

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



СЗУУ.120
К-63

19/11-76

P13 - 9638

2749/2-76

В.И.Комаров, Г.Е.Косарев, Г.Мотц, З.Теш, Т.Штилер

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОИСКА РЕАКЦИИ ВЫБИВАНИЯ
ПРОТОННЫХ ПАР ПРОТОНАМИ
С ЭНЕРГИЕЙ 640 МЭВ

1976

P13 - 9638

В.И.Комаров, Г.Е.Косарев, Г.Мотц, З.Теш, Т.Штилер

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОИСКА РЕАКЦИИ ВЫБИВАНИЯ
ПРОТОННЫХ ПАР ПРОТОНАМИ
С ЭНЕРГИЕЙ 640 МЭВ

1. Введение

Цель экспериментов на описываемой установке состояла в обнаружении реакции выбивания протонных пар из легких ядер протонами с энергией 640 МэВ в условиях высокой передачи импульса протонной паре $1/1$. Максимальное значение передаваемого импульса достигается при рассеянии протона назад, когда суммарный импульс выбиваемой пары направлен по импульсу налетающих протонов, а угол раскрытия пары равен нулю. Прямое выделение этого процесса, идущего с малой вероятностью, на фоне ряда интенсивных процессов требует одновременной регистрации трех быстрых протонов.

Такая постановка эксперимента возможна, если мишень находится в магнитном поле, которое выводит протоны, образующиеся в реакции, из прямого пучка. Для поискового эксперимента представляется более целесообразным регистрировать выбиваемые протоны под небольшим углом, определяемым кинематикой квазисвободного рассеяния протона протонной парой. Величина допустимого приближения к кинематике рассеяния на 180° определяется уровнем загрузки детекторов, расположенных под малыми углами к пучку, и должна быть найдена экспериментально.

Для исключения сильного взаимодействия в конечном состоянии между протонами в паре следует ограничить минимальный угол раскрытия пары так, чтобы относительный импульс протонов в паре превышал несколько десятков $\text{МэВ}/c$.

Телесный угол регистрации каждого из протонов, выбиваемых вперед, может быть сравнительно мал $/10^{-1} - 10^{-2} \text{ ср}/$, так как следует ожидать, что быстрые протоны с энергией 250-300 МэВ должны иметь сравнительно узкое угловое распределение вперед. В то же время для протонов, рассеянных назад, следует обеспечить значительный телесный угол регистрации /порядка одногостерадиана/, так как кинематика реакции и фермиевское движение протонной пары в ядре неизбежно приведут к широкому угловому распределению рассеянных назад протонов.

Теория процесса выбивания протонных пар при высоких передачах импульса в настоящее время не разработана ввиду отсутствия экспериментальных данных о таком процессе. Поэтому для определения ожидаемого уровня дифференциального сечения можно воспользоваться только грубыми оценками, основанными на определенной аналогии искомого процесса известному процессу квазиупругого выбивания дейтронов. Информация о величине сечений фоновых процессов, создающих загрузки в детекторах протонов, является далеко не полной, что в первую очередь относится к корреляционным сечениям испускания двух частиц /протонов, пионов/. В этих условиях необходимо, чтобы аппаратура позволяла вести поиск тройных совпадений протонов, удовлетворяющих условиям кинематики квазисвободного рассеяния, в широком диапазоне интенсивностей пучка при одновременном измерении случайных совпадений, обусловленных фоновыми процессами.

Ниже описывается аппаратура, удовлетворяющая этим основным требованиям.

2. Блок-схема установки. Протонный пучок

Схема расположения установки на протонном пучке приведена на рис. 1. Пучок фокусируется магнитными насадками /2/ и квадрупольным дублетом /4/ и ограничивается двумя коллиматорами /5,6/ диаметром 10 мм. Отклоняющий магнит /8/ очищает пучок от примеси

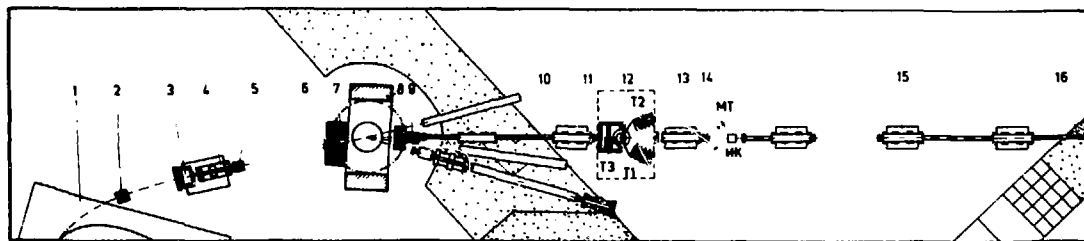


Рис. 1. Расположение аппаратуры на пучке синхроциклотрона. 1 - камера СЦ; 2 - магнитные насадки; 3, 8 - отклоняющие магниты; 4 - квадрупольный дублет; 5, 6, 9 - вакуумный тракт; 7 - свинцовая защита; 10 - вакуумный тракт; 11 - регистрирующая аппаратура; 12 - основная мишень; 13 - проволочная ионизационная камера; 14 - мониторная мишень; 15 - квадрупольные приплеты; 16 - поглотитель; Т1, Т2, Т3 - телескопы счетчиков.

сопутствующих частиц с меньшим импульсом. Расстояние от коллиматора /9/ диаметром 30 мм до регистрирующей аппаратуры /11/ пучок проходит в вакууме. Для уменьшения размера пучка, падающего на мишень, и снижения фона от протонов, рассеянных на коллиматорах и деталях вакуумного тракта, использовались квадратные триплеты /15/. Поглотитель пучка /16/ располагался в бетонной защите на расстоянии 15 м от мишени.

Интенсивность пучка /регулируемая в пределах $10^6 - 10^9$ прот/с/ измерялась аргоновой ионизационной камерой /ИК/, прокалиброванной с помощью цилиндра Фарадея. Для контроля интенсивности пучка упругое рр-рассеяние во вспомогательной /мониторной/ CH_2 -мишени /14/ регистрировалось телескопом сцинтилляционных счетчиков /МТ/. Точность абсолютного измерения интенсивности пучка в течение нескольких сеансов составляла 12%.

Средняя энергия пучка, измеренная на протяжении 1974-75 гг. с точностью 0,4 МэВ методом регистрации черенковского излучения /см. /2/ /, равна 644 МэВ и имеет разброс от сеанса к сеансу около 5 МэВ. Наши измерения методом кривой Брэгга с точностью 1,5 МэВ дали результат, совпадающий с этими данными. С учетом подтормаживания пучка от камеры синхроциклотрона до мишени средняя энергия в центре мишени составляла во время проведения экспериментов $1 /637 \pm 5/$ МэВ.

Профиль и положение пучка на мишени измерялись ионизационной камерой с проволочными электродами /3/ и термолюминесцентными дозиметрами. Полуширина распределения в горизонтальной и вертикальной плоскостях составляла соответственно 3,7 и 2,7 см. Часть пучка, попадающая на площадь мишени $5 \times 5 \text{ см}^2$, равна $F = 0,84 \pm 0,05$.

Стабильность положения пучка на мишени была контролирована мониторным телескопом /МТ/ в одном из сеансов путем регистрации упругого рр-рассеяния от CH_2 -мишени малого размера. Это измерение показало, что возможный дрейф положения пучка в течение суток изменяет величину F не более чем на ~1%.

Эксперименты проводились на пучке с макроструктурой, сглаженной с помощью С-электрода¹⁴. Коэффициент заполнения по нашим измерениям в двух сенсах составлял $D = 0,64 \pm 0,02$. Растяжка пучка снижала интенсивность фона случайных двойных совпадений не менее чем в 30 раз, что имело решающее значение при работе на описываемой установке.

3. Детекторы

Протоны, возникающие в мишени, детектировались тремя телескопами счетчиков, собранных на умножителях ФЭУ-30. Идентичные телескопы T_1 и T_2 , предназначенные для регистрации быстрых протонов, вылетающих вперед, состояли из 5 счетчиков каждый /см. рис. 2/.

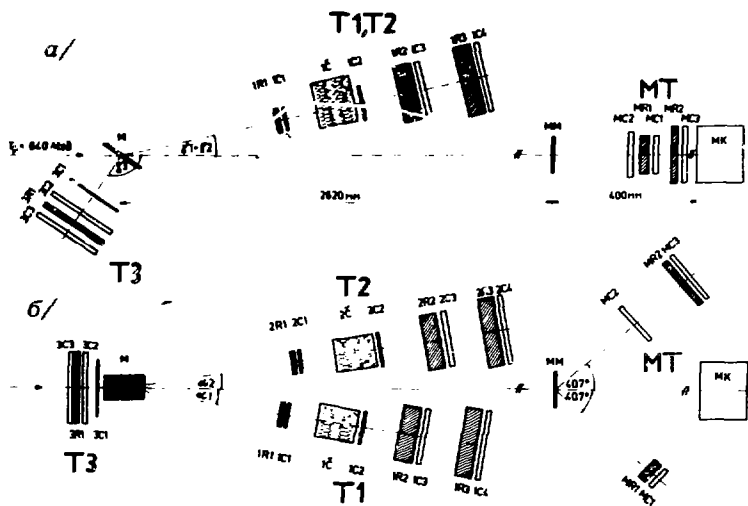


Рис. 2. Схема расположения счетчиков в телескопах. а/ вид сбоку, б/ вид сверху; T_1 , T_2 - телескопы, регистрирующие быстрые протоны; T_3 - телескоп для детектирования рассеянного назад протона; MT - мониторный телескоп; С - сцинтилляционные и \check{C} - черенковские счетчики; R - медные фильтры; ИК - ионизационная камера; М - основная и ММ - мониторная мишени.

Нужный интервал энергии протонов выделялся по пробегу в фильтрах (R). Черенковские счетчики (С) использовались для дискриминации пионов. Раднатором счетчиков служил водный раствор соли амино-Г-кислоты ^{15/}, залитый в тонкостенные плексигласовые контейнеры. Пороговая характеристика счетчиков приведена на рис. 3.

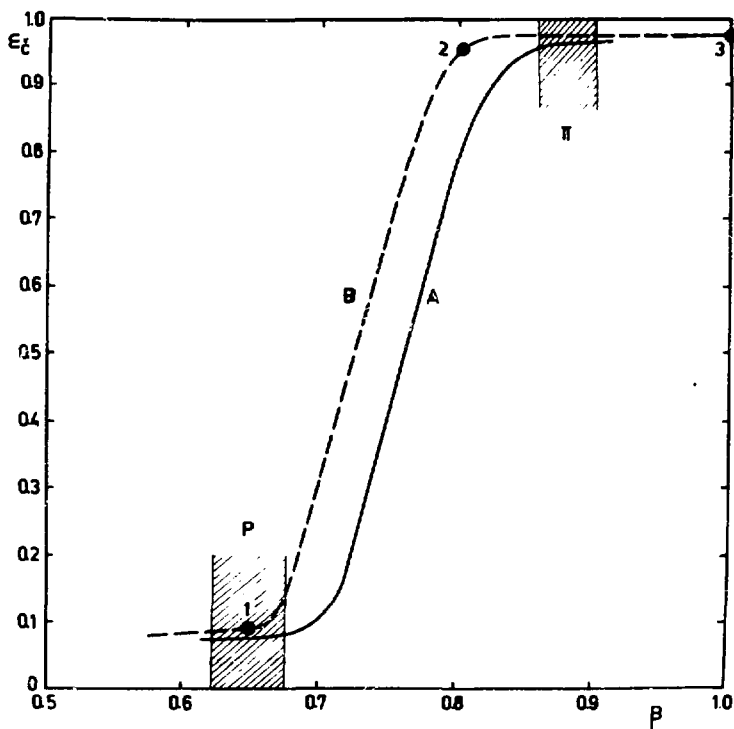


Рис. 3. Зависимость эффективности черенковских счетчиков от скорости частиц. Экспериментальные точки: 1 - протоны с энергией 320 МэВ; 2 - протоны с энергией 638 МэВ; 3 - релятивистские мюоны космического излучения. Кривая А получена в работе ^{15/} в измерениях с π -мезонами. Кривая В получена сдвигом А по β до совмещения с экспериментальными точками.

Заштрихованные интервалы скорости частиц соответствуют интервалам энергии протонов и пикетов, выделяемым по пробегу / $T_p = 260 - 335 \text{ МэВ}$, $T_\pi = 133 - 180 \text{ МэВ}$ /. С-счетчики в каждом из телескопов Т1 и Т2 снижали эффективность регистрации пионов в 33 раза, а протонов на 8%. Эффективность регистрации протонов с энергией 300 МэВ телескопами Т1 и Т2, определенная из расчета методом Монте-Карло, составляла 45%. Телескопы могли устанавливаться под углами $\alpha_{1(2)} = 0 - 50^\circ$ и $\gamma_{1(2)} = 0 - 14^\circ$. Телесный угол телескопов $\Omega_{1(2)} = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ ср}$.

Телескоп Т3 для регистрации протонов, рассеянных назад, состоял из трех сцинтилляционных счетчиков, максимально приближенных к мишени. Ось телескопа располагалась под углом $\gamma_3 = 122^\circ$ к пучку. Телесный угол Ω_3 составлял 1,5 ср.

В качестве мишени использовалась графитовая пластина, установленная на пучке так, что ее плоскость перпендикулярна оси телескопа Т3. При выбранной толщине мишени 2,98 г/см²/по пучку/ загрузка одиночных телескопов на 70-80% определялась частицами, испускаемыми мишенью, а порог регистрации протонов в Т3 размывался на интервал 15-44 МэВ.

4. Блок-схема электроники

В условиях поискового эксперимента, когда заранее неизвестна интенсивность как искомого, так и фоновых процессов, блок-схема электроники должна обеспечивать возможность одновременного измерения реальных и случайных совпадений. При регистрации тройных совпадений, кроме реальных совпадений 123, могут иметь место случайные совпадения четырех типов:

12/3/, 1/2/3, /1/23 - случайные совпадения сигнала одного телескопа с реальным совпадением сигналов в двух других;

/1//2//3/ - случайные совпадения между сигналами Т1, Т2 и Т3.

Блок-схема электроники, позволяющая реализовать такое измерение, показана на рис. 4. Сигналы счетчи-

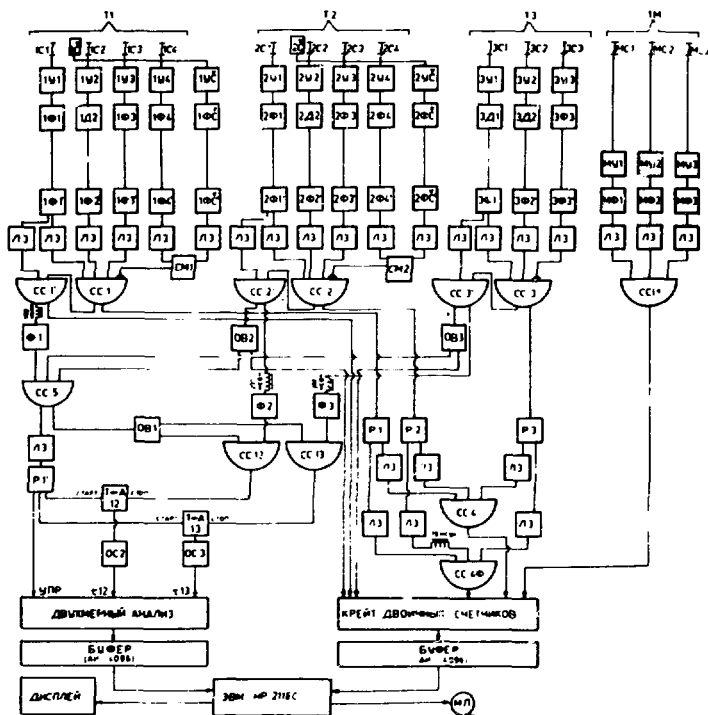


Рис. 4. Блок-схема электроники: У - усилитель, Ф - формирователь, Д - интегральный дискриминатор, ЛЗ - линия задержки, СМ - сумматор, СС - схема совпадения, ОВ - одновибратор, Р - разветвитель, ТА - время-амплитудный конвертер, ОС - ослабитель. Все функциональные блоки, как наносекундные, так и логические в стандарте КАМАК, разработаны в Отделе новых научных разработок ЛЯП [6, 7].

ков T1, T2 и T3 подавались на усилители и формирователь, расположенные непосредственно вблизи детекторов, так что на остальные блоки наносекундной электроники, удаленные на 70 м, передавались сформированные сигналы. После восстановления в формирователях Ф' сигналы длительностью 12 нс поступали на входы

схем совпадений СС1, СС2 и СС3. Задержки сигналов выбирались так, чтобы время появления сигнала на выходе схем совпадений СС1, СС2 и СС3 определялось только временем появления сигнала в соответствующем

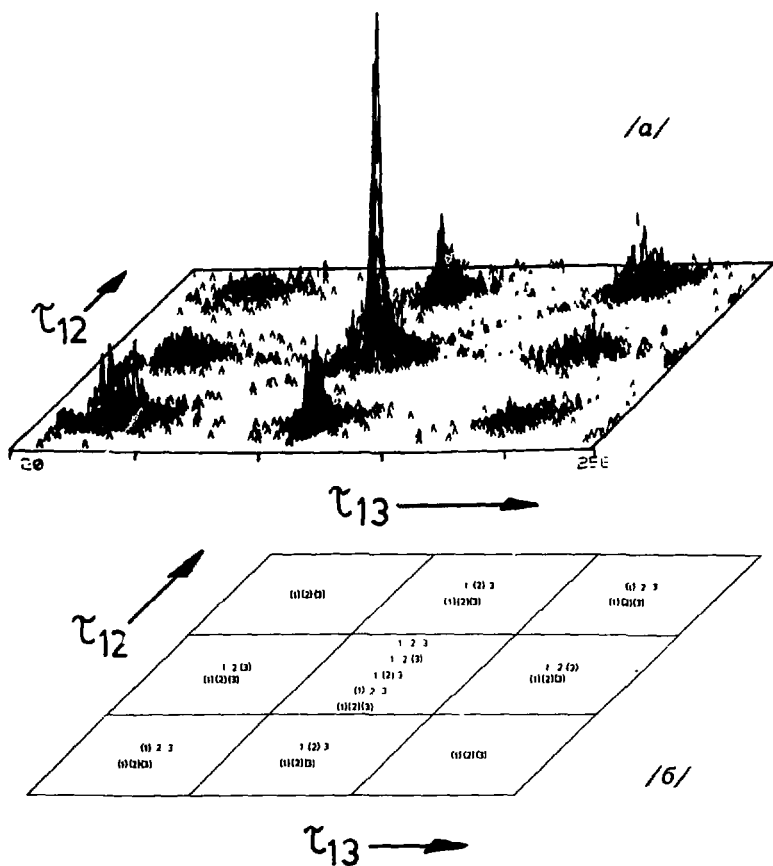


Рис. 5. /а/ Двумерное распределение событий по интервалу времени между сигналами в Т1 и Т2 (τ_{12}) и в Т1 и Т3 (τ_{13}). /б/ Расположение тройных совпадений различного типа на плоскости τ_{12} - τ_{13} .

счетчике 1С1, 2С1 и 3С1. "Стартом" для время-амплитудных конверторов ТА12 и ТА13 служил сигнал совпадения в Т1, а "стопом" - соответственно сигнал в Т2 и Т3. Сигналы "старт" и "стоп" на входы конверторов пропускались при условии осуществления тройного совпадения $T1 + T2 + T3$ в интервале 200 нс. Это позволяло получить двумерное распределение интервалов времени между сигналами в Т1 и Т2 (τ_{12}), Т1 и Т3 (τ_{13}) в диапазоне 200 нс. Такой диапазон перекрывал 3 микроимпульса временной структуры пучка по τ_{12} и τ_{13} . Поэтому в двумерном временном спектре должны были возникать 9 областей тройных совпадений. Задержки в цепях сигналов были выбраны так, чтобы реальные совпадения 123 попадали в центральную область. Как видно из рис. 5, простая алгебраическая процедура позволяет определить число реальных и всех видов случайных совпадений. Двумерный спектр, приведенный на рис. 5а, сфотографирован с экрана дисплея HP2116С в одном из сеансов измерений.

5. Съём и обработка информации

Временная информация с конверторов ТА12 и ТА13 поступает на вход двух амплитудных преобразователей стойки многомерного анализа ^В, что позволяет получать двумерные спектры /256x256 каналов/ по τ_{12} и τ_{13} . Память анализатора АИ-4096 служит буферным накопителем, где при нашем режиме измерений можно накапливать до 2048 событий. Одновременно на крейт двончных счетчиков в стандарте КАМАК^{7/} подаются сигналы с отдельных телескопов, обоих мониторов, счеты от схемы совпадения СС4 /сумма совпадений 123 и всех фонов/ и вспомогательной схемы совпадений СС4Ф, где регистрируются случайные совпадения Т2 с сигналами Т1 + Т3 ближайшего по времени микроимпульса интенсивности пучка /задержка сигналов τ_2 на 71 нс, см. рис. 4/.

Эксперимент проводится на линии с ЭВМ HP2116С. Работа ЭВМ осуществляется в дисковой операционной

системе. По окончании очередной экспозиции, определяемой таймером в крейте, информация двумерного анализа и с крейта через второй буфер АИ-4096 передается в ЭВМ, где производится запись на магнитную ленту. На телетайпе распечатывается служебная информация, содержимое крейта и девяти зон реальных и случайных совпадений, нормированных на монитор.

Во время набора статистики проводится предварительная обработка данных. Результаты могут быть представлены на дисплее, выведены на графопостроитель и отпечатаны на телетайпе. При обработке может быть использовано различие в распределении событий разного типа на плоскости $r_{12} - r_{13}$: реальные совпадения 123 должны быть сконцентрированы в узкой области, определяемой разрешением системы по времени /в наших условиях получена ширина на полувысоте пиков реальных совпадений в двумерных спектрах 4,1 нс по r_{12} и 4,7 нс по r_{13} /, в то время как распределения случайных совпадений определяются шириной микроимпульса пучка ~15 нс.

На рис. 6 показана зависимость счета реальных и случайных совпадений от ширины Δr_{12} и Δr_{13} временных интервалов по r_{12} и r_{13} . При этом суммирование событий на плоскости $r_{12} - r_{13}$ проводится не по всей площади зон, а по более узким интервалам /шириной Δr_{12} и Δr_{13} /, отстоящим друг от друга на 71 нс. Из рис. 6 видно, что реальные тройные совпадения могли быть уверенно выделены даже в условиях, когда фон случайных совпадений примерно вдвое превышал уровень эффекта. /Эти измерения были проведены при условиях регистрации: $\alpha_1 = \alpha_2 = 9^\circ$ и $\gamma_1 = \gamma_2 = 12^\circ$ /.

Окончательная обработка двумерных спектров включала точное определение положения микроимпульсов интенсивности на плоскости $r_{12} - r_{13}$ и расстояния между ними, а также выбор интервалов Δr_{12} и Δr_{13} , в которых суммируются события. Оптимальные значения этих интервалов определялись из требования минимальности относительной ошибки для получаемых значений счета реальных тройных совпадений. Дифференциальное сечение соответствующего процесса, определенное в ^{11/}, находится на уровне $10^{-29} \text{ см}^2 \text{ ср}^{-3}$. Следует подчеркнуть,

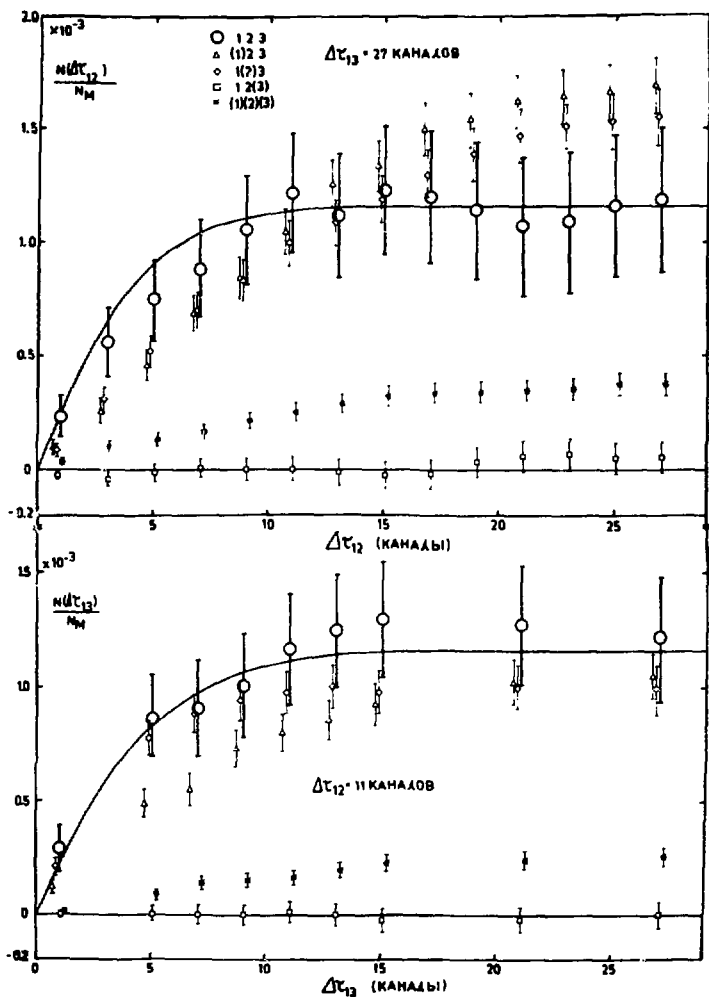


Рис. 6. Счет реальных и случайных совпадений, нормированных на монитор, в зависимости от ширины временных интервалов по τ_{12} и τ_{13} , в которых суммируются события /1 канал равен 0,88 нс/. Кривые проведены в соответствии с формой линии для реальных тройных совпадений, экспериментально найденной в независимых измерениях.

что при этом интенсивность счета тройных совпадений составляла $\sim 10^{-6}$ от интенсивности одиночного счета частиц из мишени в телескопах Т1, Т2, Т3.

Авторы благодарны А.Н.Синаеву и сотрудникам руководимого им отдела В.Г.Зинову, А.Г.Петрову, В.Т.Сидорову и А.А.Стахину за полезные консультации и содействие в обеспечении эксперимента быстрой электроникой и электронными блоками: в стандарте КАМАК, Л.Л.Неменову и С.Л.Смирновой за помощь, оказанную при разработке черенковских счетчиков, и В.П.Зрелову за консультации по вопросам измерения энергии пучка.

Нам приятно поблагодарить В.Д.Фромма за консультации при подготовке программного обеспечения эксперимента, М.А.Сергеева, принимавшего участие в изготовлении аппаратуры, а также Э.Тиссольд, У.Штилер и В.А.Зорину за помощь при обработке данных.

Литература

1. В.И.Комаров, Г.Е.Косарев, А.М.Молоканов, Г.Моти, Г.П.Решетников, Т.Шгилер, З.Теш. Сообщение ОИЯИ, Е1-9460, Дубна, 1975.
2. В.П.Зрелов, В.П.Лупильцев, М.Ф.Шабашов. Сообщение ОИЯИ, Р13-9202, Дубна, 1975.
3. В.В.Вишняков, Н.И.Журавлев, В.И.Комаров, Г.Е.Косарев, Нгуен Мань Шат, А.Н.Синаев. Сообщение ОИЯИ, 13-6971, Дубна, 1973; ПТЭ, №6, 21 /1973/.
4. А.А.Глазов, В.И.Данилов, Ю.Н.Денисов, В.А.Кочкин, Б.Н.Марченко, Л.М.Онищенко, Б.П.Сеченов, Т.Н.Томилиная, А.В.Шестов. Сообщение ОИЯИ, Б1-9-7609, Дубна, 1973.
5. А.В.Купцов, Л.Л.Неменов, Ю.М.Чиркин. ПТЭ, №4, 77 /1971/.
6. В.Ф.Борейко, Ю.Г.Будяшов, Ю.М.Валуев, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов, Б.С.Краснобородов. Сообщение ОИЯИ, 13-6396, Дубна, 1972.
7. Н.И.Журавлев, Ли Зу Эх, Нгуен Мань Шат, А.Г.Петров, В.Т.Сидоров, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, И.Н.Чурин. Сообщение ОИЯИ, 10-8754, Дубна, 1975.
8. А.Н.Синаев, А.А.Стахин. Сообщение ОИЯИ, 13-7656, Дубна, 1974.

*Рукопись поступила в издательский отдел
24 марта 1976 года.*