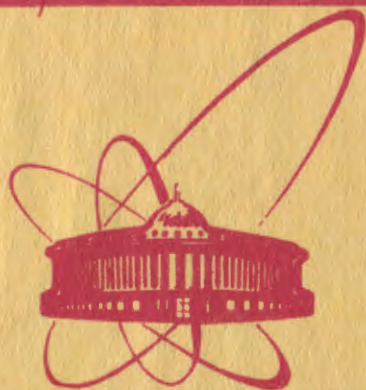


899/82

22/а-82



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

13-81-782

В.Г.Аблеев, С.А.Авраменко, Г.Г.Воробьев,
С.А.Долгий, С.А.Запорожец, А.В.Карпунин,
А.А.Кукушкин, Ю.В.Куликов, Д.К.Никитин,
А.А.Номофилов, Н.М.Пискунов, И.М.Ситник,
Е.А.Строковский, Л.Н.Струнов, А.Филипковски,
В.И.Шаров,

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРОВ
ФРАГМЕНТАЦИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ
ДЕЙТРОНОВ И АЛЬФА-ЧАСТИЦ

Направлено в ПТЭ

1981

1. ВВЕДЕНИЕ

Сведения об экзотических состояниях ядерной материи /многокварковых мешках и т.п./ можно почерпнуть, изучая поведение волновых функций легких ядер /дейтрона, альфа-частицы/ при малых межнуклонных расстояниях ^{1/}. Определить поведение волновой функции ядра на малых расстояниях можно, измеряя при малых поперечных импульсах зависимость инвариантного дифференциального сечения фрагментов от их импульсов в кумулятивной области ^{2/}.

С увеличением энергии ядер растет кинематически доступная кумулятивная область, и при энергии $E \geq 4$ ГэВ/нуклон она уже достаточно широка, чтобы изучать малые межнуклонные расстояния, сравнимые с радиусом кора дейтрона. При таких энергиях практически все интересующие нас фрагменты узко коллимируются в л.с. по направлению пучка ядер, падающего на мишень. Поскольку выход продуктов фрагментации релятивистских ядер в кумулятивной области мал, то необходимо использовать высокоинтенсивные пучки ядер 10^8 - 10^{10} частиц/с/, чтобы решить поставленную задачу. Однако современные детекторы /пропорциональные камеры и сцинтилляционные счетчики/ не способны регистрировать такие потоки. Поэтому для реализации измерений необходимо вначале выделить поток продуктов фрагментации из первичного пучка, а затем исследовать их выход в зависимости от импульса.

С целью упрощения проблемы нормировки экспериментальных данных и результатов теоретических расчетов необходимо в процессе проведения одного эксперимента накопление данных в широком диапазоне импульсов фрагментов - как в области наиболее вероятного импульса, так и вблизи кинематического предела.

Ниже, в разделе 2, описана удовлетворяющая этим требованиям схема эксперимента и даны характеристики установки в целом, а также отдельных ее элементов. В разделе 3 приводятся процедура проведения измерений и способ аппаратного отбора событий. Изложение ведется на примере измерения $d \rightarrow p$ фрагментации на углеродной мишени при импульсе дейтронов $p_d = 8,9$ ГэВ/с; измерение спектра тритонов от $\alpha \rightarrow t$ фрагментации отличалось лишь незначительными изменениями в составе аппаратуры.

2. СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА И ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВКИ

2.1. Схема эксперимента

Измерение выхода продуктов фрагментации релятивистских ядер дейтерия при малых поперечных импульсах осуществлялось с помощью установки, работающей на линии с ЭВМ ЕС-1010. В основном использовался набор детекторов и регистрирующей электроники, входящей в состав спектрометра АЛЬФА^{1/3}. Расположение элементов установки приведено на рис.1.

Пучок релятивистских ядер дейтерия, интенсивность которого можно варьировать, падал на мишень /Т/, расположенную внутри вакуумного тракта канала медленного вывода синхрофазотрона ОИЯИ. Продукты фрагментации, возникшие в результате взаимодействия дейтронов в мишени, выводились отклоняющим магнитом /МО/ на ось детекторов установки /≈150 мрад по отношению к оси пучка дейтронов/, которая определялась сцинтилляционными счетчиками S_1, S_2, S_3 . Изменением величины поля в МО осуществлялся переход от одного измеряемого участка импульсного спектра продуктов фрагментации к другому. Для обеспечения постоянства импульсного акцептанса установки поле в анализирующем магните М1 менялось пропорционально полю в МО; при этом частицы, идущие по оси детекторов, попадали в центр сцинтилляционного счетчика S_4 .

Как видно из рис.1, детекторы установки вместе с М1 располагались на значительном удалении как от мишени, так и от МО. Благодаря такому расположению элементов установки облегчается регистрация продуктов фрагментации с малыми поперечными импульсами и уменьшаются загрузки детекторов установки фоновыми частицами. Дейтроны первичного пучка, не испытавшие взаимодействия, имеют другой угол отклонения в МО по отношению к регистрируемым продуктам фрагментации, и перехватываются защитой.

Данная постановка эксперимента позволила, во-первых, работать при интенсивностях пучка релятивистских ядер вплоть до $2 \cdot 10^{10}$ частиц/цикл /при длительности излучения $0,3 \div 0,4$ с/ и обеспечить разумную скорость набора полезных событий даже при работе вблизи кинематического предела; во-вторых, путем варьирования интенсивности первичного пучка в пределах $5 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^{10}$ частиц/цикл держать приемлемую загрузку детекторов установки, в диапазоне $0,5 \div 1,0 \cdot 10^6$ частиц/с, во всем импульсном интервале измерений.

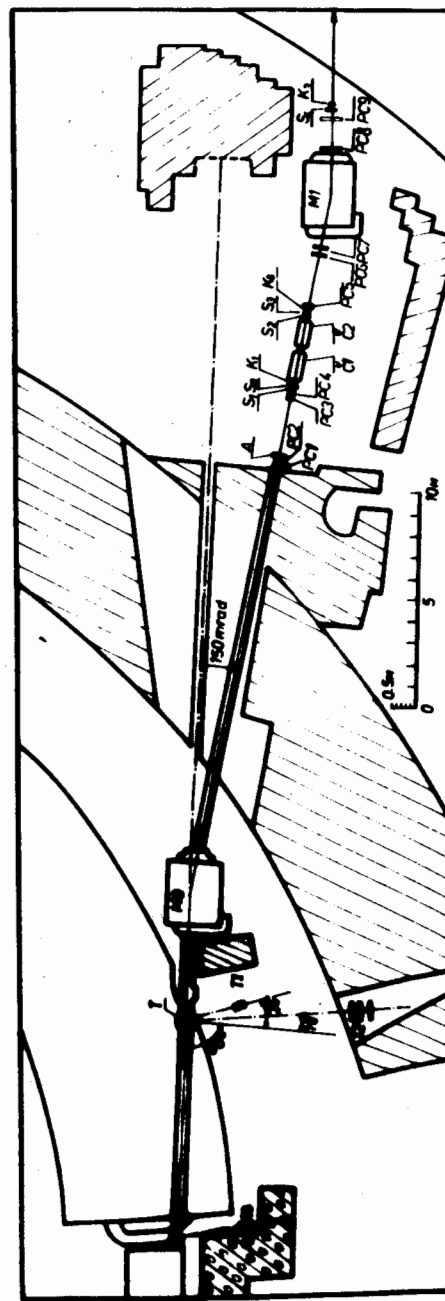


Рис.1. Схема расположения элементов установки. Т - мишень; МО, М1 - отклоняющий и анализирующий магниты; PC1-PC9 - порционные камеры; $S_0 \div S_4, A, K_1 \div K_3$ - сцинтилляционные счетчики; $\check{C}1, \check{C}2$ - пороговые черенковские счетчики; Т1-Т3 - мониторные телескопы.

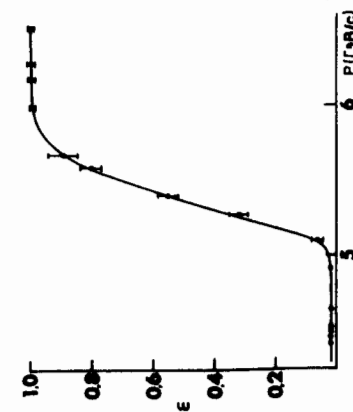


Рис.2. Эффективность счетчика $\check{C}2$ в зависимости от импульсов регистрируемых протонов.

2.2. Аппаратура установки

Аппаратура установки, работающей на линии с ЭВМ ЕС-1010, позволяла: определить сорт частиц /дейтроны или протоны/; измерить импульс (р) частицы, угол вылета (θ) частицы из мишени и координаты (x,y) точки взаимодействия частицы в мишени /ось z направлена по пучку дейтронов/; осуществить мониторинг пучка дейтронов, падающего на мишень из углерода или полиэтилена толщиной по пучку $\sim 3,5$ г/см² и поперечными размерами $/3 \times 10$ см²/.

Сцинтилляционные счетчики $S_1 \div S_3$ /с поперечными размерами сцинтилляторов 5×5 см²/ и S_4 $/20 \times 35$ см²/ определяли аксептанс установки и использовались для стробирования сигналов от пропорциональных камер. Счетчики $K_1 \div K_3$ $/4 \times 4$ см²/, счетчик S_0 $/10 \times 10$ см²/ и такого же размера "антисовпадательный" счетчик А с отверстием диаметром 5 см позволяли организовать контроль за работой детекторов спектрометра.

Пропорциональные камеры с шагом намотки 2 мм образовывали 3 блока. Камеры первого блока /PC1-PC4/ использовались для определения параметров траекторий входящих в установку частиц. С помощью блоков камер PC5-PC7 и PC8-PC9 измерялся импульс регистрируемых частиц, который находился по величине угла их отклонения анализирующим магнитом M1. С целью улучшения координатной точности камеры в парах /PC1, PC2/, /PC3, PC4/ и /PC6, PC7/ были сдвинуты по отношению друг к другу на 1 мм.

Пороговые черенковские счетчики $\check{C}1, \check{C}2$ позволяли отделить вторичные протоны от дейтронов того же импульса, попавших в установку. Счетчики наполнялись CO₂ до давления 33 атм. и имели разрешение по скорости $\Delta\beta \approx 0,005$ каждый. Их эффективность составляла $\epsilon \approx 99\%$ для протонов с импульсом больше 6 ГэВ/с. На рис.2 показана зависимость $\epsilon(p)$, полученная в процессе измерения спектра фрагментации. Уровень фоновых срабатываний от частиц со скоростями ниже порога регистрации не превышал величины 3,3% для каждого счетчика.

Мониторные телескопы T1-T3 состояли из сцинтилляционных счетчиков, включенных на совпадения. Они располагались в зале ускорителя и были направлены на мишень /а T3 - на фольгу выводного окна вакуумной камеры ускорителя/ таким образом, чтобы обеспечить регистрацию протонов отдачи от квазиупругого рассеяния. Телескоп T1 предназначен для мониторинга потока дейтронов, падающего на мишень, при работе с интенсивностями $\geq 10^9$ частиц/цикл, телескоп T2 - для работы с интенсивностями $< 10^9$ частиц/цикл. Телескоп T3, позволяющий следить за интенсивностью выведенного пучка, использовался при измерениях с пустой мишенью.

Выведение мишени из пучка уменьшало счет в мониторных телескопах T1, T2 в $30 \div 40$ раз.

Величина магнитного поля в магнитах M0 и M1 контролировалась с помощью установленных в них датчиков Холла, проградуированных методом ЯМР. Датчики помещались в термостаты. Величина эдс Холла измерялась с помощью цифровых вольтметров, показания которых считывались в ЭВМ в середине каждого импульса излучения.

Магниты M0 и M1 /с установленными в них датчиками/ прокалиброваны методом токонесущей нити^{/4/} для установления связи между интегралом поля вдоль траектории фрагментов и локальным значением поля в том месте, где установлен датчик Холла. Результаты этой калибровки использовались во время проведения экспозиций /при настройке на определенный участок спектра/ и обработки данных.

Вся наносекундная, регистрирующая и управляющая электроника выполнена в стандарте КАМАК. Блок-схема ее функционирования приведена в работе^{/3/}.

2.3. Характеристики установки

Точность измерения координат в 1-м блоке

$$\sigma_x = 0,29 \text{ мм}, \sigma_y = 0,58 \text{ мм}$$

Точность измерения углов $\phi_{x,y}$ входа частиц в установку

$$\sigma_{\phi_x} \approx 0,26 \text{ мрад},$$

$$\sigma_{\phi_y} \approx 0,32 \text{ мрад}$$

$$\sigma_{p/p} \approx 0,4\%$$

Точность измерения импульса

Точность определения x и y координат места взаимодействия в мишени

$$\sigma_x \approx \sigma_y = 10 \text{ мм}$$

Точность определения угла θ_x вылета из мишени

$$\sigma_{\theta_x} \approx 0,8 \text{ мрад}$$

Коэффициент подавления запусков установки от дейтронов системой из двух черенковских счетчиков

$$960$$

Импульсный аксептанс установки /р_ф - импульс частиц, идущих по оси детекторов установки/

$$\left| \frac{p - p_{\phi}}{p_{\phi}} \right| \leq 0,09$$

Аксептанс установки по углу вылета из мишени

$$|\theta_x + 112 \frac{p - p_{\phi}}{p_{\phi}}| \leq 1,7 \text{ мрад}$$

$$|\theta_y| \leq 1,7 \text{ мрад.}$$

3. ПРОЦЕДУРА ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

3.1. Заданием поля в М0 определялся участок спектра протонов фрагментации, в котором проводились измерения. Соответственно полю в М0 устанавливалось поле в М1.

Информация о событии передавалась из установки в ЭВМ, если выполнялось одно из трех логических условий:

$$1/ TR1 = M \wedge Pr,$$

$$2/ TR2 = TR1 \wedge \check{C}1 \wedge \check{C}2,$$

$$3/ TR3 = M',$$

где $M = S_1 \wedge S_2 \wedge S_3 \wedge S_4$ и $M' = K_1 \wedge K_2 \wedge K_3 \wedge S_0 \wedge \bar{A}$ - совпадение логических сигналов в соответствующих сцинтилляционных счетчиках, $\check{C}1$ и $\check{C}2$ - логические сигналы с пороговых черенковских счетчиков. Pr - логический сигнал с цифрового процессора, который по информации с пропорциональных камер РС1, РС3 накладывал ограничение на угол ϕ_x между треком и осью детекторов /подробнее об использовании цифрового процессора будет сказано в следующем пункте/.

Накопление статистической информации о продуктах фрагментации осуществлялось при выполнении логических условий $TR1$ и $TR2$; при $TR1$ накапливалась информация в области импульсов вторичных частиц от 3,5 до 6 ГэВ/с, а $TR2$ использовался при импульсах выше 6 ГэВ/с, где начинает быстро возрастать дейтронная компонента вторичного пучка, обусловленная реакцией $d + {}^{12}C \rightarrow d + X$ /см. рис.4/. Выделение протонов при импульсах выше 6 ГэВ/с обеспечивалось с помощью пороговых черенковских счетчиков $\check{C}1$ и $\check{C}2$ настроенных на порог регистрации протонов с импульсом 5 ГэВ/с.

При выполнении логического условия $TR3$ в ЭВМ поступала информация, необходимая для контроля эффективности детекторов установки.

Изменение условий ($TR1 \div TR3$) накопления событий осуществлялось с помощью блока УЛБ^{1/5} автоматически между циклами ускорения по командам от ЭВМ с достаточно коротким периодом /через 10 циклов/. Это обеспечивало корректный учет эффективности спектрометра при возможных изменениях условий эксперимента.

Измерения в каждом участке спектра выполнялись как с рабочими мишенями (C, CH_2), так и с "пустой", вклад которой составлял ~10%. Оперативный контроль за стабильностью режима облучения мишени осуществлялся путем обмена информацией между ЭВМ установки и ЭВМ системы медленного вывода пучка из синхрофазотрона^{1/8}. С ЭВМ системы медленного вывода после каждого цикла ускорения поступали на установку данные о положении, размерах пучка в районе мишени и его интенсивности. В свою очередь, ЭВМ установки передавала на ускоритель данные о работе мониторинжных телескопов.

Программное обеспечение ЭВМ установки позволяло осуществить прием и запись информации на магнитную ленту, а также настройку режимов экспозиции, оперативный контроль детекторов и текущий анализ экспериментальной ситуации в режиме диалога с ЭВМ.

На магнитную ленту записывалась следующая информация о событии:

- координаты траекторий зарегистрированных частиц,
- срабатывание счетчиков установки,
- мониторинные числа,
- режим работы системы медленного вывода и параметры пучка,
- величины магнитных полей М0 и М1.

3.2. Условия отбора событий с помощью пропорциональных камер, сопряженных с процессором

Оптимальная процедура измерений в условиях сильной зависимости выхода фрагментов от импульса достигается в случае, когда акцептанс по импульсу не слишком велик. Выбором апертуры установки удовлетворительно решить данную задачу невозможно, так как пространственное распределение фрагментов в области детекторов определяется не только их импульсами, но и углами вылета из мишени. При отборе событий совпадениями $S_1 \wedge S_2 \wedge S_3 \wedge S_4$, хотя размеры сцинтилляторов счетчиков S_1 и S_3 малы, а расстояние между ними значительно, мы имеем распределение событий /рис.3а/, максимум которого находится достаточно далеко от заданного центра ($\phi_\phi, \theta_x = 0$) исследуемой малой кинематической области как по импульсу, так и по углу вылета из мишени. Исключением является лишь случай, когда измерения проводятся в области $\phi_\phi \approx \phi_d/2$ /рис.3б/.

Для ограничения импульсного диапазона регистрируемых частиц использовалась корреляция между импульсом фрагмента и углом его траектории относительно оси детекторов. С этой целью мы применили специализированный цифровой процессор^{1/3,7}, с помощью которого за время ~0,8 мкс проводился анализ угла ϕ_x траектории частицы, прошедшей через камеры РС1, РС3; если значение угла ϕ_x удовлетворяло выполнению неравенства $|\phi_x - \phi_0| \leq C$, то осуществлялась передача информации о событии в ЭВМ. Влияние такого отбора на ширину импульсного захвата установки для двух вариантов приведенного неравенства показано на рис.3.

Описанная процедура измерений позволяет проводить исследование спектров фрагментации легких релятивистских ядер при малых поперечных импульсах достаточно подробно во всем кинематически разрешенном интервале импульсов фрагментов. Приведен-

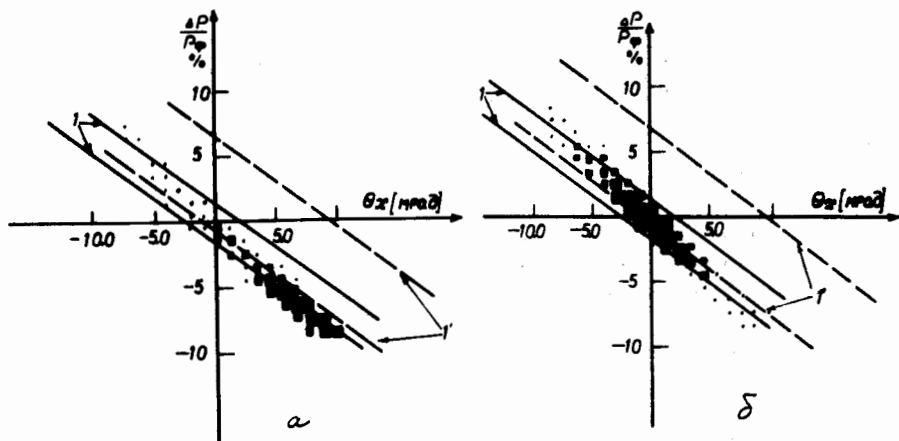


Рис.3. Распределение на плоскости $(\theta_x, \Delta p/p_\phi = (p - p_\phi)/p_\phi)$ протонов от фрагментации дейтронов с импульсом $p_d = 8,9$ ГэВ/с, регистрируемых установкой при отборе событий совпадениями $S_1 \wedge S_2 \wedge S_3 \wedge S_4$ /размер точек пропорционален числу событий в соответствующей области диаграммы/: а/ $p_\phi = 4,98$ ГэВ/с, б/ $p_\phi = p_d/2 = 4,45$ ГэВ/с. События между прямыми 1 и 1' накапливаются при выполнении логических условий TR1 и TR2, когда при помощи процессора выполняются следующие неравенства: $|\phi_x| \leq 2$ мрад /прямые 1/ и $|\phi_x - 4| \leq 5$ мрад /прямые 1'.

ные на рис.4 результаты/8/ для 50 точек получены в недельном сеансе работы модифицированной установки АЛЬФА на пучке дейтронов медленного вывода синхрофазотрона ОИЯИ. Нормировка абсолютных значений инвариантных сечений фрагментации проводилась в районе максимума, по результатам отдельного опыта, проведенного на пучке малой интенсивности с мишенью, расположенной на месте пороговых черенковских счетчиков.

Авторы признательны сотрудникам ЛВЭ, принимавшим участие в осуществлении модификации магнитного спектрометра АЛЬФА, а руководству лаборатории и научно-экспериментального электронного отдела ЛВЭ за поддержку в выполнении комплекса этих работ.

Мы особенно благодарны В.И.Волкову, И.И.Куликову и В.М.Слепневу за организацию связи между ЭВМ системы медленного вывода и ЭВМ установки, З.П.Мотиной и Р.Н.Петровой за помощь при подготовке оборудования и оформлении данной публикации.

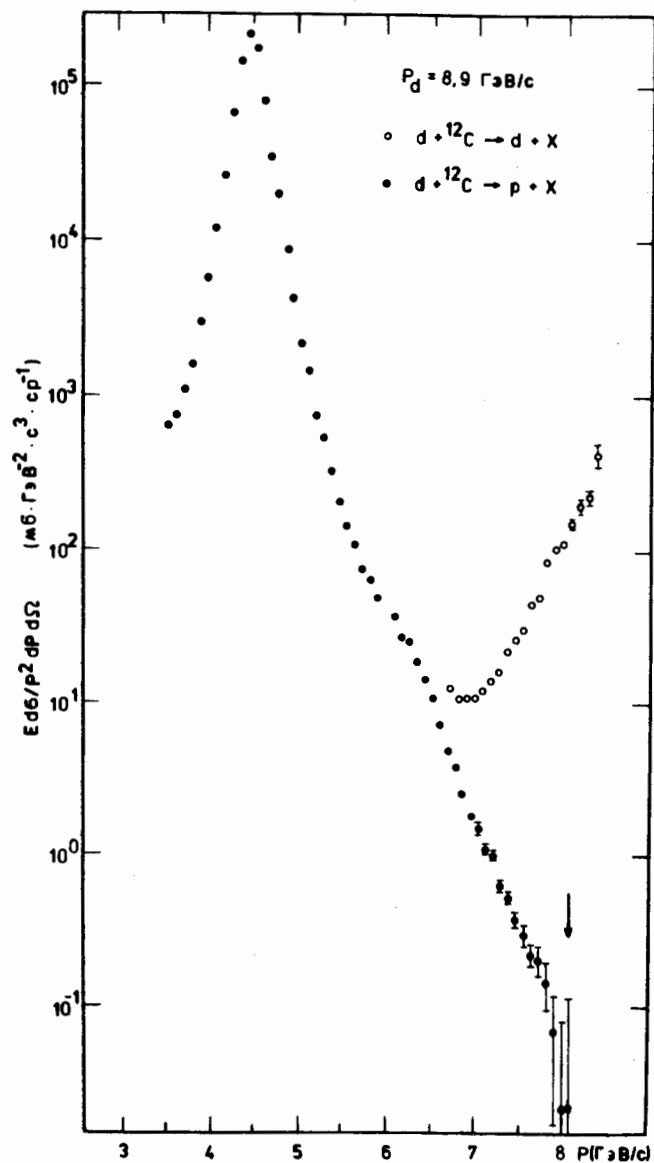


Рис.4. Инвариантное дифференциальное сечение для протонов от фрагментации дейтрона с импульсом 8,9 ГэВ/с на углеродной мишени с вылетом протона при $P_1 = 0$. Стрелкой указан кинематический предел для протонов фрагментации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Baldin A.M. In: Progress in Particle & Nuclear Physics, 1980, 4, p.95; Bergström L., Fredriksson S. Rev.Mod.Phys., 1980, 52, p.675 и ссылки в этом обзоре.
2. Стрикман М.И., Франкфурт Л.Л. ЭЧАЯ, 1980, 11, №3, с.571.
3. Аблеев В.Г. и др. ПТЭ, 1978, №2, с.63.
4. Козодаев М.С., Тяпкин А.А. ПТЭ, 1956, №1, с.21.
5. Басиладзе С.Г., Парфенов А.Н. ПТЭ, 1975, №1, с.81.
6. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 10-81-261, Дубна, 1981.
7. Guzik Z., Basiladze S.G. NIM, 1974, 114, p.83.
8. Ableev V.G. et al. In: Proc. of the Int.Conf. on Nucl. Phys., Abstract, Berkeley, California, 1980, vol.1, p.71.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 декабря 1981 года.