

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



С 341.2 г  
Б-287

14/5-74

P1 - 7475

Ю.А.Батусов, Ж.Ганзориг, Л.Гумнерова,  
И.В.Дудова, В.М.Сидоров, В.А.Халкин, Д.Чултэм

115/2-74

ПОИСК ТЕТРАНЕЙТРОНОВ В РЕАКЦИЯХ  
ДВОЙНОЙ ПЕРЕЗАРЯДКИ  $\pi^-$ -МЕЗОНОВ  
НА ТЯЖЕЛЫХ ЯДРАХ

**1973**

**ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

P1 - 7475

Ю.А.Батусов, Ж.Ганзориг, Л.Гумнерова,  
И.В.Дудова, В.М.Сидоров, В.А.Халкин, Д.Чултэм

ПОИСК ТЕТРАНЕЙТРОНОВ В РЕАКЦИЯХ  
ДВОЙНОЙ ПЕРЕЗАРЯДКИ  $\pi^-$ -МЕЗОНОВ  
НА ТЯЖЕЛЫХ ЯДРАХ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Батусов Ю.А., Ганзориг Ж., Гумнерова Л.,  
Дудова И.В., Сидоров В.М., Халкин В.А.,  
Чултэм Д.

P1 - 7475

Поиск тетранейтронов в реакциях двойной перезарядки  
 $\pi^-$ -мезонов на тяжелых ядрах

С помощью реакций двойной перезарядки  $\pi^-$ -мезонов на ( $\alpha$ ) - кластерах ядер свинца и реакции  $^{208}\text{Pb}(\pi^-, \gamma)^{212}\text{Pb}$  проводился поиск нуклостабильных тетранейтронов. Идентификация  $^{212}\text{Pb}$  и его дочерних продуктов производилась путем регистрации  $\alpha$ -частиц и измерения их энергии. Получено, что верхняя граница произведения сечений двух гипотетических реакций  $\sigma_1(\pi^- + ^{208}\text{Pb} \rightarrow \pi^+ + ^4\text{n} + \dots)$   $\sigma_2(^4\text{n} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{212}\text{Pb} + \gamma)$  не превышает  $10^{-54}$  см<sup>4</sup>.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований  
Дубна, 1973

Batusov Yu.A., Ganzorig Zh., Gummerova L., P1 - 7475  
Dudova I.V., Sidorov V.M., Khalkin V.A.,  
Chultem D.

Search for Tetraneutrons in Reactions  
of  $\pi^-$ -Meson Double Charge Exchange on  
Heavy Nuclei

Using the reactions of the double charge exchange of  $\pi^-$ -mesons on ( $\alpha$ ) clusters of Pb nuclei and the  $^{208}\text{Pb}(\pi^-, \gamma)^{212}\text{Pb}$  reaction a search was made for the nucleon stable tetraneutrons. The identification of  $^{212}\text{Pb}$  and its daughter products was performed by detecting  $\alpha$  particles and measuring their energies. It is found that the upper limit of the cross section product for two hypothetical reactions does not exceed  $10^{-54}$  cm<sup>4</sup>.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1973

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема существования нейтронных ядер общеизвестна. В частности, большой теоретический интерес представляет вопрос, существует ли тетранейтрон ( $^4\text{n}$ )-ядро, состоящее из четырех нейтронов и стабильное по отношению к испусканию нуклонов.

За последние 10 лет были выполнены многочисленные эксперименты, посвященные этой проблеме. Результаты опытов представлены в таблице 1, из которой видно, что в качестве возможных источников  $^4\text{n}$  исследовались реакции развала тяжелых <sup>1-3/</sup>, средних <sup>4/</sup> и легких <sup>5-7/</sup> ядер, а также двойная перезарядка  $\pi^-$ -мезонов на  $^4\text{He}$  <sup>8-10/</sup>. Экспериментаторами применялись два основных метода для наблюдения тетранейтрона: активационный <sup>1-3/</sup> и кинематический анализы <sup>4-10/</sup> ядерных реакций. Как видно из третьего столбца таблицы, во всех экспериментах получены лишь верхние границы сечения или вероятности образования тетранейтрона в исследуемых реакциях. Эти данные трудно сравнивать между собой, качественно, однако можно отметить, что все они определенно указывают на малую вероятность существования тетранейтрона. Тем не менее, имеющиеся экспериментальные данные совершенно недостаточны для того, чтобы сделать однозначное утверждение о существовании  $^4\text{n}$ . При такой ситуации любой новый подход к экспериментальному разрешению проблемы представляет интерес.

В данной работе излагается результат еще одного эксперимента по поиску стабильного тетранейтрона.

## ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Основная идея этого эксперимента такая же, как и в работах /8-10/, и заключается в использовании реакций двойной перезарядки  $\pi^-$ -мезонов на альфа-частицах для поиска ядра  ${}^4\text{n}$ . Однако, в отличие от предыдущих экспериментов, в качестве мишени в нашем опыте берутся не ядра гелия, а тяжелые ядра, поверхность которых, как показано в работах /11,12/, обогащена альфа-частичными кластерами.

По сравнению с гелиевой, такая мишень дает возможность применения метода активационного анализа для идентификации тетранейтронов. Число "альфа-частиц" в гелиевой и, например, свинцовой мишенях одного и того же веса фактически можно считать одинаковым, т.к. эффективное число альфа-кластеров на одно тяжелое ядро равно примерно 30 /13/.

Реакция двойной перезарядки  $\pi^-$ -мезона на ( $\alpha$ )-кластере с образованием  ${}^4\text{n}$  является обратной по отношению к реакции двойной перезарядки  $\pi^+$ -мезона на ( ${}^4\text{n}$ )-кластере с образованием быстрой  $\alpha$ -частицы, которая обсуждалась нами в работе /14/. Сечение процесса  $\pi^+ + ({}^4\text{n}) \rightarrow \pi^- + \alpha$  может составлять  $\sim 6 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$ , что соответствует по порядку величины полному сечению двойной перезарядки  $\pi^+$ -мезона на тяжелых ядрах /15/. Из-за присутствия тяжелого ядра-отдачи в этих реакциях применение принципа детального равновесия является не совсем строгим. Тем не менее, если существует "стабильный" тетранейтрон, можно ожидать заметную вероятность для реакции  $\pi^- + (\alpha) \rightarrow \pi^+ + ({}^4\text{n})$ .

### ЭКСПЕРИМЕНТ

#### Выбор мишени

Среди тяжелых ядер в качестве мишени необходимо было выбрать такое, чтобы в результате вторичного взаимодействия тетранейтрона с этим ядром образовалось ядро-остаток, которое могло быть идентифицировано с

ТАБЛИЦА 1. ИМЕЮЩИЕСЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ТЕТРАНЕЙТРОНУ

РЕАКЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ	МЕТОД НАБЛЮДЕНИЯ	ВЕРоятность и сечение образования	РАБОТА
${}^{235}\text{U}(n,f)$	${}^{14}\text{N}({}^4\text{n},n)$ , ${}^{17}\text{N}$	$\approx 2 \times 10^{-9}$ /ДЕЛЕНИЕ	SHIFFER AND VANDENBOSCH [1]
	${}^{27}\text{Al}({}^4\text{n},n)$ , ${}^{26}\text{Mg}$	$\approx 5 \times 10^{-9}$ /ДЕЛЕНИЕ	
от ${}^i\text{U}(d,f)$	${}^{14}\text{N}({}^4\text{n},n)$ , ${}^{17}\text{N}$	$\approx 15 \times 10^{-9}$ /ДЕЛЕНИЕ	TICERJACKS ET AL. [2]
	${}^{16}\text{O}({}^4\text{n},t)$ , ${}^{17}\text{N}$	$\approx 1 \times 10^{-4}$ /ДЕЛЕНИЕ	
	${}^{26}\text{Mg}({}^4\text{n},2n)$ , ${}^{26}\text{Mg}$	$\approx 1 \times 10^{-5}$ /ДЕЛЕНИЕ	
	${}^{103}\text{Rh}({}^4\text{n},2n)$ , ${}^{105}\text{Rh}$	$\approx 1 \times 10^{-4}$ /ДЕЛЕНИЕ	
	${}^{209}\text{Bi}({}^4\text{n},n)$ , ${}^{212}\text{Bi}$	$\approx 4 \times 10^{-7}$ /ДЕЛЕНИЕ	
	${}^{209}\text{Bi}({}^4\text{n},2n)$ , ${}^{211}\text{Bi}$	$\approx 3 \times 10^{-9}$ /ДЕЛЕНИЕ	
	${}^{27}\text{Al}({}^4\text{n},t)$ , ${}^{26}\text{Mg}$	$5, \sigma_{\text{p}} \approx 8 \times 10^{-22}$ /СЕК.	
	${}^{45}\text{Sc}({}^4\text{n},2n\alpha)$ , ${}^{43}\text{K}$	$5, \sigma_{\text{p}} \approx 2 \times 10^{-19}$ /СЕК.	
	${}^{45}\text{Sc}({}^4\text{n},d)$ , ${}^{47}\text{Ca}$	$5, \sigma_{\text{p}} \approx 3 \times 10^{-19}$ /СЕК.	
	${}^{48}\text{Ca} + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^4\text{n} + \dots$	СТЕКТОМЕТРИЯ ПО ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА И ПО АМПЛИТУДЕ СИГНАЛА	
${}^{48}\text{Ca} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{n} + \dots$	КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	$\approx 6 \times 10^{-30} \text{ см}^2/\text{СТЕРАД.}$	
${}^7\text{Li} + \text{J}^- \rightarrow {}^4\text{n} + {}^3\text{He}$	КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	$\approx 5 \times 10^{-4}$ /ВСЕ КАНАЛЫ	COHEN ET AL. [5]
		$\approx 2,6 \times 10^{-6}$ /ВСЕ КАНАЛЫ	БАТУСОВ И ДР. [6]
		$\approx 1 \times 10^{-5}$ /ВСЕ КАНАЛЫ	АГАБОВ И ДР. [7]
${}^{12}\text{C} + \text{J}^- \rightarrow {}^4\text{n} + {}^8\text{B}$	КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	$\approx 4 \times 10^{-31} \text{ см}^2/\text{СТЕРАД.}$	DAVIS ET AL. [8]
		$\approx 2 \times 10^{-31} \text{ см}^2/\text{СТЕРАД.}$	GILLY ET AL. [9]
		$\approx 7 \times 10^{-34} \text{ см}^2/\text{СТЕРАД.}$	KAUFMAN ET AL. [10]

высокой чувствительностью. Этому требованию удовлетворяют мишени из естественного свинца и висмута.

Действительно, реакции  $^{208}\text{Pb}(^4_0\text{n}, \gamma)$  и  $^{209}\text{Bi}(^4_0\text{n}, \text{P})$  приводят к образованию ядра  $^{212}\text{Pb}$ , которое хорошо идентифицируется по альфа-излучению его дочерних продуктов  $^{212}\text{Bi}$  и  $^{212}\text{Po}$  /рис. 1/.

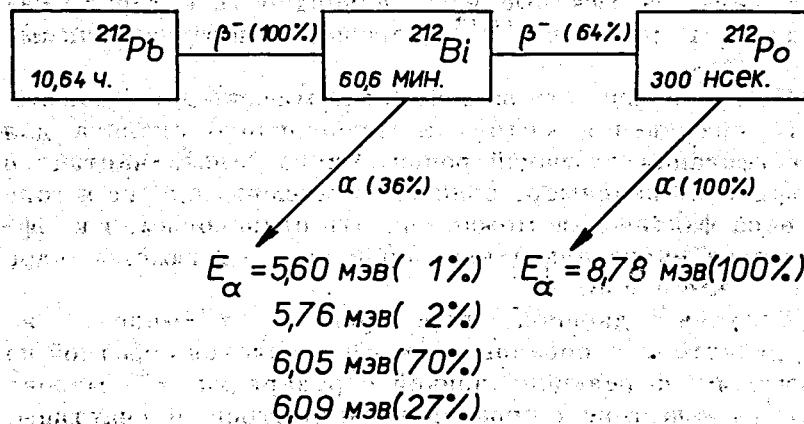


Рис. 1. Основные  $\alpha$ -переходы дочерних продуктов  $^{212}\text{Pb}$ .

В настоящей работе сделана попытка зарегистрировать тетранейтроны, используя реакцию  $^{208}\text{Pb}(^4_0\text{n}, \gamma)^{212}\text{Pb}$ . Вероятность фоновых реакций типа  $(^8\text{He}, \alpha)$ ,  $(^7\text{Li}, 3\text{p})$  и т.д., в которых может быть реализована передача четырех нейтронов, по-видимому, мала, поскольку для осуществления таких реакций необходимо, по крайней мере, трехкратное прохождение заряженных частиц через потенциальный барьер тяжелого ядра.

### Облучение

Мишень из  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  весом 300 мг и толщиной  $5 \text{ г/см}^2$  облучалась в пучке отрицательных  $\pi^-$ -мезонов с энергией 90 МэВ на синхротроне ОИЯИ. Интенсивность пучка равнялась  $\sim 10^6 \pi^-/\text{сек}$ , а длительность

облучения - 8 час. Через 30 мин. после конца экспозиции началось химическое выделение висмута из облученной мишени /см. рис. 1/.

### Химическая процедура

Мишень из нитрата свинца растворялась в воде и для контроля за поведением ультрамикродоз висмута к раствору добавлялся радиоактивный изотоп  $^{207}\text{Bi}$ , не испытывающий  $\alpha$ -распада. Висмут отделялся от материала сорбцией на заранее сформированном осадке гидроксида железа. После фильтрации и промывки осадок растворялся в соляной кислоте, и для более полного отделения от свинца гидроокись железа еще раз осаждалась аммиаком. Осадок отделялся от раствора и после тщательной промывки растворялся в небольшом объеме разбавленной соляной кислоты. Железо и висмут разделялись на сульфакатионитной колонке. Содержавшие висмут солянокислые эфлюенты переносились в электролизатор, висмут осаждался на катоде из платиновой фольги. Продолжительность всей процедуры была около 45 минут, выход составил более 95%.

### Фоновые опыты

Для регистрации  $\alpha$ -активности из облученной мишени был использован альфа-спектрометр с поверхностно-барьерным детектором. Спектрометр не имел фона в диапазоне выше 2 МэВ при измерениях без мишени.

Фоновые  $\alpha$ -линии 5,3 и 7,7 МэВ /рис. 2а/ наблюдались при измерениях с мишенью, приготовленной путем выделения висмута из нитрата свинца, не облученного  $\pi^-$ -мезонами.

Сравнительно высокий пик 5,3 МэВ соответствует изотопу  $^{210}\text{Po}$ , содержащемуся в свинце. Химическая очистка от полония специально не производилась, поскольку  $^{210}\text{Po}$  использовался для внутренней энергетической

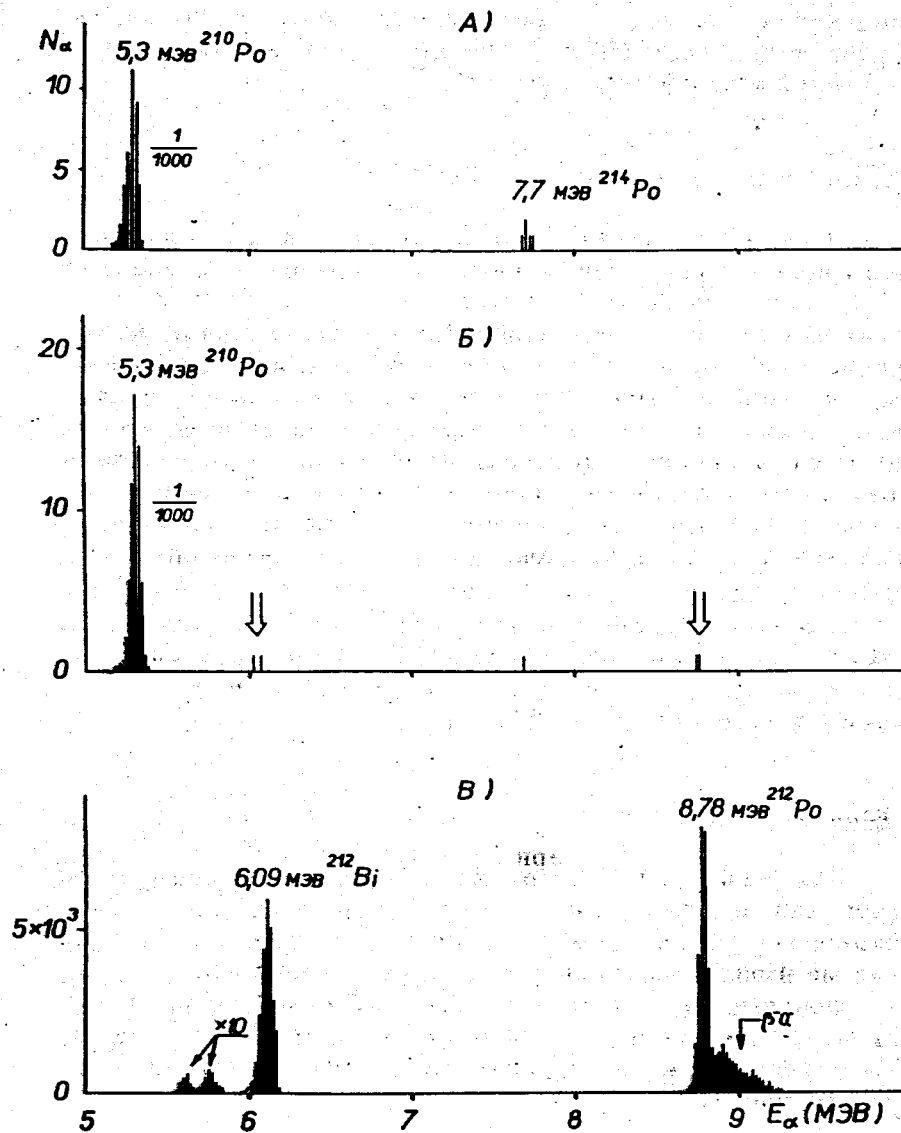


Рис. 2. Результаты измерения спектров  $\alpha$ -частиц для препаратов висмута, выделенных а) Из нитрата свинца, не облученного  $\pi^-$ -мезонами; б) После облучения мишеней  $\pi^-$ -мезонами; в) Калибровочные  $\alpha$ -спектры от источника активного осадка радиотория ( $^{212}\text{Pb}$ ).

калибровки и непрерывного контроля стабильности работы альфа-спектрометра.

Очень слабая линия 7,7 МэВ относится к  $^{214}\text{Po}$ , являющемуся дочерним продуктом  $^{214}\text{Bi}$  /19,7 мин/ в естественном радиоактивном ряду урана.

Фон от естественных радиоактивных элементов ториевого ряда, содержащихся в свинце, как и ожидалось, исчезающе мал. Однако фон  $\text{ThV}$  ( $^{212}\text{Pb}$ ) от эманации торона из земной поверхности или солей тория, находящихся в здании химической лаборатории, представлял наибольшую "опасность" для нашего эксперимента, поскольку его спектр в точности совпадает с искомыми  $\alpha$ -линиями. Этот фон удалось уменьшить до минимума /до нуля на рис. 2а/ путем устранения возможности конвекции воздуха в рабочем помещении до и во время химической процедуры. Кроме того, мишень перед использованием хранилась в закрытом контейнере.

#### Калибровка альфа-спектрометра

Калибровка спектрометра производилась с помощью источника активного осадка радиотория ( $^{212}\text{Pb}$ ), изготовленного методом электростатического осаждения в атмосфере эманации тория /рис. 2в/. Эта калибровка во избежание возможного загрязнения спектрометра была произведена в конце эксперимента и сравнивалась с внутренней калибровкой по  $^{210}\text{Po}$ . Такая прямая калибровка непосредственно определяет каналы спектрометра, в которых должны появиться отсчеты от искомого эффекта, и демонстрирует формы  $\alpha$ -линий. Например, высокоэнергетический хвост линии 8,78 МэВ может быть объяснен  $\beta^-$ - $\alpha$ -совпадениями от распада  $^{212}\text{Bi}$  и  $^{212}\text{Po}$  и зависит от геометрии опыта.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Результаты измерения спектра  $\alpha$ -частиц для препаратов висмута, выделенных из 2 свинцовых мишеней после облучения  $\pi^-$ -мезонами, показаны на рис. 2б. Видно,



что ожидаемому эффекту соответствует четыре импульса /эти случаи на рис. 26 показаны стрелками/.

Поскольку фон от естественной радиоактивности тория очень чувствителен к условиям эксперимента /в частности, к конвекции воздуха в помещениях/, при имеющейся статистике мы не можем сделать каких-либо определенных заключений об идентификации тетранейтрона, а можем оценить лишь верхнюю границу сечения образования  $^4_0\text{n}$ .

После учета всех экспериментальных факторов, таких, как величина потока  $\pi$ -мезонов, время облучения и охлаждения мишени, продолжительность и геометрия измерения, эффективность детектора и химического выхода, мы получаем, что если обозначить  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  сечения гипотетических реакций  $^{208}\text{Pb}(\pi^-, \pi^+ + ^4_0\text{n} + \dots)$  и  $^{208}\text{Pb}(^4_0\text{n}, \gamma)^{212}\text{Pb}$ , соответственно, а  $\tau$  - время жизни тетранейтрона без учета его диссоциации в результате взаимодействия со средой, то для  $\tau$  в интервале  $10^{-18}; 10^{-9}$  сек,  $\sigma_1 \sigma_2 \tau \leq \leq 10^{-63} \text{ см}^4 \text{ сек}$ ; и для  $\tau \geq 10^{-9}$ ,  $\sigma_1 \sigma_2 \leq 10^{-54} \text{ см}^4$  /граница  $\tau > 10^{-18}$  сек определяется временем пролета релятивистской частицы межатомного расстояния,  $\tau \approx \approx 10^{-9}$  сек - время ее пролета за пределы мишени/.

### Литература

1. J.P. Shiffer and R. Vandenbosch. *Phys. Lett.*, 5, 1963, p.292.
2. S.Cierjacks, C.Markus, W.Michaelis and W.Pönitz. *Phys. Rev.*, 137 (1965) B345.
3. В.Р.Бурмистров, Б.Г.Киселев, В.А.Шилин, В.Л.Кочетков. *ЯФ*, 4, 1966, стр. 332.
4. O.D.Brill, N.I.Venikov, A.A.Kurashov, A.A.Ogloblin, V.M.Pankratov and V.P.Rudakov. *Phys. Lett.*, 12, 1964, p. 51.
5. R.C.Cohen, A.D.Kanaris, S.Margulies and J.L.Rosen. *Phys. Lett.*, 16, 1965, p.292.
6. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. *Препринт ОИЯИ, Р1-3306*, Дубна, 1967.
7. Н.М.Агабабян, Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, Г.Р.Гулканян, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. *ЯФ*, 15, 1972, стр.18.
8. R.E.P.Davis, A.Beretvas, N.E.Booth, C.Dolnick, R.J.Esterling, R.E.Hill, M.Raymond and D.Sherdan. *Bull. Am. Phys. Soc.*, 9, 1964, p.627.
9. L.Gilly, M.Jean, R.Meunier, M.Spighel, J.P.Stroot, P.Duteil and A.Rode. *Phys. Lett.*, 19, 1965, p.335.

10. L.Kaufman, V.Perez-Mendez and J.Sperinde. *Phys. Rev.*, 175, 1968, p. 1358.
11. P.E.Hodgson. *Nucl. Phys.*, 8, 1958, pp. 1-12; G.Igo, L.F.Hansen and T.J.Gooding. *Phys. Rev.*, 131, 1963, pp.337-351.
12. O.V.Dahl et al. 1960. *Proc. Int. Conf. on High Energy Physics, Rochester (USA)* pp. 415-419; *Helium Bubble Chamber Collaboration Group, 1960, Proc. Int. Conf. on High Energy Physics, Rochester (USA)* pp. 426-431; *European Collaboration, Nuovo Chimento*, 14, 1959, pp. 315-364; *Nuovo Chimento*, 19, 1961, pp. 1077-89; E.Evans et al. *Proc. R. Soc. A*262, 1961, pp. 73-83.
13. G.A.Jones. *Rep. Prog. Phys.*, 1970, 33, 685.
14. Ю.А.Батусов, Ж.Ганзориг, И.В.Дудова, Б.П.Осипенко, В.М.Сидоров, В.А.Халкин, Д.Чултэм. *Препринт ОИЯИ, Р1-6961*, Дубна, 1973.
15. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. *ЯФ*, 3, 309, 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 октября 1973 года.