

8028

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



8028

3/5 З. ЧИТ. ЗАЛА

1 - 8028

А.М.Балдин, Н.Гиордэнеску, В.Н.Зубарев, Л.К.Иванова,
А.Д.Кириллов, В.И.Котов, Н.С.Мороз, С.А.Нежданова,
А.А.Повторейко, В.Б.Радоманов, А.Д.Рогаль,
В.С.Ставинский

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
КУМУЛЯТИВНОГО МЕЗОНООБРАЗОВАНИЯ

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1 - 8028

А.М.Балдин, Н.Гиордэнеску, В.Н.Зубарев, Л.К.Иванова,
А.Д.Кириллов, В.И.Котов, Н.С.Мороз, С.А.Нежданова,
А.А.Повторейко, В.Б.Радоманов, А.Д.Рогаль,
В.С.Ставинский

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
КУМУЛЯТИВНОГО МЕЗОНООБРАЗОВАНИЯ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Балдин А.М., Гиордэнеску Н., Зубарев В.Н., Иванова Л.К.,
Кириллов А.Д., Котов В.И., Мороз Н.С., Нежданова С.А., 1 - 8028
Повторейко А.А., Радоманов В.Б., Рогаль А.Д.,
Ставинский В.С.

Установка для исследования кумулятивного мезообразования

Описана установка для измерения энергетических спектров мезонов под углом 180° , рожденных на ядрах ускоренными нуклонами. Установка сделана в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1974

© 1974 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

1. ВВЕДЕНИЕ

Под кумулятивным эффектом мы понимаем процесс столкновения релятивистского ядра с мишенью, в результате чего вновь образующимся частицам передается энергия, значительно превышающая ту, которая приходится на один нуклон налетающего ядра. Первое обнаружение этого эффекта ^{/1/} показало, что в соответствии с оценками ^{/2,3/} он не только доступен для всестороннего экспериментального изучения, но и может иметь практическое значение для повышения энергии пучков действующих ускорителей.

Важной и пока не изученной характеристикой кумулятивного эффекта является зависимость выхода образующихся частиц от атомного номера релятивистского ядра. Актуальны обнаружения высоких порядков кумулятивности /под номером порядка кумулятивности мы понимаем число нуклонов релятивистского ядра, участвующих в столкновении/ и всесторонняя проверка масштабной инвариантности в этом эффекте. Проявления масштабной инвариантности существенны для выделения самого кумулятивного эффекта. Однако в настоящее время пучки релятивистских ядер с $A > 4$ и энергией, позволяющей надежно отделять кумулятивный эффект от эффектов, связанных с ферми-движением нуклонов, в ядрах пока отсутствуют. Релятивистское ускорение тяжелых ядер и даже ядер среднего веса представляет собой пока сложную ускорительную проблему, которая будет, видимо, решена только после создания специализированного ускорителя релятивистских ядер - нуклотрона ^{/11/}. В связи с этим мы обратились к исследованию кумулятивного эффекта в антилабораторной системе координат, т.е.

в терминах физики инклюзивных реакций мы изучаем не фрагментацию налетающей частицы, а фрагментацию частицы мишени.

В предлагаемой ниже установке ядра /в том числе и тяжелые/ бомбардируются ускоренными нуклонами, а спектр рожденных частиц измеряется в направлении "назад", т.е. под углом 180° к направлению первичного пучка. Такая постановка эксперимента дает возможность провести исследование явления кумулятивного рождения частиц практически для любых ядер. Кроме того, в этом случае интервал энергий взаимодействующих ядер увеличивается примерно вдвое, ибо энергия, приходящаяся на один нуклон ядра, в данной постановке эксперимента больше, чем в случае мезонообразования ускоренными ядрами на нуклонах мишени.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Эксперимент проводился на выведенном пучке синхрофазотрона /медленный вывод ¹⁴/ /. Схема установки приведена на рис. 1.

Сфокусированный первичный пучок, диаметром 15 мм, попадает на сменную цилиндрическую мишень F, диаметром 30 мм. Три мишени исследуемых твердых веществ вставлены в оправки из пенопласта и закреплены на дистанционно-управляемой каретке. Четвертая, "пустая мишень" /оправка без мишени/, используется для вычитания фоновых отсчетов. Количество вещества в каждой мишени составляет не более 3 г/см^2 , так что поправка на поглощение частиц в мишени не превышает 9% от измеряемого эффекта.

Мониторирование интенсивности первичного пучка осуществляется телескопом сцинтилляционных счетчиков M_p , направленным на лавсановое окно вакуумпровода. Для определения и контроля положения пучка при облучении мишени используется черенковский счетчик "полного поглощения" M_γ , направленный на мишень.

Вторичные частицы, вылетевшие из мишени в направлении "назад", анализируются по импульсу и формируют-

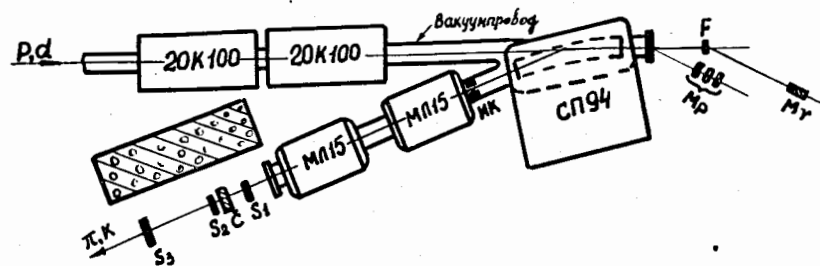


Рис. 1. Схема установки эксперимента.

ся в параллельный пучок магнитооптическим каналом. Регистрация этих частиц производится телескопом из трех сцинтилляционных счетчиков / S_1 , S_2 и S_3 / и дифференциальным черенковским счетчиком \check{C} с радиатором из конденсированных сред.

По вакуумпроводу с внутренним диаметром 200 мм первичный пучок проходит до мишени, а пучок вторичных частиц - от мишени до счетчика S_1 . Поскольку фоновая нагрузка регистрирующей аппаратуры, обусловленная попаданием первичного пучка в стенки вакуумпровода, оказалась существенной, счетчики экранируются со стороны первичного пучка бетонной защитой.

Магнит СП57 направляет первичный пучок, прошедший мишень, в "ловушку" и понижает уровень фона от летящих из нее заряженных частиц.

Физический фон в случае регистрации пионов связан с образованием антинуклонов, остановившихся в мишени. Процесс рождения пионов, конкурирующий с исследуемым кумулятивным мезонообразованием, дает вклад, как показывают оценки, не превышающий 1% от измеряемого эффекта.

3. МАГНИТООПТИЧЕСКИЙ КАНАЛ

Пучок с интенсивностью $I = /0,3 \div 6 / \times 10^{10}$ протонов/цикл выводится из камеры ускорителя за время, равное

0,35 сек и фокусируется на мишени с помощью двух дублетов линз 2OK200 и 2OK100.

Канал формирования пучка вторичных частиц /рис.1/ включает в себя: секторный магнит СП94, поворачивающий пучок частиц на угол, равный 21° , импульсный коллиматор ИК с размерами щели 13 мм x 120 мм и дублет линз МЛ15, формирующий параллельный в обеих плоскостях пучок. Характеристики канала совместно с регистрирующей аппаратурой следующие: знак заряда частиц в формируемых пучках - любой, диапазон импульсов частиц - $0,2 \div 1,2$ ГэВ/с, длина канала /от мишени до счетчика S_3 / - 628 см, разброс по импульсу регистрируемых частиц $\Delta p/p = \pm 6,2\%$, максимальная угловая расходимость регистрируемых частиц $\alpha_{\max} = \pm 10$ мрад, светимость установки $\int_0^\infty \Omega \frac{dP}{P} = 1,76 \cdot 10^{-5}$ ср, / Ω - входной телесный угол пучка/.

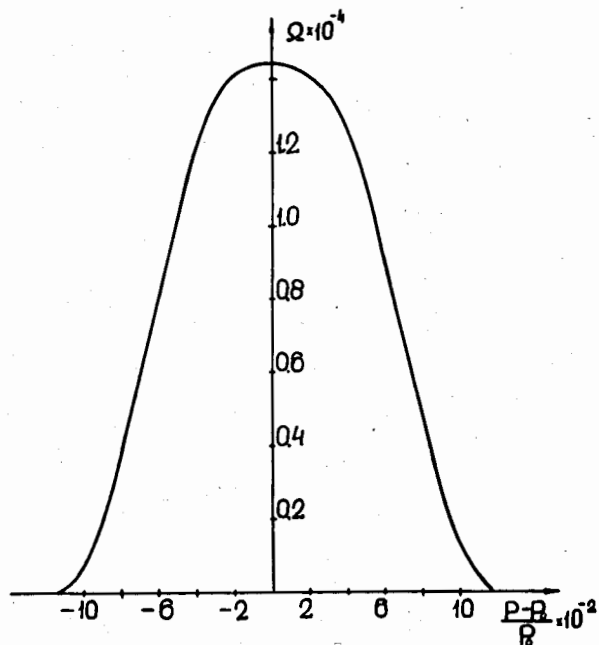


Рис. 2. Зависимость входного телесного угла экспериментальной установки Ω от отклонения частиц по импульсу.

Ограничение на длину канала накладывает распадная длина короткоживущих мезонов.

Величины разрешения черенковского счетчика S по скорости и по углу расходимости частиц больше соответственных разбросов частиц в канале по скорости и по углу. Светимость установки определяется элементами канала и сцинтиллятором счетчика S_2 .

Светимость и импульсный спектр пучка частиц в канале рассчитывались /5/ на БЭСМ-6 с помощью универсальной программы "FOCUS" из библиотеки стандартных программ ЛВТА ОИЯИ. На рис. 2 представлена зависимость телесного угла Ω от отклонения частиц по им-

пульсу $\frac{P-P_0}{P_0}$, где P_0 - импульс частиц, пучок которых

сфокусирован на ∞ .

Первичный пучок отклоняется полем магнита СП94, поэтому положение мишени корректируется при настройке канала на заданный импульс. Это отклонение пучка в районе мишени находится в пределах ± 60 мм.

Калибровка магнита СП94 методом токнесущей нити /6/ позволила определить средний импульс вторичных частиц в канале в зависимости от тока в магните и от положения мишени.

4. МОНИТОРИРОВАНИЕ ПРОТОННОГО ПУЧКА

Лавсановое окно вакуумпровода толщиной 0,12 мм, расположенное на расстоянии 47 см от мишени, служит мишенью для мониторингового телескопа M_p /рис. 1/. Мониторный телескоп, состоящий из трех сцинтилляционных счетчиков, регистрирует вторичные частицы, вылетевшие из окна под углом около 65° к направлению первичного пучка в телесном угле, равном $6,6 \cdot 10^{-4}$ ср. Разрешение телескопа по телесному углу равно 0,11 ср. От мишени телескоп удален по вертикали вниз и защищен 35-сантиметровым слоем свинца. Счет мониторингового телескопа составляет без мишени $M_p \approx 10^3$ отсчетов/ 10^{10} протонов и увеличивается при введении мишени /3 г/см²/ в пучок

не более чем на 10%. Этот эффект учитывается при определении интенсивности первичного пучка.

Для нормирования показаний монитора на абсолютное значение интенсивности протонного пучка проводятся измерения наведенной активности ^{7,8/} с использованием реакции $^{12}\text{C}(p, p_n)^{11}\text{C}$. Получаемое этим методом абсолютное значение интенсивности протонного пучка имеет точность $5 \pm 6\%$.

Дополнительный монитор - черенковский счетчик M_γ регистрирует частицы, идущие от мишени под углом 58° , к направлению первичного пучка, в основном, γ -кванты в результате распада π^0 -мезонов. Радиатор счетчика M_γ длиной 150 мм и с поперечным сечением 25×25 мм изготовлен из стекла ТФ1 и находится в оптическом контакте с фотокатодом 56 AVP. Радиатор направлен на мишень и удален от нее на расстояние около 100 см. Порог амплитудной дискриминации импульсов со счетчика M_γ соответствует верхней границе α -спектра, получаемого с помощью миниатюрного комплекта из α -источника ^{241}Am и сцинтиллирующей пленки, наклеенного на фотокатод рядом с радиатором. В этих условиях при 10^{10} падающих на мишень протонах счет монитора составляет: с мишенью $/3 \text{ г/см}^2/ - M_\gamma \approx 10^3$ отсчетов, без мишени - $M'_\gamma \approx 10$. Мониторный счетчик M_γ используется для определения смещения первичного пучка при изменении тока в магните СП94 и для контроля этого пучка при облучении мишени.

5. РЕГИСТРИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА

Частицы, образующиеся в инклюзивных реакциях, регистрируются телескопом сцинтилляционных счетчиков S_1, S_2 и S_3 и черенковским счетчиком C /рис. 1/. Блок-схема включения электронной аппаратуры представлена на рис. 3. В данном эксперименте используются, в основном, электронные блоки, описанные в работе ^{10/}

Сцинтилляционные счетчики имеют круглые пластиковые сцинтилляторы и полые световоды из алюминированного майлара. Размеры сцинтилляторов: диаметр -

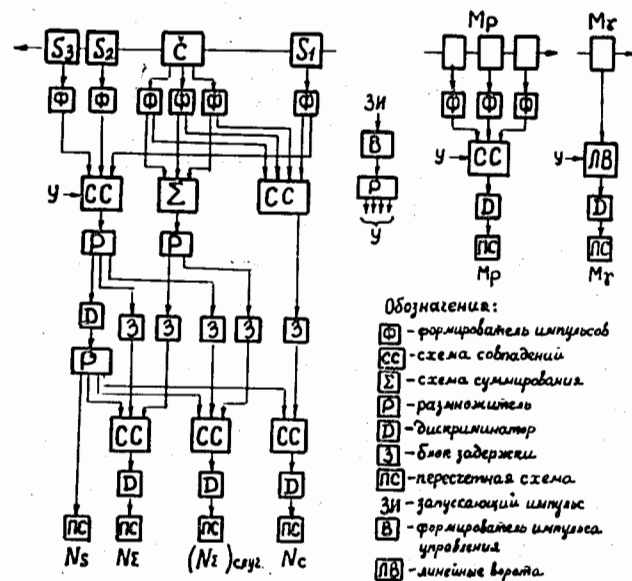


Рис. 3. Блок-схема электронной аппаратуры.

68 мм, толщина - 2 мм для S_1 и S_2 , диаметр - 120 мм и толщина - 5 мм для S_3 . База телескопа - 114 см. Разрешение телескопа по телесному углу - $2,2 \cdot 10^{-2}$ ср.

Черенковский счетчик /рис. 4/ снабжен набором сменных радиаторов /твердых и жидких/ диаметром 70, толщиной 10 мм. Контейнеры для жидких радиаторов имеют майларовые окна толщиной 30 мкм /одно из них зачернено/.

Кольцевое изображение черенковского излучения, получаемое с помощью зеркала радиусом ~ 80 мм, находится на расстоянии около 70 мм от зеркала. В этом месте устанавливается диафрагма. Для компенсации дисперсии излучения и уменьшения аберраций кольцевого изображения зеркало выполнено в виде плосковыпуклой линзы из оргстекла, со сферической поверхностью, напыленной алюминием. Для сбора света на три фотоумножителя 56 DVP используются три короткофокусных параболических зеркала ^{19/}.

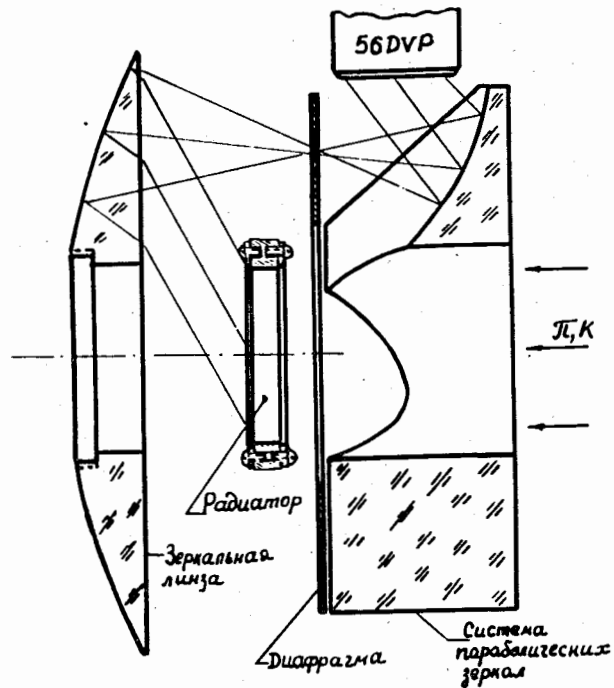


Рис. 4. Схема черенковского счетчика.

Учитывая соотношение $\sin^2 \theta' = n^2 - \beta^{-2}$ / θ' - угол черенковского излучения при выходе из радиатора с показателем преломления n , переход по скорости β регистрируемых частиц осуществляется сменой радиатора при неизменной диафрагме. При этом требуемое соответствие скорости β -частиц в канале величине n осуществляется подстройкой магнитного канала. Диапазон счетчика по скорости регистрируемых частиц: от $\beta=1$, когда в качестве радиатора используется вода с $n_D=1,333$, до $\beta=0,71$ при использовании стекла БФ-24 с $n_D=1,634$.

Фотоумножители черенковского счетчика включены /рис. 3/ одновременно на суммирование (N_{Σ}) и на совпадение (N_C). В обоих случаях они включены на совпадение со счетчиками сцинтилляционного телескопа. Для суммирования постоянно измеряются случайные совпаде-

ния (N_{Σ}) сл. Разрешающее время отбора событий по совпадениям /около 5 нсек/ определяется длиной формирующих линий на выходах фотоумножителей.

Эффективность регистрации заряженных частиц черенковским счетчиком при совпадении сигналов с ФЭУ и при использовании различных радиаторов составляет $0,6 \pm 0,7$. На рис. 5 приведена зависимость величины $\epsilon'_C = \frac{N_C - N_{C \text{ фок.}}}{N_S - N_{S \text{ фок.}}}$ от угла θ' , где N_S и N_C - числа сов-

падений сигналов с телескопа и с черенковского счетчика, если мишень в пучке, а $N_{S \text{ фок.}}$ и $N_{C \text{ фок.}}$ - то же, но без мишени при одинаковом числе первичных протонов. Измерения проведены при изменении импульса π^- мезонов в канале с диафрагмой шириной 8 мм и с радиатором $n=1,42273$. Полуширина этой кривой /на полувысоте/ в переводе на скорость частиц равна $\frac{\Delta \beta}{\beta} = \pm 3 \cdot 10^{-2}$ и

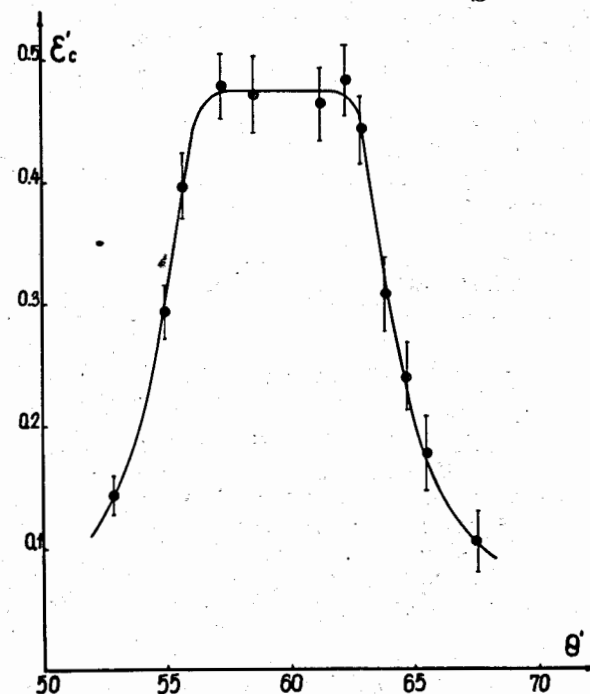


Рис. 5. Кривая разрешения черенковского счетчика.

является разрешением счетчика по скорости частиц при данной диафрагме.

В заключение авторы выражают благодарность О.Н.Цисляку за предоставленную возможность произвести измерения наведенной активности на созданной им установке, и благодарят В.Г.Перевозчикова за участие в данной работе.

Литература

1. А.М.Балдин, Н.Гиордэнеску, В.Н.Зубарев, А.Д.Кириллов, В.А.Кузнецов, Н.С.Мороз, В.Б.Радоманов, В.Н.Рамжин, В.С.Свиридов, В.С.Ставинский, М.И.Яцуца. Сообщение ОИЯИ Р1-5819, Дубна, 1971; Proc. Rochester Meeting APS/OPF/New York (1971) p. 131.
2. А.М.Балдин, С.Б.Герасимов, Н.Гиордэнеску, В.Н.Зубарев, Л.К.Иванова, А.Д.Кириллов, В.А.Кузнецов, Н.С.Мороз, В.Б.Радоманов, В.Н.Рамжин, В.С.Ставинский, М.И.Яцуца. ЯФ, 18, 79 /1973/.
3. А.М.Балдин. Сообщение ОИЯИ, Р7-5769, Дубна, 1971; Краткие сообщения по физике N1, стр. 35, АН СССР /1971/.
4. Б.В.Василишин, В.И.Волков, И.Б.Иссинский, Л.П.Зиновьев, С.В.Каленов, С.А.Новиков, Б.Д.Омельченко, Н.И.Павлов, В.Ф.Сиколенко. Сообщение ОИЯИ, Р9-6973, Дубна, 1973.
5. В.В.Миллер. ПТЭ, 6, 3 /1964/.
6. М.С.Козодаев, А.А.Тяпкин. ПТЭ, 1, 21 /1956/.
7. J.V.Cumming. Ann.Rev.Nucl. Sei., 13, 261 (1963).
8. St.Charalambus, J.Dutrannois, K.Goebel. Preprint CERN/DI/HP90 (1966).
9. M.F.Likhatchev, V.S.Stavinsky. Nucl.Instr. Meth., 20, 261 (1963).
10. В.Н.Зубарев, В.И.Иванов, Н.С.Мороз, В.Б.Радоманов, В.С.Ставинский. ПТЭ, 6, 68 /1970/.
11. В.П.Алексеев, А.М.Балдин, Ю.Д.Безногих, А.А.Васильев, М.А.Воеводин, Е.И.Дьячков, Л.И.Зайдина, А.Г.Зельдович, Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский,¹ Г.С.Казанский, И.Ф.Колпаков, А.А.Кузьмин, Л.Г.Макаров, Е.С.Миронов, А.И.Михайлов, Б.П.Мурин, Н.И.Павлов, И.Н.Семенюшкин, В.Ф.Сиколенко, А.А.Смирнов, В.Л.Степанюк, А.П.Царенков, К.В.Чехлов. Сообщение ОИЯИ 9-7148, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 июня 1974 года.