

С 346.18
К-906

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



3606/2-73

P1 - 7231

М.М.Кулокин, В.И. Ляшенко, Д.Б.Понтекорво,
И.В.Фаломкин, Ю.А.Щербазов К.Георгеску, А.Михул,
Ф.Никитиу; А.Сэрару, Г.Пираджино

ПОЛНОЕ СЕЧЕНИЕ РЕАКЦИИ

ДВОЙНОЙ ПЕРЕЗАРЯДКИ $\pi^+ + \text{He}^4 \rightarrow \pi^- + 4p$

ПРИ 100 МЭВ

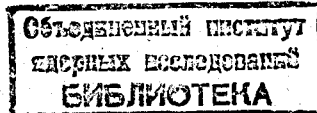
1973

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

М.М.Кулокин, В.И. Ляшенко, Д.Б.Понтекорво,
И.В.Фаломкин, Ю.А.Щербаков К.Георгеску,¹ А.Михул,¹
Ф.Никитиу,¹ А.Сэрару,¹ Г.Пираджино²

ПОЛНОЕ СЕЧЕНИЕ РЕАКЦИИ
ДВОЙНОЙ ПЕРЕЗАРЯДКИ $\pi^+ + \text{He}^4 \rightarrow \pi^- + 4p$
ПРИ 100 МЭВ

Напр. в „*Nuovo Cimento*” и на V Межд. конф.
по физике высоких энергий и структуре ядра,
Уппсала, Швеция, 1973.



¹ Институт атомной физики, Бухарест.

² Институт физики Туринского университета, Турин.

Реакции двойной перезарядки заряженных пионов на ядрах исследованы в основном при взаимодействии пионов со сложными ядрами ^{1,2/}.

Для понимания роли возможных механизмов, которые обычно привлекаются для описания этого процесса, крайне желательно исследование его в таких условиях, когда ядро имеет минимальное число нуклонов, достаточное для того, чтобы этот процесс мог идти. Когда процесс выделен в "элементарном" виде, можно надеяться получить информацию о том, какая из моделей, привлекаемых для описания этого процесса /модель парных корреляций, каскадная модель, изобарная модель/, доминирует и в каком диапазоне энергий.

Двойная перезарядка пионов на ³He и ⁴He как раз удовлетворяет такому условию "элементарности". Однако проведение опытов с такими ядрами сопряжено с определенными трудностями в связи с малой величиной сечения этого процесса. Единственные данные по полному сечению двойной перезарядки на гелии получены при изучении реакции $\pi^+ + {}^4\text{He} \rightarrow \pi^- + 4p$ при 485 Мэв ^{3/}. В трех экспериментах измерялись только дифференциальные спектры вылетающих пионов под фиксированным углом ^{4,5,6/}. Однако работы ^{15/} и ^{16/} дают величины дифференциальных сечений, отличающиеся друг от друга на несколько порядков.

В настоящей работе проанализирована возможность наблюдения процесса двойной перезарядки пионов на ядрах ⁴He с использованием методики гелиевой стримерной камеры высокого давления ^{17/}. Стримерная камера позволяет детектировать все вылетающие заряженные частицы и измерить пространственные углы между ними,

проводить регистрацию малоэнергетических частиц, определять их видимые пробеги, а также оценивать ионизирующую способность вылетающих частиц по плотности почернения следа.

В связи с использованием стримерной камеры без магнитного поля производилось измерение полного сечения только реакции



в которой в конечном состоянии все частицы оказываются заряженными и могут быть зарегистрированы в камере.

Постановка опыта

Эксперименты проводились на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ с помощью стримерного спектрометра с гелиевой камерой, управляемой сцинтилляционным годоскопом^{/8/}. Постановка опыта частично описана в^{/9/}.

Пучок пионов имел энергию 100 ± 8 Мэв*. Счетчики годоскопа, регистрирующие рассеянный мезон, размещаются внутри оболочки камеры, и для того, чтобы запустить их, частицы должны проходить стенку камеры толщиной $\sim 0,4$ г/см², т.е. протоны должны иметь энергию больше 21 Мэв, и пионы - больше 8 Мэв. В предположении, что при двойной перезарядке мезон передает ядру около 0,6 от своей начальной энергии /это было показано экспериментально^{/3,10/} /, протоны в основном малоэнергичны и практически не запускают годоскоп.

Для наполнения камеры использовался гелий с незначительными примесями других газов (N_2 , H_2), не превышающими 0,01%, а для стабилизации разряда в камере вводились примеси CCl_4 /не превышающие 0,01%/ и скипидара /смесь углеводородов/ менее 0,2%.

* Энергия определялась по измерениям импульсов налетающих пионов в отклоняющем магните и по измерениям пробега ядра отдачи при упругом рассеянии пионов.

Кроме реакции /1/ пятилучевые звезды могут быть обусловлены взаимодействием пионов со сложными ядрами примесей. Вклад в фон могут дать также процессы, идущие на ядрах гелия с образованием электронно-позитронных пар.

Для выделения реакций двойной перезарядки и учета фоновых процессов были проведены эксперименты как на ${}^4\text{He}$, так и ${}^3\text{He}$ в пучках положительных и отрицательных пионов при одной и той же энергии. При взаимодействии положительных пионов с ядром ${}^3\text{He}$ двойная перезарядка не имеет места, так что в этом случае пятилучевые звезды появляются в основном за счет фоновых многолучевых процессов на сложных ядрах. Так как концентрация примесей была одинакова в экспозициях как с ${}^4\text{He}$, так и с ${}^3\text{He}$, то этим мы воспользовались для определения фона, возникающего от наличия сложных ядер.

Статистический материал. Отбор событий

Статистический материал, полученный в экспозициях, показан в таблице 1.

В таблице приведено число звезд с числом лучей 4 и более, зарегистрированных в различных экспозициях. Эффективность регистрации звезд после двукратного просмотра была выше 0,99. Для того чтобы исключить из дальнейшего анализа события, полученные при взаимодействии пионов с ядрами стенок камеры, а также эффекты, связанные с меньшей эффективностью регистрации событий около стенок камеры, для каждого события были измерены пространственные координаты точки взаимодействия.

Распределения звезд по числу лучей для экспериментов с π^+ -мезонами приведены на рис. 1. Распределение для экспозиции с ${}^3\text{He}$, представленное пунктирной линией, было отнормировано на мониторный счет прошедших через камеру частиц в экспозиции с ${}^4\text{He}$.

Представленный на рис. 2 результат вычитания распределений звезд по числу лучей, полученных на ядрах

Таблица I

Налетающие частицы	Ядро мишени	Число по-лученных стержней-тографий	Число звезд, выделенное после прос-мотра	Число звезд, оставшихся после выбора зоны
Π^+	He^4	70 200	45	38
Π^+	He^3	55 00	23	21
Π^-	He^4	78 500	13	11
Π^-	He^3	40 000	11	10

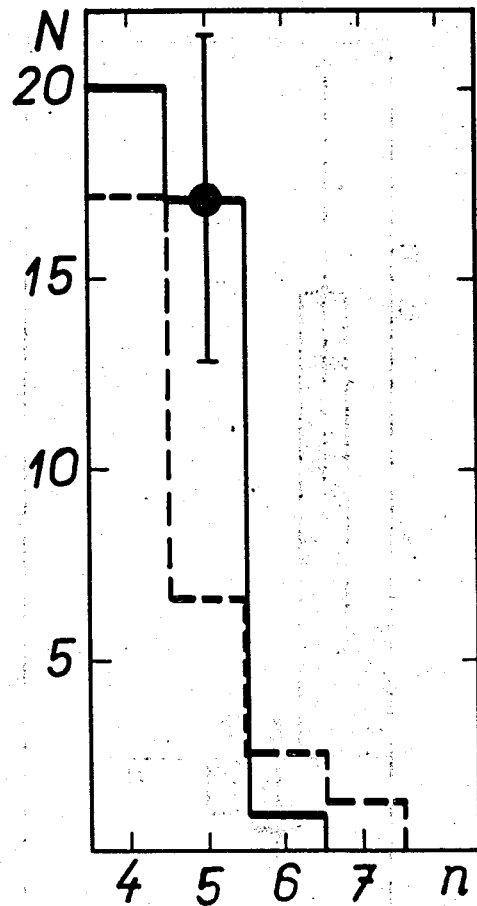


Рис. 1. Распределения звезд по числу лучей. Сплошная линия - экспозиция $\pi^+{}^4He$. Пунктирная линия - экспозиция $\pi^+{}^3He$.

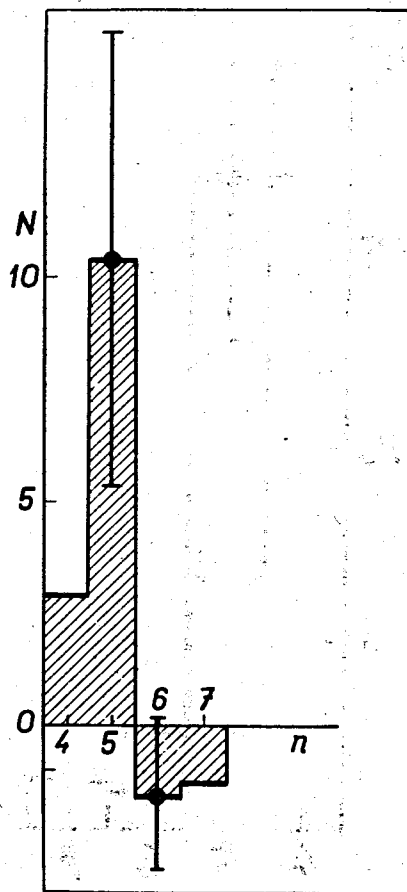
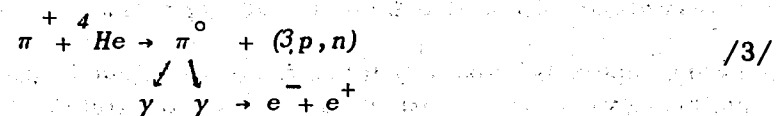
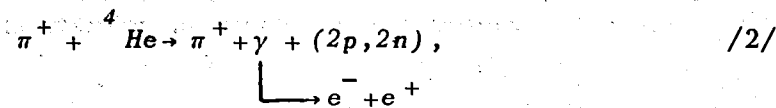


Рис. 2. Разность распределений звезд по числу лучей для экспозиций $\pi^+{}^4\text{He}$ и $\pi^+{}^3\text{He}$.

${}^4\text{He}$ и ${}^3\text{He}$, показывает, что в результирующем распределении имеется пик пятилучевых звезд, величина которого превышает статистическую флуктуацию. Экспозиции, проведенные на ${}^4\text{He}$ и ${}^3\text{He}$ с отрицательными пионами, показали, что в этом случае количество звезд с числом лучей более 4 одинаково, что подтверждает заключение о постоянстве концентрации примесей сложных ядер. Это позволило нам предположить, что этот пик, состоящий из 10 ± 5 звезд, является результатом двойной перезарядки. Как видно из рис. 1, фон из пятилучевых звезд составляет около 40% регистрируемого эффекта.

Фоновые процессы

В полученное разностное распределение могут вносить определенный вклад пятилучевые звезды, возникающие в ${}^4\text{He}$ и ${}^3\text{He}$, не связанные с процессом двойной перезарядки. В случае ядра ${}^4\text{He}$ это могут быть следующие реакции:

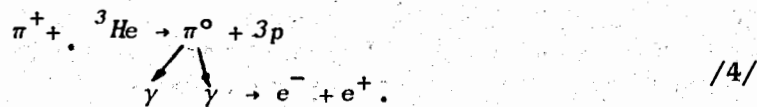


Прямых измерений вероятности реакции /2/ не имеется. Если воспользоваться оценкой сечения процесса $\pi^- p \rightarrow \pi^- \gamma p$, сделанной в /11/ при 154 Мэв / $\sigma < 0,05 \text{ мбн}/$, то для процесса /2/, связанного с испусканием при конверсии пары Далица, получаем сечение на уровне 2 мкбарн. Если учесть, что такой же процесс идет на ядре ${}^3\text{He}$ с той же вероятностью ($Z({}^3\text{He}) = Z({}^4\text{He}) = 2$), то можно видеть, что при построении разностного спектра, приведенного на рис. 2, эффекты компенсируют друг друга.

Сечение процесса /3/ может быть оценено из ра-

бот /12,13/, где показано, что при 154 и 273 Мэв оно составляет ~ 4% полного сечения взаимодействия пионов с ядром гелия. С учетом вероятности образования пары можно ожидать, что вероятность реакции /3/ составит около 0,04% полного сечения при данной энергии, т.е. около 70 мкбарн при 100 Мэв.

На ядре ${}^3\text{He}$ возможен процесс, аналогичный реакции /3/:



Вероятность этого процесса можно оценить из измерения сечения простой перезарядки на ${}^4\text{He}$ /12/, принимая, что этот процесс на ядре ${}^3\text{He}$ будет в два раза менее вероятен, чем на ${}^4\text{He}$, из-за наличия только одного нейтрона. Тогда получаем для реакции /4/ сечение около 100 мкбарн. Таким образом, вклады реакций /3/ и /4/ практически компенсируются в разностном спектре, а их возможное различие может быть заметно только на уровне ~30 мкбарн.

Отбор событий двойной перезарядки, ионизационные и кинематические критерии

С целью проверки правильности фоновых оценок другим, независимым способом и для прямого выделения звезд, относящихся к реакции /1/, мы использовали для пятилучевых звезд ионизационные и кинематические критерии.

Для этого измерялись углы и длины следов всех частиц и, затем, задавая разные значения импульсу вылетающего пиона, мы решали систему из четырех уравнений, составленных на основе законов сохранения энергии и импульса в предположении, что любая пятилучевая звезда является результатом реакции /1/. Если не находилось такого значения импульса вылетающего π^- , при котором все импульсы протонов превышали минимальные допустимые значения, полученные из из-

мерения длин следов, то считалось, что данное событие не относится к реакции двойной перезарядки. Расчеты выполнялись на ЭВМ БЭСМ-6.

Критерий количества стримеров на единице длины следа позволяет в большинстве случаев надежно различать в стримерной камере следы слабоионизирующих частиц от следов сильноионизирующих частиц, т.е. в случае реакции /1/ отличать след пиона от следов протонов. За след пиона принимался след с наименьшей плотностью стримеров.

Такой тест прошли девять событий из 17 анализированных пятилучевых звезд, что находится в хорошем согласии с оценкой фона, полученной в эксперименте $\pi^+ {}^3\text{He}$.

На рис. 3 показана фотография одного из случаев, идентифицируемого как случай двойной перезарядки.

В таблице II даны характеристики зарегистрированных нами девяти событий двойной перезарядки. В таблице приведены Θ и Θ_p -углы вылета пиона и протонов, соответственно, по отношению к направлению налетающего пиона.

Результаты и обсуждение

Для оценки величины сечения мы использовали 9 зарегистрированных пятилучевых звезд, отнесенных нами к реакции двойной перезарядки на гелии-4. При вычислении сечения были использованы данные о полном числе пионов, прошедших через камеру, составе пучка, плотности газа в камере и телесном угле, под которым виден годоскоп из камеры.

Были введены поправки на порог регистрации пиона и диапазон нерегистрируемых годоскопом углов $\Theta < 25^\circ$ и $\Theta > 165^\circ$. При этом предполагалось, что угловое распределение пионов изотропно. Принималось также, что энергетический спектр пионов аналогичен спектру, полученному в /3/. В этих предположениях вклад в сечение от поправок составил $+0,07 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$, а величина полного сечения двойной перезарядки положительных пионов на ${}^4\text{He}$ оказалась равной:

Таблица II

Номер события	θ град.	θ_p град.	Номер события	θ град.	θ_p град.
1	29 ± 2	102 ± 2	6	141 ± 2	32 ± 2
		22 ± 2			41 ± 2
		92 ± 2			66 ± 3
		95 ± 2			145 ± 3
2	63 ± 2	76 ± 2	7	143 ± 2	102 ± 2
		32 ± 2			27 ± 4
		100 ± 5			32 ± 2
		161 ± 2			60 ± 4
3	85 ± 2	69 ± 2	8	148 ± 2	85 ± 5
		52 ± 5			29 ± 3
		60 ± 3			78 ± 4
		87 ± 2			107 ± 2
4	106 ± 2	131 ± 2	9	164 ± 3	95 ± 3
		52 ± 3			10 ± 2
		22 ± 3			89 ± 3
		76 ± 2			95 ± 4
5	113 ± 4	114 ± 2	9	164 ± 3	10 ± 2
		106 ± 2			89 ± 3
		24 ± 2			95 ± 4
		33 ± 2			

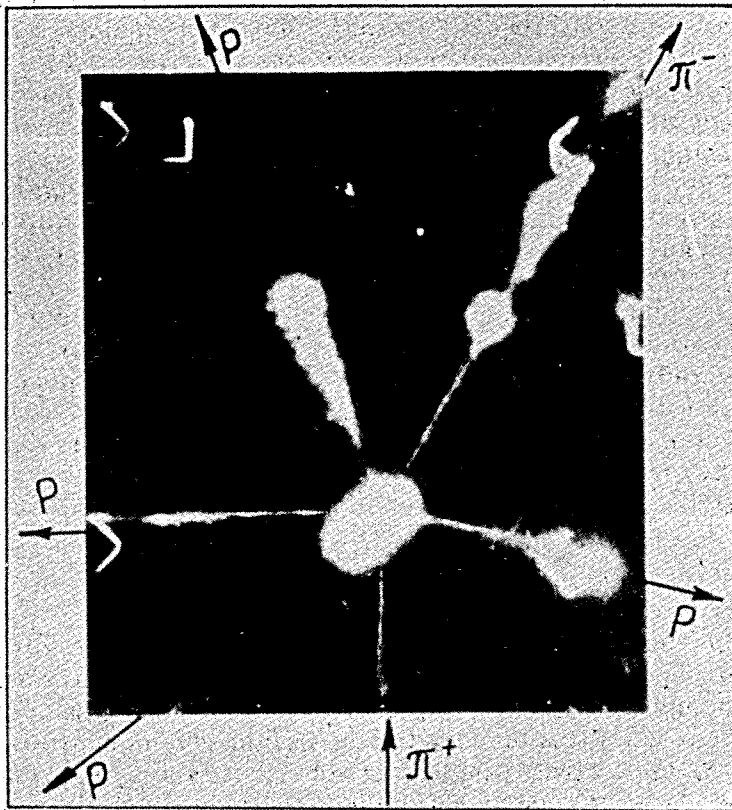


Рис. 3. Фотография одного из случаев, идентифицируемого как случай двойной перезарядки.

$$\sigma_{tot} = /0,30 \pm 0,15/ \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$$

Поправка на запуск годоскопа от протонов не вводилась, т.к. было установлено, что ни в одном из случаев след мезона не проходил мимо счетчиков годоскопа.

Приведенная величина ошибки определяется в основном статистической обеспеченностью и включает также неопределенности, связанные с введением поправок на систематические погрешности. Найденная нами величина сечения приблизительно в два раза меньше теоретического значения при 100 Мэв, которое можно получить из расчетов энергетической зависимости вероятности реакции $\pi^- + {}^4\text{He} \rightarrow \pi^+ + 4n$ на основе модели парных корреляций /14/.

Измеренная величина сечения и теоретическая энергетическая зависимость полного сечения показаны на рис. 4. На том же рисунке показано сечение, измеренное при 485 Мэв в /3/.

На рис. 5 показана расчетная зависимость полного сечения двойной перезарядки $\pi^+ \rightarrow \pi^-$ от A - числа нуклонов в ядре при $E_\pi = 80$ Мэв. На графике нанесены экспериментальные результаты, полученные на ядрах алюминия и свинца /11/, а также сечение, измеренное в данной работе. Расчет был сделан в рамках каскадной модели /15/. Можно видеть, что предсказание этой модели достаточно хорошо согласуется с результатом настоящей работы, хотя применимость каскадной модели в этом случае вряд ли может быть оправдана.

Полученные результаты показывают возможность использования гелиевой стримерной камеры высокого давления для изучения процесса двойной перезарядки на ядрах гелия, и в связи с этим предполагается провести измерения энергетической зависимости полного сечения двойной перезарядки в широком диапазоне энергий.

Авторы благодарны В.П.Джелепову, Л.И.Лапидусу за поддержку при постановке данной работы, а также Ю.А.Батусову и В.М.Сидорову за полезные обсуждения.

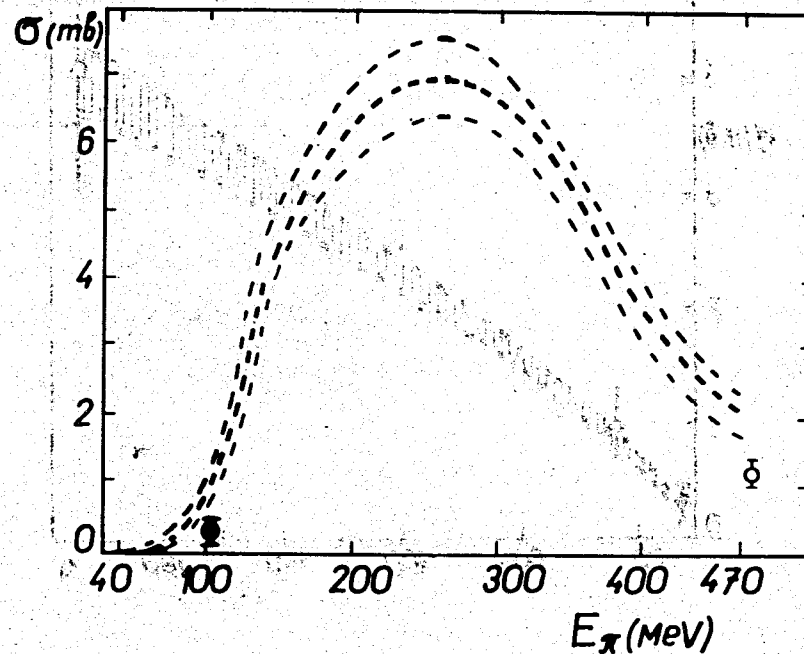


Рис. 4. Предсказание модели парных корреляций с указанием коридора расчетных неопределенностей. Кружочки - экспериментальные значения.

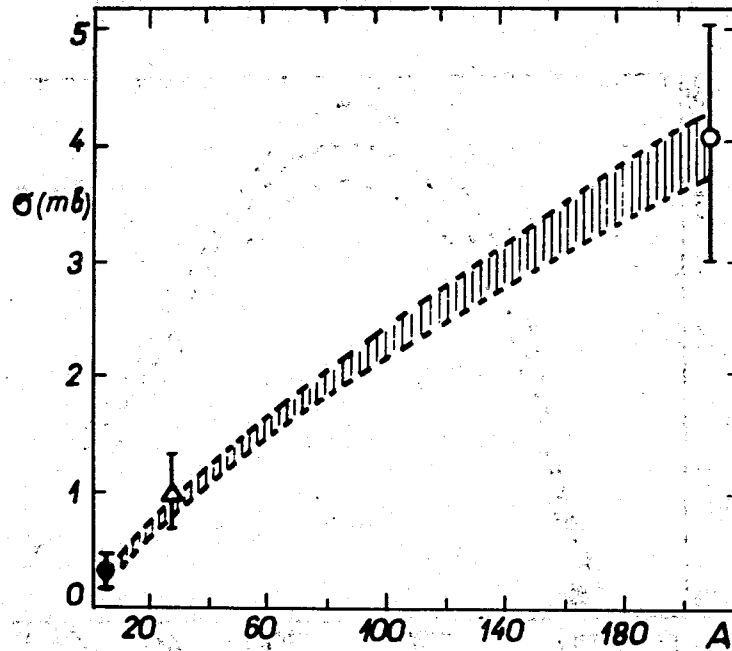


Рис. 5. Предсказание каскадной модели с указанием коридора расчетных неопределенностей и экспериментальные результаты, полученные на ядрах гелия, алюминия и свинца.

1. Ю.А. Батусов, С.А. Бунятов, В.М. Сидоров, В.А. Ярба. ЯФ, 3, 309 /1966/.
2. Ю.А. Батусов, С.А. Бунятов, Н. Далхажав, Г. Ионице, Э. Лозняну, В. Михул, В.М. Сидоров, Д. Тувендорж, В.А. Ярба. ЯФ 9, 378 /1969/.
3. N. Carayannopoulos, J. Head, K. Kwak, J. Manweiler and R. Atump. Phys. Rev. Lett., 20, 1215 (1968).
4. J. Sperinde, D. Fredrickson, R. Hinkins, V. Perez-Mendez and B. Smith. Phys. Lett., 32B, 185 (1970).
5. L. Gilly, M. Jean, R. Meunier, M. Spighel, J.P. Stroot, P. Duteil and A. Rode. Phys. Lett., 19, 335 (1965).
6. L. Kaufman, V. Perez-Mendez and J. Sperindem. Phys. Rev., 175, 1358 (1968).
7. I.V. Falomkin, M.M. Kulyakin, G.B. Pontecorvo and Yu.A. Shcherbakov. Nuovo Cimento., 34, 1394 (1964).
8. I.V. Falomkin, V.P. Korolyov, M.M. Kulyukin, V.I. Lyashenko, G. Pontecorvo and Yu.A. Shcherbakov. Lett. Nuovo Cim., 5, 757 (1972).
8. I.V. Falomkin, M.M. Kulyukin, V.I. Lyashenko, A.G. Petrov, G.B. Pontecorvo, Yu.A. Shcherbakov. Int. Symp. on Nuclear Electr. Versailles, Sept. 1968, v. 1, p. 16-1.
9. I.V. Falomkin, M.M. Kulyukin, V.I. Lyashenko, F. Nichitiu, G. Piragino, G. Pontecorvo, Yu.A. Shcherbakov. Lett. Nuovo Cim., 3, 461 (1972).
10. Ю.А. Батусов, С.А. Бунятов, В.М. Сидоров, В.А. Ярба, Г. Ионице, Э. Лозняну, В. Михул. ЯФ 5, 354 /1967/.
11. П.Ф. Ермолов, В.И. Москалев. ЖЭТФ, 41, 322 /1961/.
12. Ю.А. Будагов, П.Ф. Ермолов, Е.А. Кушниренко, В.И. Москалев. ЖЭТФ, 38, 1191 /1962/.
13. М.С. Козодаев, М.М. Кулюкин, Р.М. Суляев, А.И. Филиппов, Ю.А. Щербаков. ЖЭТФ, 38, 409 /1960/.
14. F. Becker and S. Schmit. Nucl. Phys., B18, 607 (1970); F. Becker and Yu.A. Batusov. Revista del Nuovo Cim., 1, 309 (1971).
15. Ю.А. Батусов, В.И. Кочкин, В.М. Мальцев. ЯФ, 6, 158 /1967/.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 июня 1973 года.