, сопровождаемых фоновым или случайным срабатыванием сигнальной проволоки. Другой возможностью отбора является отбраковка траекторий, не проецирующихся на активную область мишени.

Результаты испытаний

Проверка работоспособности МПК и регистрирующей электроники проводилась на изотопах ${}^{90}\text{Sr}$ и ${}^{55}\text{Fe}$. Запускающим триггером в случае регистрации фотонов служил самозапуск от быстрого "ИЛИ" всех плоскостей МПК. В работе [8] приведены предварительные результаты стендовых испытаний системы МПК на изотопе ${}^{90}\text{Sr}$. Для электронов от ${}^{90}\text{Sr}$ запускающим триггером

служил сцинтилляционный счетчик, охватывающий всю поверхность МПК, а посредством программного отбора событий после набора данных обеспечивалось формирование пучка любого профиля. На рис.3 приведена счетная характеристика МПК от ${}^{90}\text{Sr}$,

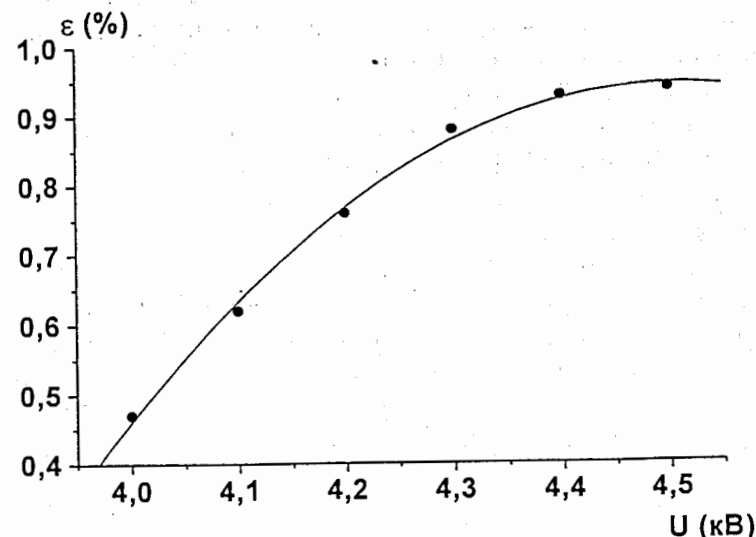


Рис.3. Счетная характеристика МПК для электронов от изотопа ${}^{90}\text{Sr}$

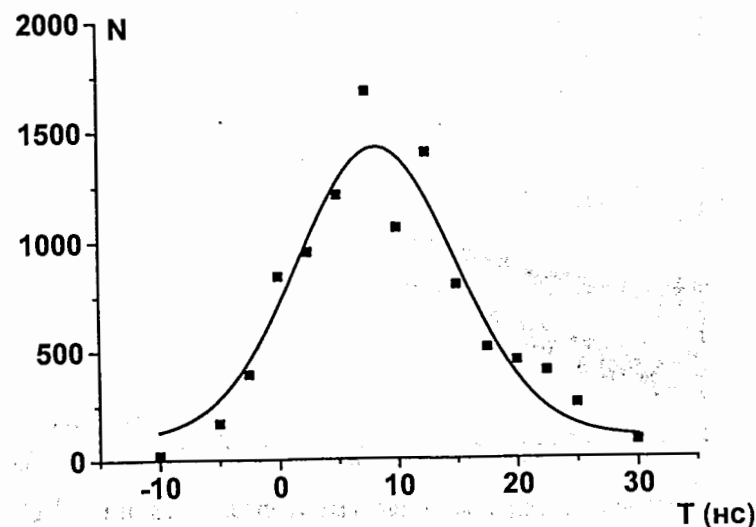


Рис.4. Временное разрешение сигналов от МПК

из которой видно наличие плато по напряжению. Очевидно, что в эксперименте при регистрации протонов и более тяжелых частиц рабочий режим по напряжению будет обеспечиваться в области существенно более низких напряжений. Измеренное временное разрешение иллюстрирует рис.4. Полученное значение $\Delta t \sim 30$ нс позволяет выработать триггер по шести плоскостям МПК при средней загрузке на единичную плоскость $N \sim 10^7$ 1/с для частиц с одинаковой ионизирующей способностью.

Второй этап испытаний координатной системы МПК и регистрирующей электроники проводился на пучке У-400М. Регистрировались продукты реакции ($^{12}\text{C}(42 \text{ МэВ/А}) + \text{Au}$) под углом 8° относительно оси пучка.

На рис.5 представлен спектр регистрируемых фрагментов на одном из элементов 19-модульного пластик-ВГО-спектрометра. Отбором соответствующих областей на такой матрице можно получить характеристики МПК для любой частицы от наиболее легкого фрагмента р до упругорассеянного ^{12}C . На рис. 6 представлены типичные двухмерные спектры (X, Y) с МПК:

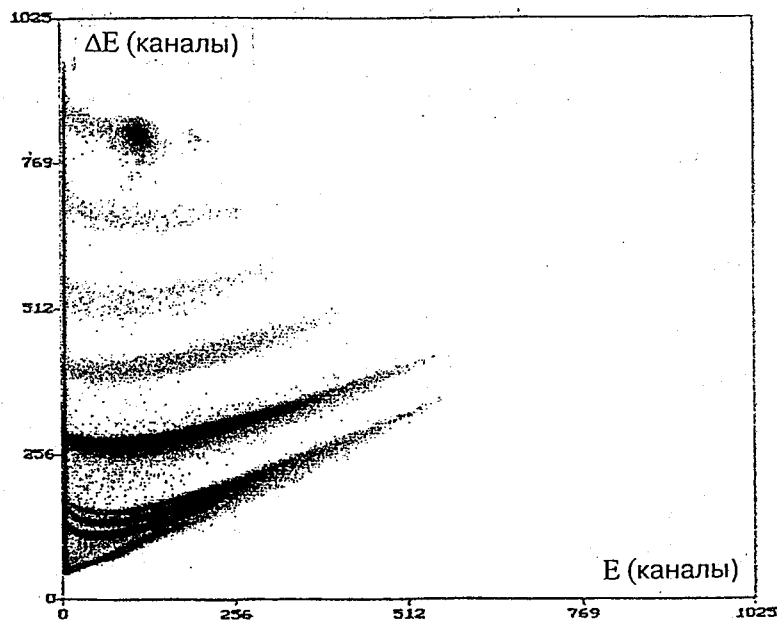


Рис.5. Спектр регистрируемых фрагментов для реакции $^{12}\text{C} + \text{Au}$ на одном из модулей пластик-ВГО-спектрометра

необработанный спектр в каналах (а); после обработки и приведения в выбранную координатную систему в мм (б,в). Для наглядного визуального представления отдельно даны двухмерный спектр, выделяемый центральным ВГО (рис.6б) и четырьмя периферийными из второго ряда (рис.6в).

Особенность детектирования частиц на пучках ионов заключается в наличии сопутствующего фона от тяжелых частиц, приводящего к определенным ограничениям на детектирующие системы, когда одной из регистрируемых является более легкая

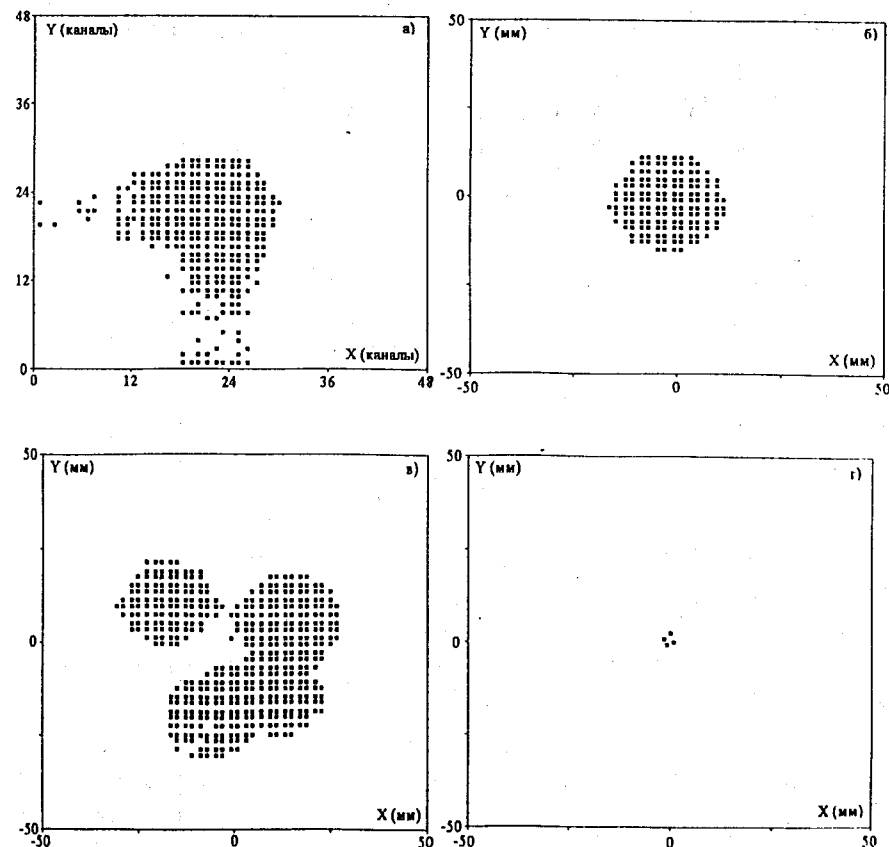


Рис.6. Типичные двухмерные (X, Y) спектры с МПК:

а) необработанный спектр в каналах ; б) на центральном пластик-ВГО-модуле после обработки и приведения в выбранную координатную систему в мм; в) на четырех модулях из второго ряда; г) спектр от сформированного при обработке $2 \times 2 \text{ мм}^2$ пучка

частица. Это обстоятельство в первую очередь ограничивает быстродействие МПК. Номинальное значение грузочной способности МПК $\sim 5 \cdot 10^5$ 1/с на проволочку определяется эффектом пространственного заряда вторичных ионов - временем рассасывания последних в области эффективного газового усиления. Однако приведенное значение грузочной способности реализуется для случая регистрации частиц практически одинаковых по ионизирующей способности. В том случае, когда необходимо детектировать широкий спектр частиц, приведенная цифра уменьшается в соответствии с отношением ионизирующих способностей наиболее легкой и тяжелой частиц спектра. На рис.7

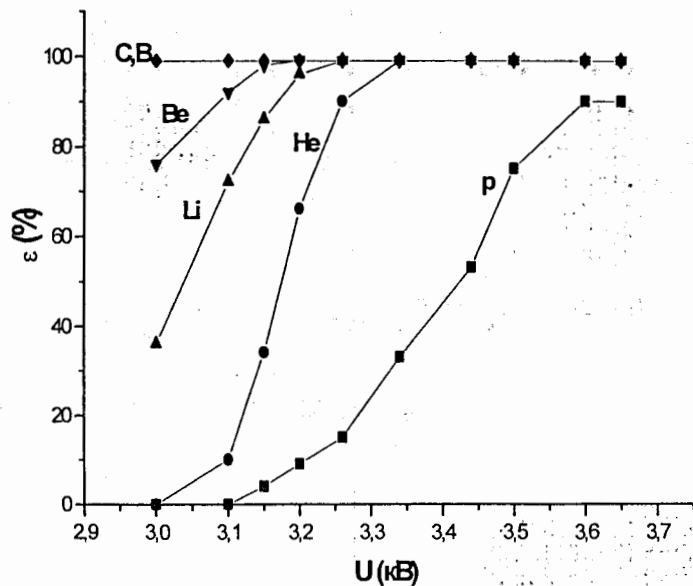


Рис.7. Счетная характеристика МПК по всем зарегистрированным фрагментам

приведена измеренная на пучке счетная характеристика МПК для фрагментов с $1 \leq Z \leq 6$. При этом интенсивность наиболее тяжелой частицы (^{12}C) в спектре составляла $\sim 10^3$ 1/с, что полностью соответствует ожидаемым предельным фоновым условиям эксперимента по распаду ^8B . Приведенные на рис.6 и всех последующих рисунках данные набраны в рабочем режиме, обеспечивающем максимальную эффективность регистрации протонов - частиц с минимально ионизирующими способностями из регистрируемых на установке MULTI.

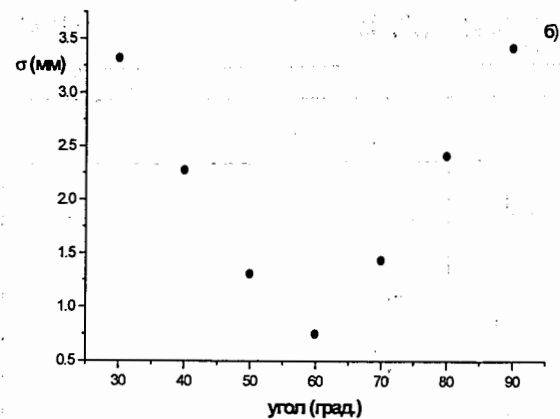
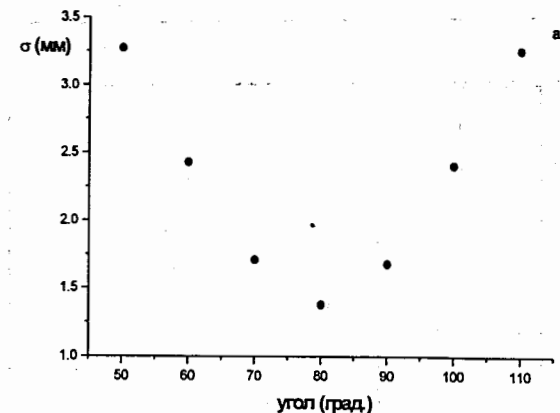


Рис.8. Зависимость среднеквадратичного отклонения координаты от угла поворота (X1, Y1) - (а) и (X2, Y2) - (б) относительно выбранной координатной системы

Экспериментальные данные были использованы для нахождения параллельного сдвига и углов поворота между сигнальными плоскостями и выбранной координатной системой. Параллельный сдвиг определялся по центрам тяжести координатных распределений, а углы поворота - по минимизации среднеквадратичного отклонения координаты на одной из камер от восстановленной траектории по двум другим МПК. Рис.8а демонстрирует зависимость этого отклонения от угла поворота

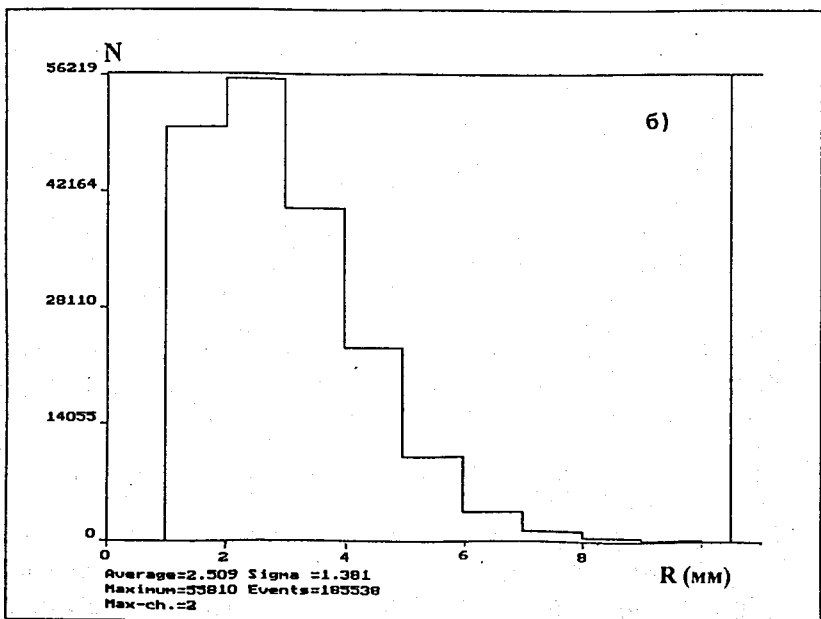
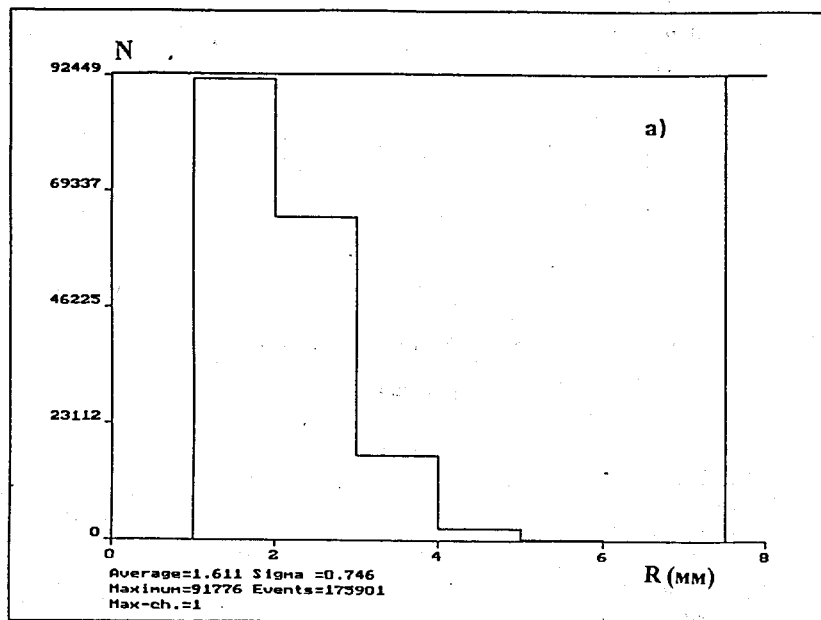


Рис.9. Распределение отклонений по соответствующим минимумам рис.8

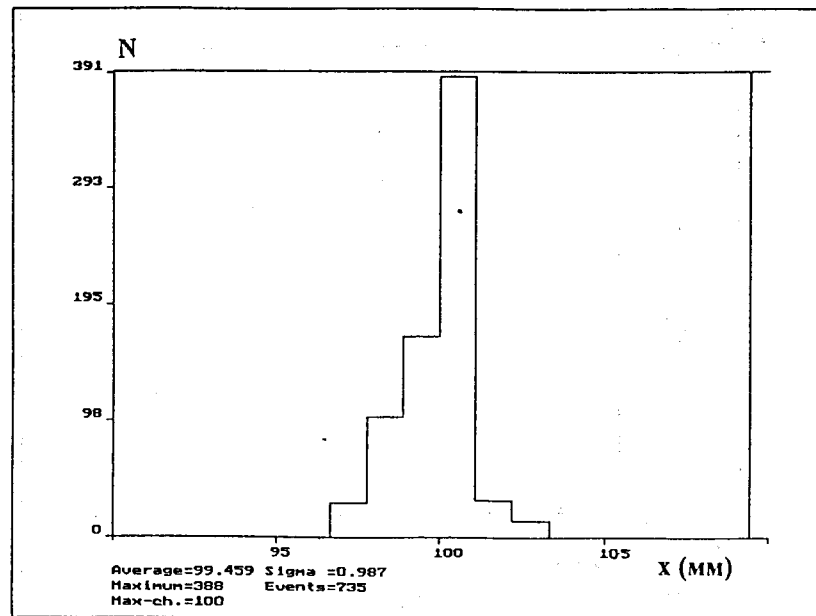


Рис.10. Распределение одной из проекций двухмерного спектра рис.6г. 100-й канал соответствует началу выбранной координатной системы

(X1, Y1) (а) и (X2, Y2) (б) координатных нитей относительно выбранной (X3, Y3) координатной системы, а соответствующие распределения в минимуме представлены на рис.9. Среднеквадратичные величины распределений на последнем рисунке и характеризуют ожидаемое координатное разрешение. Отметим, что различие в величинах полученной точности для (X1, Y1) и (X2, Y2) плоскостей объясняется отличием базовых расстояний по оси Z, и поскольку в реальном эксперименте траектория будет восстанавливаться по трем (X, Y) плоскостям, то точность восстановления координат задается величиной $\sigma \approx 0,75$ мм (рис.9б). Примерно такая же величина пространственной точности получена посредством формирования узкого пучка при обработке. На рис.6г представлен двухмерный спектр для одной из камер после формирования пучка размерами 2×2 мм² независимой координатной системой двух других (X, Y) плоскостей, а на рис.10 - распределение одной из проекций двухмерного спектра рис.6г. Отметим, что приведенная величина пространственной точности задается не

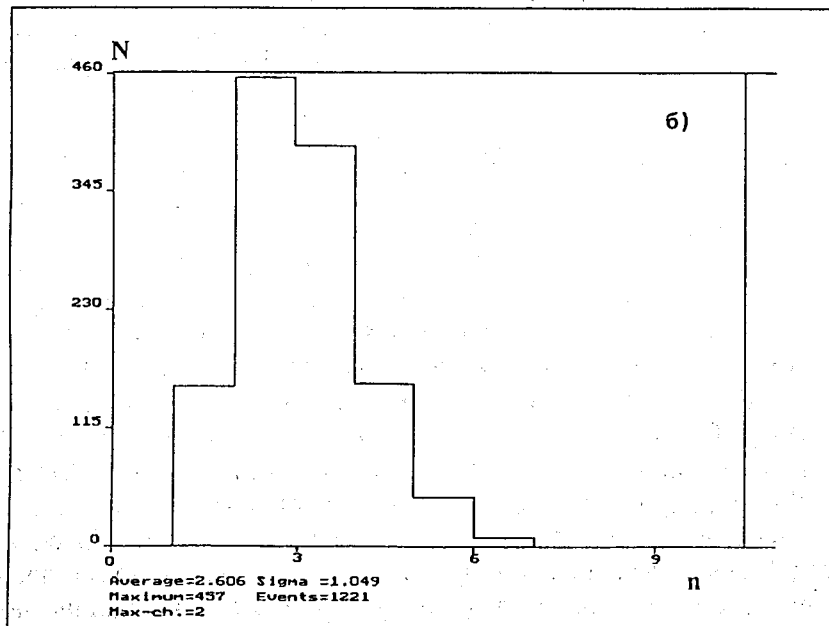
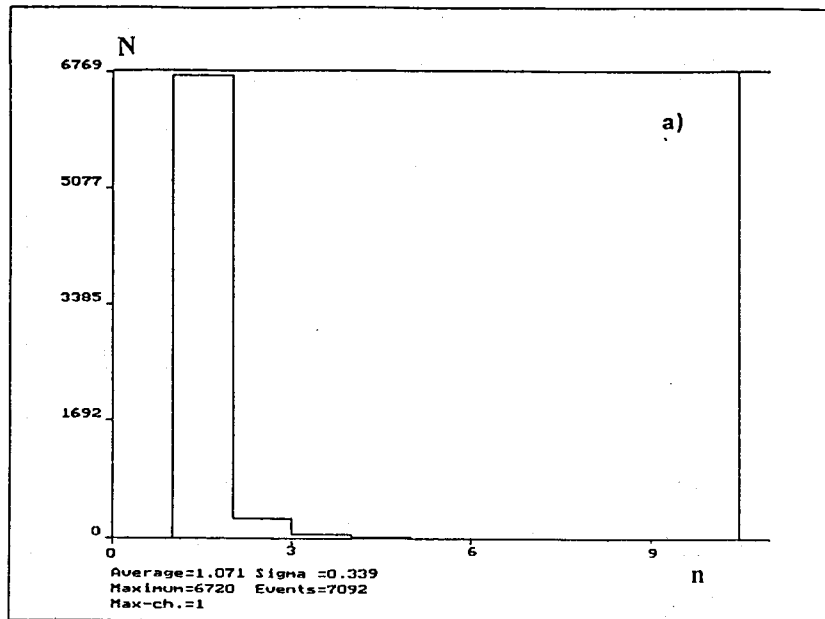


Рис.11. Распределения вероятностей многократных срабатываний для протона (а) и углерода (б)

только геометрическим размером элементарной ячейки, формируемой сигнальными нитями МПК, но и в значительной мере вероятностью многократных срабатываний нитей (или в общем случае каналов) при прохождении одиночной частицы. Очевидно, что эта вероятность зависит от типа зарегистрированной частицы и значительно отличается для легких и тяжелых частиц. На рис.11 приведены распределения вероятностей многократных срабатываний для протонов (а) и ^{12}C (б). В случае неоднократных срабатываний каналов координата восстанавливалась по центру тяжести сработавших нитей.

Среднее число срабатываний определяет и такую важную величину в корреляционных экспериментах, как двухтрековое разрешение. На рис.12 приведена зависимость среднего числа срабатываний от заряда частиц для всего спектра регистрируемых продуктов реакции (см. рис.5). Эти данные позволяют оценивать двухтрековое разрешение коррелированных частиц для выделенной пары по Z . В частности, наибольшее значение разрешающего угла вышеописанной координатной системой МПК составляет $\Delta\Theta \approx 0,4^\circ$

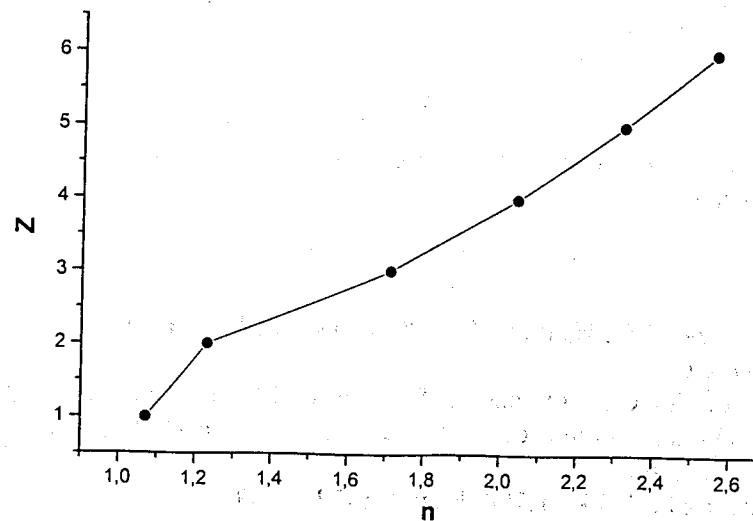


Рис.12. Зависимость среднего числа срабатываний от заряда частицы Z

для $p - ^{12}\text{C}$ -корреляций. Для корреляционных пар однотипных по Z разрешающий угол в 2,6 раза меньше и не зависит от Z .

Заключение

В результате проведенных испытаний можно сделать следующие выводы об основных характеристиках и особенностях координатной системы МПК установки MULTI.

1. ~ 100 % эффективность регистрации для всего спектра регистрируемых продуктов реакций.
2. Точность восстановления координат по всему спектру регистрируемых частиц не хуже $\sigma \approx 1$ мм.
3. Двухтрековое разрешение $\Delta\Theta \approx 0,2^\circ \div 0,4^\circ$ в зависимости от выбранной геометрии и регистрируемых корреляционных пар.
4. Проведенные испытания координатной части установки MULTI показали работоспособность и помехоустойчивость многоканальной системы МПК с регистрирующей электроникой РПК-32, возможность стабильной работы в условиях высокочастотных помех от работающих систем ускорителя У-400М.
5. Оснащение установки MULTI вышеописанной координатной системой позволит провести на современном уровне корреляционные эксперименты, в том числе по изучению протонного гало ядра ^8B .

Авторы выражают благодарность Ю.Ц.Оганесяну за постоянный интерес к работе, Ю.П.Гангрскому и Д.Д.Богданову за полезные замечания, коллективу У-400М за эффективную работу ускорителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев Ю.Г., Иванов М.П., Калпакчиева Р. и др. ПТЭ, Т.40, 5, 1997, с.6.
2. Sobolev Yu.G., Fomichev A.S., Ivanov M.P. et al. Proc. of the XXXV Int. Winter Meeting on Nucl. Physics, Bormio (Italy), 3-8 February 1997, P.116.
3. Шарпак Ж. УФН, Т.108, Вып.2, 1972, с.339.
4. Заневский Ю.В. Проволочные детекторы элементарных частиц. М., Атомиздат, 1978.
5. Astabatyanyan R.A., Badalyan N.V., Demekhina N.A. et al. Proc.Int.Conf. High Energy Exper. and Methods, Bechyne, 1989, p.110.

6. Астабатьян Р.А., Гаспарян С.Г., Демехина Н.А. и др. Препринт ЕФИ-1280(66)-90, Ереван, 1990.
7. Ажгирей Л.С., Зрелов П.В., Игнатенко М.А. и др. Препринт ОИЯИ, 13-84-652, Дубна, 1984.
8. Aivazyanyan R.B., Asaturyan R.A., Astabatyanyan R.A. et al. JINR FLNR, Heavy Ion Physics, Dubna, 1997, p.210.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 ноября 1998 года.