



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3569/82

2/viii-82
Д1-82-241 e

А. Абдивалиев*, К. Бешли**, С. Груиа**,
А. П. Иерусалимов, Ф. Которобай**, В. И. Мороз,
А. В. Никитин, Д. Пантеа**, В. Н. Печенов,
А. П. Стельмах, Ю. А. Троян

ПОИСК И ИССЛЕДОВАНИЕ
ЭКЗОТИЧЕСКИХ БАРИОННЫХ РЕЗОНАНСОВ
С ИЗОТОПИЧЕСКИМ СПИНОМ $I = 5/2$
В РЕАКЦИИ $np \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-n$
ПРИ $P_n = (5,10 \pm 0,17) \text{ ГэВ/с}$

Направлено в журнал "Ядерная физика"
и на XXI Международную конференцию
по физике высоких энергий /Париж, июль 1982 г./

* Ленинабадский государственный
педагогический институт им. С. М. Кирова.

** Бухарестский университет, СРР.

1982

Настоящая работа посвящена поиску и исследованию барионных резонансов с изотопическим спином $5/2$ в системах $p\pi^+\pi^+$ и $p\pi^-\pi^-$. Использовалась реакция



события которой отбирались из 5-лучевых звезд $p\pi^-$ -взаимодействий в 1-метровой водородной пузырьковой камере ЛВЗ ОИЯИ. Облучение камеры производилось пучком монохроматических нейтронов с импульсом $/5,10 \pm 0,17/$ ГэВ/с ^{/1/}. Методы разделения каналов реакций в данном облучении изложены в ^{/2/}. Всего отобрано 3088 событий процесса /1/. Из-за его изотопической симметрии возможно изучать сразу две интересующие нас комбинации частиц: $p\pi^+\pi^+$ и $p\pi^-\pi^-$, и во всех случаях складывать распределения для изотопически-симметричных комбинаций. Небольшой разброс первичного пучка по импульсу и точность измерения вторичных частиц в камере позволяют восстанавливать вторичный нейтрон настолько хорошо, что в пределах статистических ошибок не видно разницы в изотопически-симметричных распределениях, содержащих протон и нейтрон.

Исследование распределения эффективных масс $p\pi^+$ -комбинаций относительно эффективных масс $p\pi^-$ показывает, что реакция /1/ идет через четыре подпроцесса:

$p\pi^+ \rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^-$	$/13,6 \pm 8,2/\%$,	/1а/
$\rightarrow \Delta^{++}\pi^+\pi^-\pi^-\pi^-$	$/30,5 \pm 8,0/\%$,	/1б/
$\rightarrow p\pi^+\pi^+\pi^-\Delta^-$	$/30,5 \pm 8,0/\%$,	/1в/
$\rightarrow \Delta^{++}\pi^+\pi^-\Delta^-$	$/25,4 \pm 8,0/\%$.	/1г/

Справа от реакций указаны их доли в процентах. Каждый из подпроцессов /1а-г/ моделировался с помощью программы FOWL, в которую в случае реакций /1б-г/ включался Δ_{33} -резонанс с массой 1214 МэВ/с² и шириной $\Gamma = 110$ МэВ/с². При моделировании учитывалась периферичность нуклонов во всем процессе /1/ путем умножения фазового объема на множитель

$$\exp\{-B|y_{\max} - y_1|\} \cdot \exp\{-B|y_2 - y_{\min}|\},$$

где $y_{\max}(\min)$ - максимально /минимально/ возможное значение продольной быстроты нуклона в реакции /1/ при данной энергии,

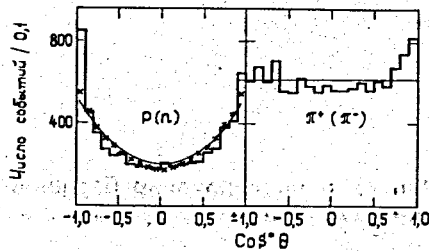


Рис.1. Угловые распределения нуклонов и π -мезонов в с.ц.м. реакции /1/.

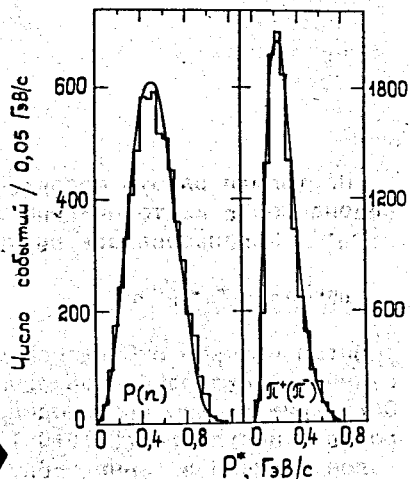


Рис.2. Импульсные распределения нуклонов и π -мезонов в с.ц.м. реакции /1/.

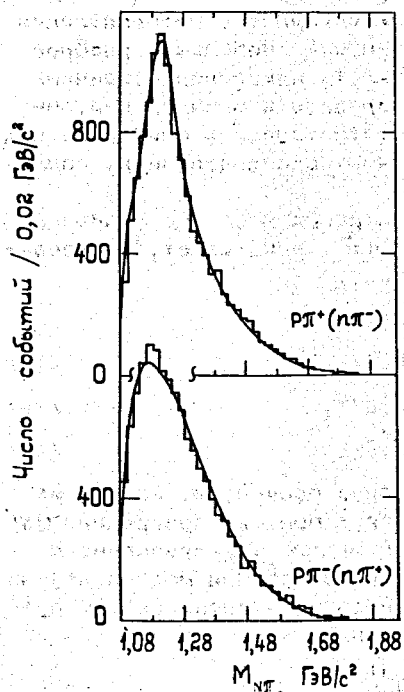


Рис.3. Эффективные массы N_p -комбинаций из реакции /1/.

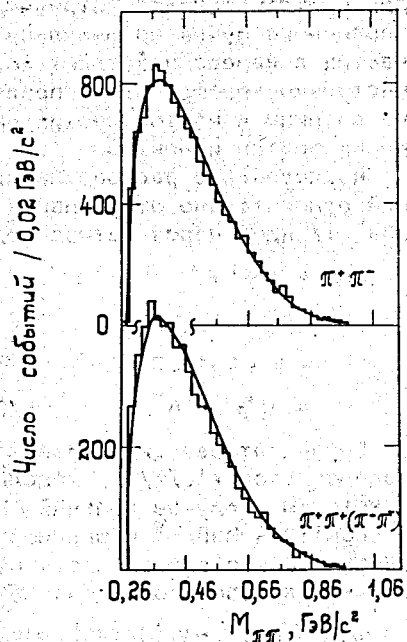


Рис.4. Эффективные массы $\pi\pi$ -комбинаций из реакции /1/.

$u_1(u_2)$ - значение наибольшей /наименьшей/ быстроты нуклона в данном смоделированном событии ^{1/3}. Коэффициент. В подбирался экспериментально исходя из наилучшего согласия смоделированных угловых и массовых распределений в с.ц.м. реакции /1/ с экспериментом. При значениях V в пределах $1,61 \div 1,91$ угловые распределения нуклонов и массы N_p , $\pi\pi$, $N_{\pi\pi}$ хорошо описываются подпроцессами $/1a/\div/1g/$, сложенными с весами, указанными выше, за исключением случаев, о которых будет сказано впоследствии.

На рис.1 представлены угловые распределения нуклонов и π -мезонов в с.ц.м. реакции /1/. Сплошной линией обозначено угловое распределение из подпроцессов $/1a/-/1g/$ с $V=1,61$, крестиками - с $V=1,91$. На рис.2 приведены импульсные распределения нуклонов и π -мезонов вместе с описанием подпроцессами $/1a/\div/1g/-$ сплошная линия. Рис.3 представляет описание эффективных масс N_p -комбинаций, рис.4 - эффективные массы $\pi\pi$ -комбинаций.

Заметим, что изменение долей подпроцессов $/1a/\div/1g/$ в пределах их ошибок не меняет вида смоделированных распределений.

Из рис.3,4 следует, что в реакции /1/ при 5,1 ГэВ/с не происходит заметного рождения Δ_{33} изобар /и более тяжелых/ в системах $p\pi^-$ ($n\pi^+$), а также рождения ρ^0 -мезона в системе $\pi^+\pi^-$.

На рис.5 представлены распределения эффективных масс $p\pi^+\pi^+$ /сложено с $p\pi^+\pi^-$ /-, $p\pi^+\pi^-$ ($n\pi^+\pi^-$) -, $p\pi^-\pi^-$ ($n\pi^+\pi^+$) - комбинаций. Сплошные линии - фоновые кривые из подпроцессов $/1a/\div/1g/$, нормированные на полное число комбинаций. Никаких существенных отклонений от фона в этих распределениях не наблюдается.

На рис.6 показаны распределения эффективных масс $\Delta^{++}\pi^+$ ($\Delta^-\pi^-$)-, $\Lambda^{++}\pi^-$ ($\Lambda^-\pi^+$)- и $\Lambda^0\pi^-$ ($\Delta^+\pi^+$)-комбинаций. Комбинация N_p считалась находящейся в районе Δ_{33} -изобары, если ее масса была заключена в пределах $1174 \leq M_{Np} \leq 1254$ МэВ/с². Сплошные кривые - фон от процессов $/1a/\div/1g/$ - получены при тех же условиях, что и экспериментальные распределения.

Эффективные массы $\Delta^0\pi^-$ ($\Delta^+\pi^+$) хорошо описываются фоновыми кривыми. Отклонения от этого описания нигде не превышают двух стандартных ошибок. Так же хорошо описываются и комбинации $\Lambda^{++}\pi^-$ ($\Delta^-\pi^+$). Однако распределение масс $\Delta^{++}\pi^+$ ($\Delta^-\pi^-$) резко отличается от фонового. Это распределение было аппроксимировано суммой фона и трех резонансных кривых с массами 1438, 1522 и 1894 МэВ/с² и ширинами 30, 20 и 40 МэВ/с² соответственно. Аппроксимирующая кривая изображена пунктирной линией, сплошная линия - фоновая кривая, нормированная на число фоновых комбинаций, остающихся после fit . При аппроксимации первый резонанс описывался брейт-вигнеровской кривой, а два более тя-

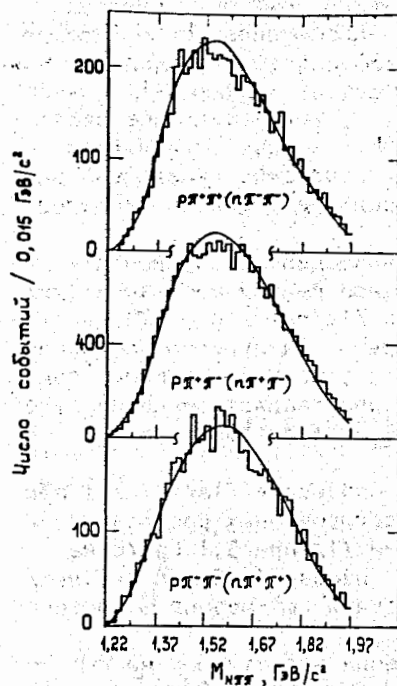
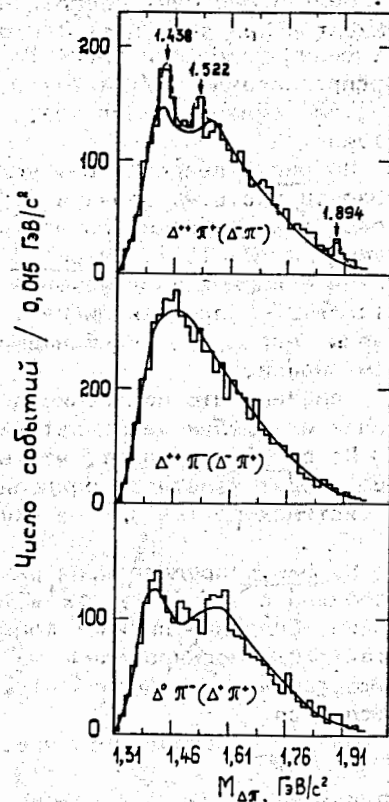


Рис. 6. Эффективные массы $\Delta\pi^-$ -комбинаций из реакции /1/;
 $M_{\Delta} = 1214 \pm 40$ МэВ/с².

Рис. 5. Эффективные массы $N\pi\pi^-$ -комбинаций из реакции /1/.



желых - гауссовой в соответствии с экспериментальным разрешением по массам, которое равно в области первого резонанса 9,6 МэВ/с², в области второго 11 МэВ/с² и в области масс больше 1800 МэВ/с² достигает 23 МэВ/с².

Чтобы исследовать вопрос о действительной связи наблюдаемых особенностей с Δ^{*+} - и Δ^- -изобарами, которые обильно рождаются в реакции /1/, нами было выполнено построение эффективных масс $\Delta^{*+}\pi^-$ - и $\Delta^-\pi^-$ -комбинаций, когда в качестве Δ -изобары выбиралась комбинация $p\pi^+(p\pi^-)$, масса которой заключена в различных интервалах. Результат представлен на рис. 7. Вверху каждого рисунка указан интервал масс $N\pi$, который принимался за интервал, где находится Δ -изобара, сплошные кривые - фон из подпроцессов /1a/÷/1г/. На каждом рисунке указа-

Таблица 1

$M_{рез}, \text{МэВ}/c^2$	$\Gamma_{рез}, \text{МэВ}/c^2$	$\sigma, \text{мкбн}$
1438	23	$9,9 \pm 2,7$
1522	≤ 20	$4,8 \pm 1,7$
1894	≤ 40	$3,3 \pm 0,8$

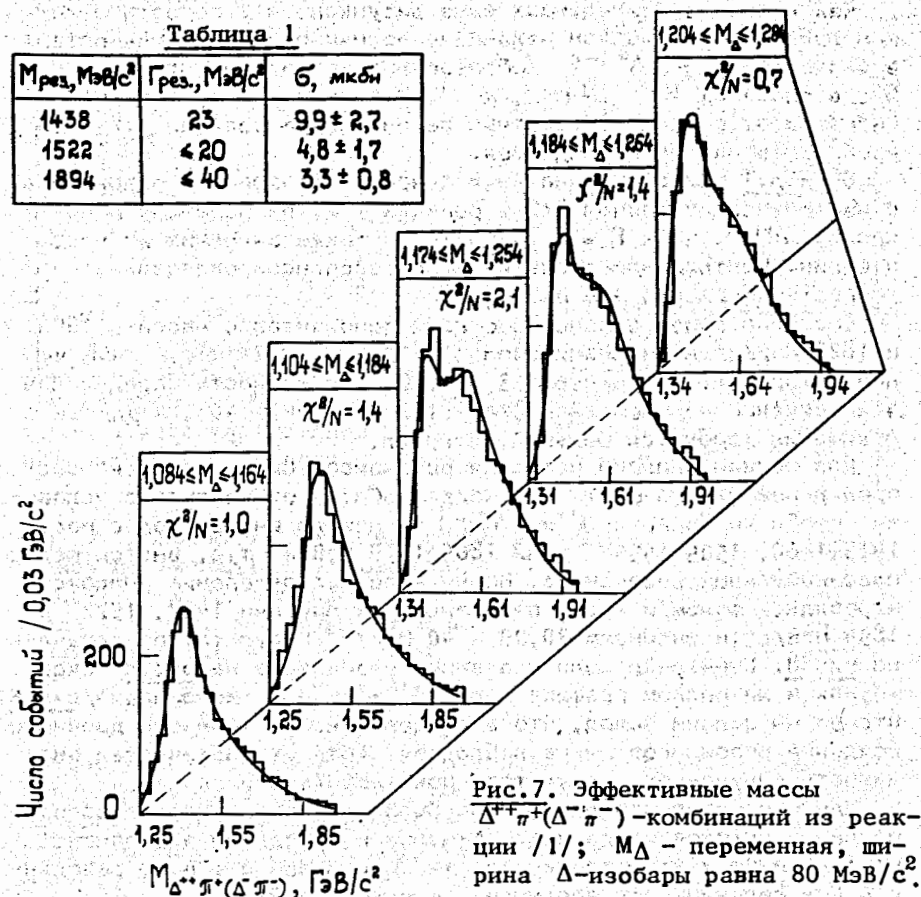


Рис. 7. Эффективные массы $\Delta^{*+}\pi^-(\Delta\pi^-)$ -комбинаций из реакции /1/; M_{Δ} - переменная, ширина Δ -изобары равна 80 МэВ/с².

на величина χ^2/N , соответствующая описанию фоном. Видно, что наихудшее описание фоновыми кривыми приходится на интервал $1174 \leq M_{\Delta} \leq 1254$ МэВ/с². Этот результат согласуется с рис. 3 для $\Delta^{*+}(\Delta^-)$ -изобары, из которого видно, что максимум распределения масс $p\pi^+(p\pi^-)$ приходится на интервал от 1200 до 1220 МэВ/с² /уточненное значение $M_{\Delta} = 1214$ МэВ/с² для наших условий/. Ширина вырезания Δ -изобары, равная 80 МэВ/с²; также подбиралась экспериментально: при более широкой полосе в области 1214 МэВ/с² в нее попадает много фоновых событий $p\pi^+(p\pi^-)$ -комбинаций и относительная доля истинных Δ уменьшается; при более узкой полосе уменьшается общее число событий в полосе Δ . В обоих случаях точность определения сечений образования предполагаемых резонансов уменьшается, хотя эффект не очень сильный.

Как видно из приведенных выше рисунков, нет вопроса о каком-либо кинематическом механизме возникновения особенностей в системах $\Delta^{++}\pi^+$ ($\Delta^-\pi^-$) / образование ρ^0 -мезона, тяжелых изобар в системах $N\pi$, $N\pi\pi$, $\Delta\pi$ /, т.к. никаких существенных сигналов от рождения известных резонансов в реакции /1/ при наших энергиях не наблюдается.

В табл.1 приведены значения сечений образования резонансов, с изотопическим спином $5/2$ в реакции /1/, распадающихся по каналу $\Delta^{++}\pi^+$, при $P_n = 5, 10$ ГэВ/с, а также значения их масс и ширин. Центральное значение масс резонансов определено с точностью примерно ± 10 МэВ/с².

Возможно существование еще двух резонансов с массами 1698 и 1826 МэВ/с² и ширинами около $30 \div 40$ МэВ/с², сечения образования которых равны примерно 3 мкб. Однако точность определения этих сечений на имеющейся статистике не лучше 40%, и для ее повышения требуется больший материал.

Для оценки парного рождения резонансов было построено распределение масс $\Delta^-\pi^-$ ($\Delta^{++}\pi^+$); когда события отбирались с условием, чтобы комбинация $\Delta^{++}\pi^+$ ($\Delta^-\pi^-$) лежала внутри полос масс $1415 \div 1460$, $1505 \div 1535$ или $1865 \div 1910$ МэВ/с², т.е. внутри полос масс найденных резонансов. Полученное распределение аппроксимировалось фоном и тремя резонансами с массами 1438, 1522 и 1894 МэВ/с² и ширинами 30, 20 и 40 МэВ/с². Результат представлен на рис.8. Суммарная доля указанных резонансов на рис.8 такая же, как и на полном графике масс $\Delta^{++}\pi^+$ ($\Delta^-\pi^-$) - комбинаций /рис.6/. Отсюда мы делаем вывод, что в пределах нашей точности двойного рождения резонансов мы не наблюдаем, хотя статистическая значимость полученного результата пока довольно низка.

Для оценки спинов резонансов было построено угловое распределение нуклонов от распада Δ -изобары, входящей в резонанс, по отношению к направлению полета Δ -изобары в с.ц.м. резонанса. Все величины переведены в с.ц.м. Δ -изобары.

Наверху рис.9 представлено угловое распределение для первого резонанса $/1415 \leq M_{рез} \leq 1460/$ - черные точки. Там же показано ожидаемое угловое распределение для случая, когда спин резонанса равен $1/2^\pm$ /пунктир/ и для случая изотропного распределения, которое ожидается для спина $> 1/2$ /пунктир с точкой/. В качестве фона выбрано усредненное распределение из полос масс слева и справа от резонанса $/1340 \leq M \leq 1385$ и $1475 \leq M \leq 1490/$. Принимая 15%-ную границу для вероятности совпадения гипотезы с экспериментом, можно отбросить значение спина, равное $1/2^\pm$. Таким образом, для значения спина-четности резонанса с $M = 1438$ можно принять величины $3/2^\pm$, $5/2^\pm$.

Внизу рис.9 приведены такие же распределения для резонанса с массой 1522 МэВ/с² $/1505 \leq M_{рез} \leq 1535/$. Фон усреднялся по соседним полосам масс $/1475 \leq M \leq 1490$ и $1550 \leq M \leq 1580/$. В этом

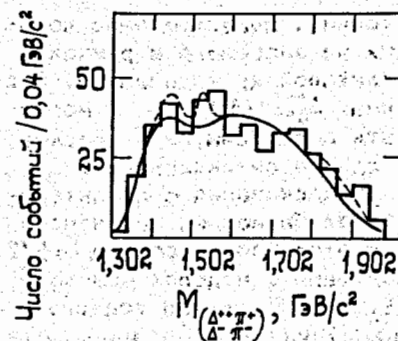
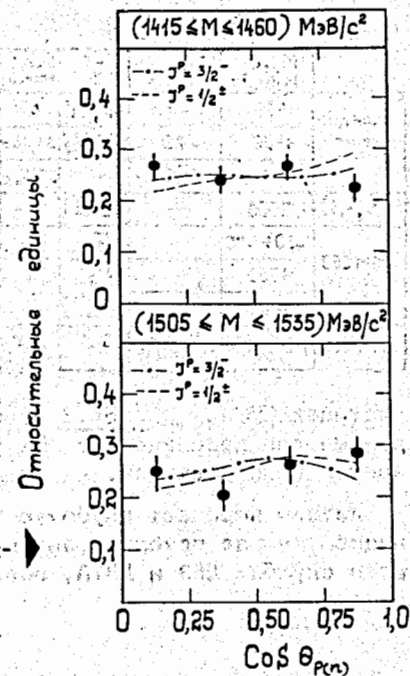


Рис.8. Распределение эффективных масс $\Delta^{++}\pi^+$ ($\Delta^-\pi^-$) из реакции /1/ при условии, что $M_{\Delta^-\pi^-}(\Delta^{++}\pi^+)$ лежит в полосе какого-либо из трех наблюдаемых резонансов.

Рис.9. Угловое распределение нуклонов от распада Δ -изобары по отношению к направлению ее полета в с.ц.м. резонанса. Все величины - в с.ц.м. Δ -изобары.



случае для набора спина-четности резонанса можно оставить значения $1/2^\pm$, $3/2^-$, $5/2^+$ с той же достоверностью, что и для первого резонанса. Ожидаемые теоретические распределения получены в предположении, что учитывается наименьший орбитальный момент, необходимый для формирования данного J^P -резонанса из спинов-четностей Δ -изобары и π -мезона.

Другое распределение - угловое распределение между нормалью к плоскости распада резонансов на 3 частицы и к плоскости рождения резонанса - не противоречит полученным значениям спина-четности, но не дает дополнительной информации из-за большого фона /80% в случае первого и 82% в случае второго резонанса/.

Вообще для более детальных выводов о спинах-четностях резонансов необходимо существенное увеличение статистики.

Отметим, что использование в качестве фона моделированных угловых распределений из подпроцессов $/1a/\div/1g/$ приводит к тем же самым выводам о наборах спинов-четностей для указанных резонансов.

Барионные резонансы с изотопическим спином $5/2$, о которых шла речь выше, представляют собой примеры многокварковых со-

Таблица 2

	$M_{\text{рез}}$ $M_{\text{эВ}}/c^2$	$\Gamma_{\text{рез}}$ $M_{\text{эВ}}/c^2$	J^P	Способ распада
Эксперимент	1438	23	$3/2^-, 5/2^-$	$\Delta\pi$
	1522	≤ 20	$1/2^-, 3/2^-, 5/2^-$	$\Delta\pi, N_{\text{эВ}}$
	1894	≤ 40	—	$\Delta\pi, N_{\text{эВ}}$
В.М. [4,5]	2000	—	$5/2^-$ [5]	—
JSM [6]	1450 ± 470	—	$1/2^-$	—
	1550	—	$3/2^-$	—
	1900	—	$1/2^-, 3/2^-, 5/2^-$	—
SSR [7]	1400 ± 1700	≈ 30 для $M_{\text{рез}} = 1438$	$5/2^+$	$\Delta\pi$

частицах (SSR) ^{17/}. В табл.2 мы приводим наши экспериментальные данные для резонансов с $I = 5/2$ вместе с предсказаниями указанных выше подходов.

Авторы выражают глубокую благодарность В.Л.Любошицу и Р.Ледницкому - за помощь в анализе полученного материала, а также всем службам ЛВЭ и ЛВТА, обеспечившим проведение данного эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаспарян А.П. и др. ОИЯИ, 1-9111, Дубна, 1975.
2. Абдивалиев А. и др. ОИЯИ, 1-10669, Дубна, 1977; Абдивалиев А. и др. ОИЯИ, 1-11137, Дубна, 1977; Abdivaliev A. et al. Nucl.Phys., 1975, В99, p.445.
3. Абдивалиев А. и др. ОИЯИ, P1-11616, Дубна, 1978.
4. De Crombrugge M. et al. Ref. TH2537-CERN, Geneva, 1978.
5. Strottman D. Phys.Rev.D, 1979, 20, No.3, p.748.
6. Ishida Sh. et al. NUP-A-80-14.
7. Григорян А.А., Кайдалов А.Б. ЯФ, 1980, 32, 2, с.540.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 марта 1982 года.