

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



1/xi-76

P1 - 9912

Б-825

4367/2-76

Н.С.Борисов, Л.Н.Глonti, М.Ю.Казаринов,  
Ю.М.Казаринов, Ю.Ф.Киселев, В.С.Киселев,  
В.Н.Матафонов, Г.Г.Мачарашвили, Б.С.Неганов,  
И.Страхота, В.Н.Трофимов, Ю.А.Усов, Б.А.Хачатуров

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ  
ПОЛЯРИЗАЦИЙ  $C_{pp}^{pp}$  В УПРУГОМ РР-РАССЕЯНИИ  
ПРИ ЭНЕРГИИ 610 МЭВ

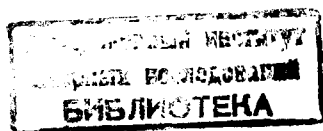
1976

P1 - 9912

Н.С.Борисов, Л.Н.Глonti, М.Ю.Казаринов,  
Ю.М.Казаринов, Ю.Ф.Киселев, В.С.Киселев,  
В.Н.Матафонов, Г.Г.Мачарашвили, Б.С.Неганов,  
И.Страхота, В.Н.Трофимов, Ю.А.Усов, Б.А.Хачатуров

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ  
ПОЛЯРИЗАЦИЙ  $S_{pp}$  В УПРУГОМ  $pp$ -РАССЕЯНИИ  
ПРИ ЭНЕРГИИ 610 МЭВ

*Направлено в ЖЭТФ*



Непосредственной причиной, побудившей авторов провести измерение корреляции поляризаций в упругом pp-рассеянии при энергии 610 МэВ явились следующие обстоятельства:

1. Неоднозначность в определении амплитуды упругого NN-рассеяния при энергии 630 МэВ. Если предположить справедливость одномезонного приближения в упругом NN-рассеянии, начиная с орбитальных моментов  $\ell \geq 7$ , то фазовый анализ при этой энергии дает по крайней мере два равновероятных /в смысле  $\chi^2$ -критерия/ решения /1/. Наиболее простой способ дискриминации этих решений - измерение  $C_{nn}^{pp}$  с относительной ошибкой ~10%.

2. Обнаруженный ранее при энергиях 600-700 МэВ максимум в энергетической зависимости  $C_{nn}^{pp}$  при рассеянии на угол  $90^\circ$  /в с.с.м./, который может указывать на наличие некой аномалии в pp-взаимодействии при этих энергиях.

3. Возможность проверить в реальных условиях эксперимента на ускорителе характеристики новой "замороженной" поляризованной протонной мишени, созданной в Лаборатории ядерных проблем под руководством Б.С.Неганова на основе метода растворения  $^3\text{He}$  в  $^4\text{He}$ .

### *Постановка эксперимента*

Для определения  $C_{nn}^{pp}$  в эксперименте было использовано рассеяние поляризованного пучка протонов на поля-

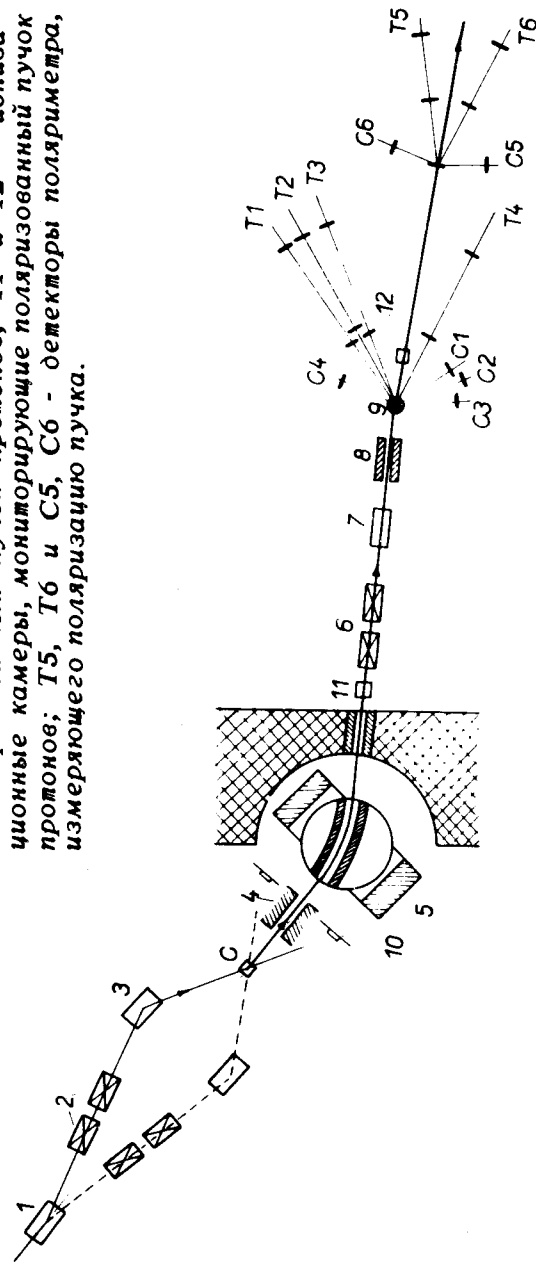
ризованной протонной мишени. Схема эксперимента показана на рис. 1. Неполаризованный пучок протонов, выведенных из синхроциклотрона ОИЯИ  $E = 650 \text{ МэВ}$ , проходит через отклоняющий магнит /1/, фокусируется линзой /2/ и магнитом /3/ направляется на углеродную мишень (С). Пучок протонов, рассеянных углеродной мишенью, имеет при этом поляризацию 34-39%. Этот поляризованный пучок протонов формируется далее коллиматором /4/, фокусируется жесткофокусирующим магнитным каналом, расположенным между полюсами магнита /5/, и с помощью магнита /6/ направляется в коллиматор, расположенный в защитной стене ускорителя /диаметр коллиматора - 3 см, длина - 4 м/. После коллиматора поляризованный пучок фокусируется магнитной линзой /6/, проходит через отклоняющий магнит /7/ и через коллиматор /8/ попадает на поляризованную протонную мишень /9/.

Рассеянные протоны, вылетающие из поляризованной мишени под углами  $18^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $35^\circ$  и  $41^\circ$ /л.с./, регистрируются телескопами из двух сцинтилляционных счетчиков Т1-Т4, включенными на совпадение со счетчиками протонов отдачи С1-С4. Мониторинг первичного пучка протонов осуществляется блоком из трех малых ионизационных камер /10/. Контроль за профилем пучка на поляризаторе проводится с помощью проволочных ионизационных камер с аналоговым съемом информации. Поляризованный пучок мониторируется двумя ионизационными камерами, 11 и 12. Для контроля за профилем поляризованного пучка служит тонкий подвижный /шаг - 0,5 см/ сцинтилляционный счетчик, который устанавливается в заданной точке по оси пучка и перемещается поперек пучка.

В конце тракта поляризованного пучка установлен поляриметр, измеряющий поляризацию пучка. Поляриметр состоит из мишени-анализатора и двух телескопов, Т5 и Т6, включенных на совпадение со счетчиками протонов отдачи С5 и С6. Для определения поляризации пучка измеряется асимметрия в упругом  $pp$ -рассеянии на  $20^\circ$ /л.с./.

Данные с выхода всех детекторов передавались в ЭВМ НР-2116 через крейт КАМАК, содержащий необходимое число счетчиков. Передача данных в ЭВМ

Рис. 1. Схема эксперимента. 1 - магнит, отклоняющий непolarизованный пучок; 2 - магнитная линза; 3 - отклоняющий магнит; С - углеродная мишень-поляризатор; 4 - коллиматор; 5 - отклоняющий магнит с жесткофокусирующим магнитным каналом; 6 - магнитная линза; 7 - отклоняющий магнит; 8 - коллиматор; 9 - поляризованная протонная мишень; Т1-Т4 - телескопы из двух сцинтилляционных счетчиков, регистрирующие рассеянные протоны; С1-С4 - счетчики, регистрирующие протоны отдачи; 10 - ионизационные камеры, мониторирующие непolarизованный пучок протонов; 11 и 12 - ионизационные камеры, мониторирующие поляризованный пучок протонов; Т5, Т6 и С5, С6 - детекторы поляриметра, измеряющего поляризацию пучка.



осуществлялась через каждые 300 с. Использование ЭВМ HP-2116 позволяло, кроме записи данных от детекторов, производить контроль постоянства интенсивности пучка, измеряемой разными мониторами, постоянства в пределах статистических отклонений скоростей счета детекторов, а также запись всей необходимой служебной информации, что существенно облегчало последующую обработку результатов измерений.

Поляризованная протонная мишень /ППМ/ состояла из мелких шариков пропандиола, помещенных в контейнер из нержавеющей стали диаметром 3 см и высотой 3 см; толщина стенок контейнера - 0,1 мм. Содержание водорода в мишени - 1,2 г, углерода - 9,8 г. Диаметр сверхпроводящих катушек - 40 см, зазор между катушками - 3 см. Раствор окна для выхода частиц  $\pm 70^\circ$ . Диаметр входного окна - 7 см. Входное и выходное окна закрыты экраном из медной фольги /20 мкм/ и майларом /200 мкм/. Рефрижератор мишени работал по принципу растворения  $^3\text{He}$  в  $^4\text{He}$ . Основные параметры мишени приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры протонной поляризованной мишени

Объем мишени	- 14 см <sup>3</sup>
Рабочее вещество - пропандиол	- (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> )
Максимальная поляризация	- 0,97±0,04
Рабочая температура:	
а/ при "накачке" поляризации	- 0,3-0,4°K
б/ в "замороженном" режиме	- 0,04°K
Время релаксации поляризации в поле 26 кЭ при температуре 0,04°K	- ≈1000 час
Холодопроизводительность рефрижератора при 0,04°K	- 15 мВт
Скорость циркуляции $^3\text{He}$	- 3.10 <sup>-3</sup> моль/с
Скорость "накачки" поляризации	- 0,90 ч <sup>-1</sup>
Магнитное поле	- H = 26 кЭ
Однородность магнитного поля в объеме мишени	- $\frac{\Delta H}{H} = 10^{-4}$ .

Безводородным эквивалентом ППМ служил активированный древесный уголь (С), помещенный в контейнер, эквивалентный контейнеру ППМ. Безводородный эквивалент загружался в криостат ППМ /взамен пропандиола/ в конце каждого сеанса измерений.

Поляризованный протонный пучок получался рассеянием неполяризованного пучка протонов с энергией 650 МэВ на углероде на угол 6,3°. Размеры пучка на поляризаторе - 5 см /ШПВ/ по горизонтали и 4 см по вертикали. Расходимость поляризованного пучка в горизонтальной плоскости - 1,2° и вертикальной - 1,5°. Максимальное отклонение центра тяжести пучка на поляризаторе за время проведения измерений в одном сеансе не превышало 2 мм.

Интенсивность поляризованного пучка составляла 3.10<sup>5</sup> протонов.см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>. Поляризация - 0,39±0,02. Размеры пучка на ППМ - 2,5 x 2,5 см<sup>2</sup>. Определение оси пучка производилось измерением его профиля в горизонтальной плоскости в двух точках, разнесенных на расстоянии 2 м. Точность определения направления пучка - 2.10<sup>-3</sup> рад. Энергия протонов в пучке - 610±10 МэВ.

Число частиц, зарегистрированных детектором, при рассеянии поляризованного пучка на поляризованной мишени при нормальных к плоскости рассеяния поляризациях пучка и мишени, определяется выражением

$$I d\omega = I_0 [1 + (P_B + P_T)P_{pp} + C_{nn} P_B P_T] d\omega, \quad /1/$$

где  $I_0$  - интенсивность потока рассеянных частиц в единицу телесного угла при рассеянии неполяризованного пучка на неполяризованной мишени,  $P_B$  и  $P_T$  - поляризация пучка и мишени соответственно,  $P_{pp}$  - поляризация в упругом pp-рассеянии,  $d\omega$  - телесный угол детектора.

В рассматриваемом случае возможны четыре комбинации поляризации мишени и поляризации пучка. Соответственно возникают четыре измеряемые в эксперименте величины: отнесенные к монитору интенсивности  $I_{++}$ ,  $I_{+-}$ ,  $I_{-+}$ ,  $I_{--}$ , где первый индекс - знак поляризации мишени, второй - пучка.

Четыре измеряемые величины дают возможность определить из эксперимента следующие асимметрии:

$$\begin{aligned}\epsilon_{+-,+} &= (I_{++} + I_{--} - I_{+-} - I_{-+}) (I_{++} + I_{--} + I_{+-} + I_{-+})^{-1}, \\ \epsilon_{+-,-} &= (I_{+-} - I_{--}) (I_{+-} + I_{--})^{-1}, \\ \epsilon_{+,-,+} &= (I_{++} - I_{-+}) (I_{++} + I_{-+})^{-1}, \\ \epsilon_{+,-,-} &= (I_{++} - I_{+-}) (I_{++} + I_{+-})^{-1}, \\ \epsilon_{-,+-} &= (I_{--} - I_{-+}) (I_{--} + I_{-+})^{-1}.\end{aligned}\quad /2/$$

Интересующий нас коэффициент корреляции поляризации  $C_{nn}$  связан с асимметриями  $\epsilon$  следующим образом:

$$\begin{aligned}C_{nn}^{+-,+} &= \frac{\epsilon_{+-,+} [1 - 0,5(\beta P_B + \tau P_T) P_{pp}^n]}{P_B P_T [(1 - \beta/2)(1 - \tau/2) - \epsilon_{+-,+} \beta \tau/4]}, \\ C_{nn}^{+-,-} &= \frac{P_T (1 - \tau/2) P_{pp}^n + \epsilon_{+-,-} [1 - (P_B + \tau/2 P_T) P_{pp}^n]}{P_B P_T [1 - \tau/2 (1 - \epsilon_{+-,-})]}, \\ C_{nn}^{+,-,+} &= \frac{-P_T (1 - \tau/2) P_{pp}^n + \epsilon_{+,-,+} [1 + (P_B (1 - \beta) + P_T \tau/2) P_{pp}^n]}{P_B P_T [(1 - \beta)(1 - \tau/2) + \epsilon_{+,-,+} \tau/2]}, \\ C_{nn}^{+,+-} &= \frac{-P_B (1 - \beta/2) P_{pp}^n + \epsilon_{+,+-} [1 + (P_T (1 - \tau) + P_B \beta/2) P_{pp}^n]}{P_T P_B [(1 - \beta/2)(1 - \tau) + \beta/2 (1 - \tau) \epsilon_{+,+-}]}, \\ C_{nn}^{-,+} &= \frac{P_B (1 - \beta/2) P_{pp}^n + \epsilon_{-,+-} [1 - (P_T + \beta/2 P_B) P_{pp}^n]}{P_T P_B [1 - \beta/2 (1 + \epsilon_{-,+-})]},\end{aligned}$$

где  $P_T = P_T^-$ ,  $P_B = P_B^-$  - величины поляризаций мишени и пучка при отрицательном относительно нормали  $n$  к плоскости рассеяния направлении этих поляризаций соответственно. Величины  $\beta$  и  $\tau$  определяются выражениями:  $P_B^+ = P_B^- (1 - \beta)$ ,  $P_T^+ = P_T^- (1 - \tau)$ .

Естественно, что найденные из результатов эксперимента пять значений  $C_{nn}^{pp}$  не независимы, но равенство их в пределах статистических ошибок означает отсутствие заметных систематических погрешностей.

Для определения  $I_{++}$ ,  $I_{+-}$ ,  $I_{-+}$ ,  $I_{--}$  в эксперименте измерялось число частиц, зарегистрированных данным детектором от поляризованной мишени, за вычетом фона от сложных ядер, содержащихся в мишени. Фон от сложных ядер измерялся в опыте с безводородным эквивалентом ППМ.

Для определения ложной асимметрии и проверки точности измерения поляризации ППМ в эксперименте дважды проводились измерения асимметрии при рассеянии неполяризованного пучка протонов той же энергии на ППМ. Найденное при этом значение поляризации ППМ в пределах ошибок измерений /3-5% совпадало с величиной поляризации ППМ, измеренной ЯМР-методом. Для поляризации в упругом рассеянии при обработке результатов эксперимента использовались ранее опубликованные данные, усредненные при проведении фазового анализа в интервале 590-635 МэВ в работе /1/.

### Результаты

Измеренные асимметрии разного типа при рассеянии поляризованного пучка на поляризованной мишени представлены в табл. 2.

Полученные значения  $C_{nn}$  даны в табл. 3. В ошибки, указанные в этой таблице, включены ошибки измерения поляризации мишени /4%/ и поляризации пучка /5%/.

В табл. 4 приведены значения поляризации в упругом  $pp$ -рассеянии, полученные в калибровочном эксперименте на неполяризованном пучке. Для сравнения во второй строке табл. 4 приведены данные о поляризации в упругом  $pp$ -рассеянии, усредненные /1/ в интервале 590-635 МэВ по результатам работ, опубликованных ранее /2-10/.

Из табл. 4 видно, что измеренные значения поляризации в упругом  $pp$ -рассеянии при энергии 610 МэВ хорошо совпадают с усредненными по интервалу 590-635 МэВ данными /1/. Последнее указывает на то, что

Таблица 2

№ сеанса	Тип измеренной асимметрии	Угол рассеяния (с.ц.м.), град				Условия эксперимента
		40	67	78	90	
1.	$\epsilon_{+-,-}$		0,070 $\pm 0,008$		-0,120 $\pm 0,010$	$P_B = 0,38$ $P_T = 0,60$ $\tau = 0,06$
2.	$\epsilon_{+-,-}$	-0,545 $\pm 0,008$	0,126 $\pm 0,008$	0,016 $\pm 0,005$	-0,168 $\pm 0,006$	$P_B = 0,34$ $P_T = 0,87$ $\tau = -0,04$
3.	$\epsilon_{+-,+-}$	0,210 $\pm 0,016$	0,177 $\pm 0,006$	0,194 $\pm 0,007$	0,190 $\pm 0,006$	$P_B = 0,39$ $P_T = 0,89$ $\tau = 0,03$ $\beta = 0,10$
4.	$\epsilon_{+-,+-}$	0,166 $\pm 0,015$	0,166 $\pm 0,006$	0,161 $\pm 0,006$	0,179 $\pm 0,006$	$P_B = 0,39$ $P_T = 0,89$ $\tau = 0,03$ $\beta = 0,19$

Таблица 3

№ сеанса $C_{nn}$	Угол рассеяния (с.ц.м.), град			
	40	67	78	90
1.		0,65 $\pm$ 0,06	0	0,54 $\pm$ 0,06
2.	0,59 $\pm$ 0,13	0,58 $\pm$ 0,05	0,63 $\pm$ 0,06	0,56 $\pm$ 0,05
3.	0,66 $\pm$ 0,06	0,53 $\pm$ 0,04	0,59 $\pm$ 0,04	0,59 $\pm$ 0,05
4.	0,55 $\pm$ 0,06	0,57 $\pm$ 0,04	0,52 $\pm$ 0,04	0,58 $\pm$ 0,05
среднее	0,60 $\pm$ 0,05	0,57 $\pm$ 0,04	0,57 $\pm$ 0,04	0,57 $\pm$ 0,04

Таблица 4

$P_{pp}$	Угол рассеяния (с.ц.м.), град			
	40	67	78	90
данная работа	0,481 $\pm$ 0,028	0,326 $\pm$ 0,010	0,227 $\pm$ 0,009	-0,003 $\pm$ 0,006
$\bar{P}_{pp} / 1/$	0,510 $\pm$ 0,005	0,332 $\pm$ 0,005	0,232 $\pm$ 0,004	0

результаты измерений поляризации мишени ЯМР-методом в пределах 3-4% совпадают с величиной поляризации мишени, получаемой в измерениях асимметрии в упругом pp-рассеянии, выполненных на неполяризованном пучке.

На рис. 2 найденные значения  $C_{nn}$  сравниваются с результатами фазового анализа /1/ и данными, полученными при энергии 575 МэВ /3/. Из рис. 2 видно, что зависимость  $C_{nn}(\theta)$ , полученная в данном эксперименте, вполне удовлетворительно подтверждает набор фазовых сдвигов А и

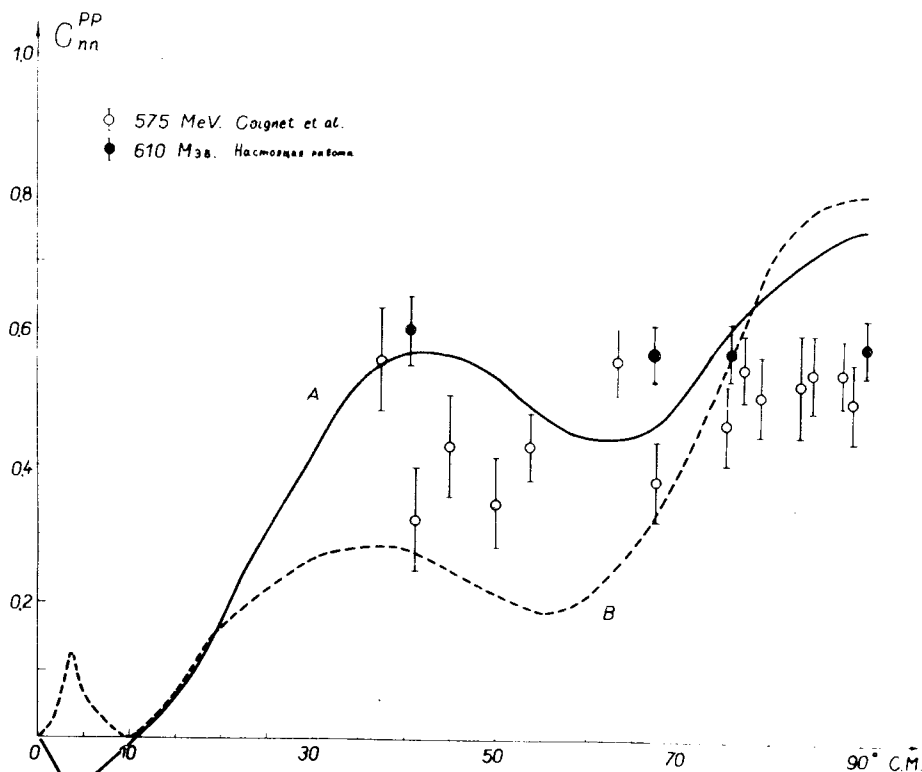


Рис. 2. Зависимость  $C_{nn}(\theta)$ . ● - данная работа,  $T_p = 610$  МэВ; ○ - работа /3/,  $T_p = 575$  МэВ. Сплошная и пунктирная кривые - предсказания для  $C_{nn}(\theta)$  на основе результатов фазового анализа для наборов А и В соответственно /1/.

по-видимому, исключает набор В. Видно также, что в интервале энергий 575 - 610 МэВ коэффициент корреляции поляризаций  $C_{nn}$  от энергии зависит слабо.

Наконец, необходимо отметить, что ПИМ "замороженного" типа, несмотря на сложность конструкции, оказалась весьма удобным и надежным прибором для экспериментов на ускорителе. Большое время релаксации позволяет проводить измерения поляризации мишени не чаще одного раза за 10-20 часов работы, что избавляет экспериментатора от необходимости вести непрерывный контроль за величиной поляризации мишени, заменив его заметно более простым контролем температуры. Рефрижератор мишени позволяет поддерживать рабочую температуру образца  $0,04^\circ\text{K}$  в пучке с интенсивностью  $10^7$  протонов.см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> при наличии заметных механических вибраций.

В заключение авторам приятно поблагодарить проф. В.П.Джелепова за поддержку эксперимента, доктора Л.Ван-Россума и г-на Р.Озоля из ЦЯИ Сакле за плодотворные дискуссии.

#### Литература

1. Л.Н.Глонти, Ю.М.Казаринов, В.С.Киселев, И.Н.Силин. Сообщение ОИЯИ, P1-6339, Дубна, 1972.
2. M.C. Albrow, S. Andersson-Almened, B. Boshnjaković, C. Daum, F.C. Erne, I.P. Lagnaux, J.C. Sens, F.Udo. Nucl. Phys., B23, 445 (1970).
3. G. Coignet, D. Cronenberger, K. Kuroda, A. Michalowicz, J.C. Oliver, M. Poulet, J. Teilac. Nuovo Cimento, 43, 708 (1966).
4. D. Chen, B. Macdonald, J.A. Helland, P.M. Ogden. Phys.Rev., 163, 1470 (1967).
5. G. Cozzika, Y. Duckro, A de Lesquen, J. Movchet, J.C. Raoul, L. Van Rossum. Phys.Rev., 164, 1672 (1967).
6. F. Betz, J. Arens, O. Chamberlain, D. Dost, P. Grannis, M. Mansroul, L. Holloway, C. Schultz, G. Shapiro. Phys.Rev., 148, 1289 (1966).
7. М.Г.Мещеряков, С.Б.Нурушев, Г.Д.Столетов. ЖЭТФ, 33, 37 /1957/.



8. Л.С.Ажгирей, Ю.П.Кумекин, М.Г.Мещеряков, С.Б.Нурушев и др. ЯФ, 2, 892 /1965/.
9. В.П.Джелепов, Б.М.Головин, В.С.Надеждин, В.И.Сатаров. XII Международная конференция по физике высоких энергий. Дубна, 1964. Атомиздат, 1, II /1966/.
10. Р.Я.Зулькарнеев, В.С.Киселев, В.С.Надеждин, В.И.Сатаров. ЯФ, 6, 995 /1967/.

*Рукопись поступила в издательский отдел  
29 июня 1976 года.*