

7

К-72

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

P-238

Н. И. Костанашвили и О. А. Шахулашвили

Генерация „странных“ частиц при взаимодействии
протонов с энергией 9 Бэв с ядрами фотоэмульсии
ЖСЭТФ, 1959, т 36, в 4, с 1006-1011.

Дубна, 1958 г.

Н. И. Костанашвили */ и О. А. Шаулашвили **/

Генерация „странных“ частиц при взаимодействии протонов с энергией 9 Бэв с ядрами фотоэмульсии

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

*/ Прикомандирована к Объединенному институту ядерных исследований из Тбилисского Государственного Университета им. Сталина.

**/ Прикомандирован к Объединенному институту ядерных исследований из Института физики АН Грузинской ССР.

А Н Н О Т А Ц И Я

Рассмотрен вопрос о частоте генерации "странных" частиц, при столкновении протонов большой энергии с ядрами фотоэмульсии.

В Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований было предпринято изучение зависимости частоты генерации "странных" частиц от энергии первичных частиц,

Эмульсионная камера, составленная из 100 слоев эмульсии типа БР-450, была облучена на синхрофазотроне Объединенного института ядерных исследований протонами с энергией 9 Бэв. Объем эмульсионной камеры был равен $10 \times 10 \times 4,5 / \text{см}^3$. Эмульсионные слои просматривались по площади, причем фиксировались ядерные расщепления, вызванные первичными протонами. Для обнаружения гиперонов и К-мезонов исследовались следы однозарядных частиц, образованных в найденных таким образом ядерных расщеплениях. Указанные следы прослеживались до места их остановки, распада, ядерного взаимодействия, либо до выхода из камеры. Выделение "странных" частиц производилось благодаря собственным им явлениям распада и ядерного захвата.

Сравнительно малые размеры камеры, не позволяли исследовать частицы, обладающие большим пробегом и вылетающие под большим углом наклона относительно плоскости эмульсии. Для изучения частиц возможно большой скорости, исходные ядерные расщепления отбирались вблизи края эмульсионной камеры, обращенного в сторону первичного пучка. Прослеживались вторичные частицы, удовлетворяющие следующим трем условиям:

а/ частица вылетает в направлении передней полусферы /это не приводит к существенной потере "странных" частиц, которые как будет видно из дальнейшего, вылетают в основном вперед/,

б/ длина горизонтальной проекции следа в одном ^{слое} ≥ 3 мм, что соответствует \tan^2 углу наклона $\leq 7,5^\circ$ /это условие исключает также большое количество медленных протонов и дейтронов, образующихся при испарении возбужденных ядер/,

в/ ионизация превосходит ионизацию первичного протона не меньше чем в 1,6 раз /при этом скорость частицы $\beta \leq 0,84$ /.

При выполнении указанных условий вероятность регистрации распада гиперона внутри камеры составляет $\geq 85\%$.

В 30-ти слоях эмульсии находящихся в средней части камеры, было таким образом обработано 1920 звезд и прослежено 670 следов вторичных частиц. При этом была найдена шесть "странных" частиц: три гиперона и три K^+ -мезона. Кроме того, в одном случае наблюдался резкий излом $\sim 160^\circ$ следа сильно ионизирующей частицы, который мог соответствовать рассеянию протона на большой угол или распаду гиперона на протон. Отсутствие изменения ионизации до и после излома, а также недостаточная длина следа $\sim 2200 \mu$, не позволила произвести идентификацию частицы. Результаты прослеживания приведены в таблице № 1.

таблица № 1

Общее число прослеженных лучей	Лучи без видимых явлений при остановке	"Странные" частицы	π^\pm мезоны	Число вторичных взаимодействий	Число лучей вышедших из камеры
670	494	6	19	53	94

1/ Все лучи вторичных взаимодействий были прослежены до остановки или выхода из камеры; "странные" частицы при этом не были обнаружены.

Как видно из таблицы одна "странная" частица приходится примерно на 100 вторичных частиц. Такая же величина получена в работе [1], выполненной с π^- -мезонами, обладающими энергиями $\sim 4,5$ Бэв. В работах [2,3], выполненных в космических лучах, одна "странная" частица образуется примерно на 250-300 обычных частиц. Однако строгое сопоставление приводимых результатов невозможно из-за некоторого отличия в условиях просмотра и отбора частиц.

Обращает на себя внимание большая величина отношения числа "странных" частиц к числу π^\pm мезонов $N_{\Sigma, K} / N_{\pi^\pm} = 1/3$. В работе [3], аналогичное отношение составляет $\approx 1/10$. Следует подчеркнуть, что приведенные цифры относятся только медленным вторичным частицам, вылетающим вперед.

Для оценки сечения генерации медленных "странных" частиц на ядрах фотоэмульсии, необходимо знать сечение звездообразования и частоту появления "странных" частиц, рассчитанную на одну звезду. На рис. 1 приводятся распределения звезд по числу черных и серых лучей, для звезд найденных по следу /сплошная линия/ и по площади /пунктирная линия/. Сопоставление обеих гистограмм позволяет ввести небольшую поправку на число лучей, связанных с незарегистрированными малолучевыми расщеплениями. Для определения частоты появления "странных" частиц необходимо еще знать пространственное рас-

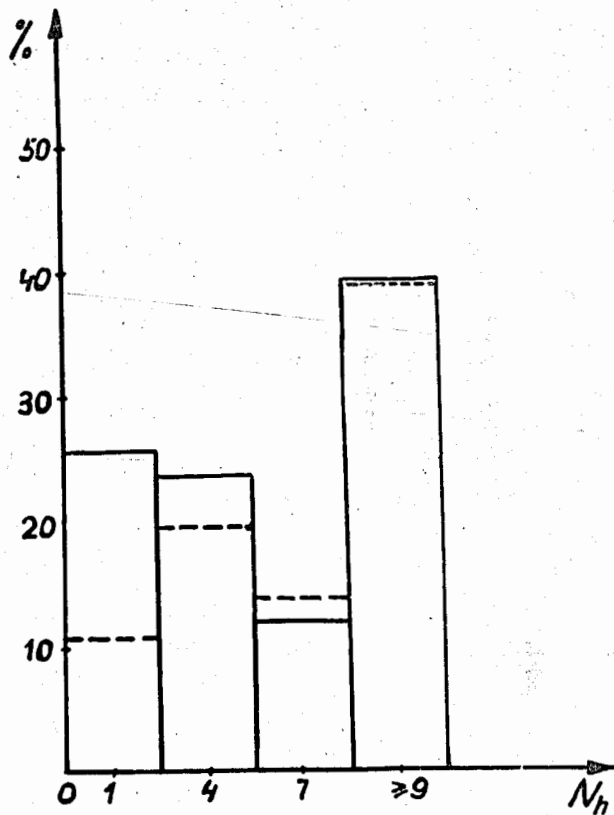


Рис.1

пределение частиц, обладающих скоростями $\beta \leq 0,64$ и пробегом $l \geq 3$ мм. Если предположить, что оно имеет вид

$$(1 + a \cos \psi),$$

то из экспериментальных данных следует, что $a \approx 1$. При этих условиях частота появления "странных" частиц /при $\beta \leq 0,64$ и $l \geq 3$ мм/ составляет $\sim 0,042$ на одну звезду. Исходя из элементарного состава эмульсии НИКФИ^[4] и из величины свободного пробега для неупругого взаимодействия протонов с энергией ~ 9 Бэв с ядрами фото-эмульсии^[5], для сечения звездообразования можно получить величину ~ 460 мб. Это приводит к сечению генерации медленных "странных" частиц $\sigma_{\Sigma, K} \approx 20$ мб.

Кроме описанного метода выделения гиперонов и тяжелых мезонов, при просмотре по площади, фиксировались также те случаи, которые могли бы оказаться "странными" частицами: двухлучевые звезды, распады различных типов и ядерные захваты. Соответствующие частицы прослеживались в обратном направлении, с целью нахождения родительских расщеплений. Таким путем было найдено 24 "странных" частиц, большая часть которых образовалась в звездах, вызванных первичными протонами. Сводка данных, отно-

связанных ко всем найденным "странным" частицам, приведена в таблицах № 2 и № 3.

Тяжелые мезоны

таблица №2

№	Частица	Тип родительской звезды	Угол вылета К-мезона (град)	Пробег К-мезона (Мев)	Примечание		
						0	1
1	K ⁺	5+3p	54	14	образовался в паре с гипероном N4 см. таблицу N3.		
2	K ⁺	22+3p	8	56,5		образовался в паре с гипероном N5 см. таблицу N3.	
3	K ⁺	14+7p	48	22,5			
4	K ⁺	4+4p	41	4,4			
5	K ⁺	7+0n	—	54			
6	K ⁺	4+0p*	—	59			звезды с Р* вызваны вторичными заряженными частицами.
7	K ⁺	6+5p	86	50,4			
8	K ⁺	3+0p*	—	17,3			образовался в паре с К-мезоном N14.
9	K ⁺	14+1p	91	52,3			
10	K ⁺	11+0p*	—	21,8			образовался в паре с К-мезоном N14.
11	K ⁺	6+1p	49	57,1			
12	τ ⁺	21+4p	72	12,8	1/ Принятый метод поиска "странных" частиц, не гарантирует того, что получаемое соотношение между числом К ⁺ и К ⁻ мезонов соответствует истинному.		
13	τ ⁺	21+0p	44	30,7			
14 ¹⁾	K ⁻	6+1p	20	50,6			
15	K ⁺	Вошел в камеру извне					
16	K ⁺	Вошел в камеру извне					
17	K ⁺	Вошел в камеру извне					

Гипероны

таблица №3

№	Тип	Первичные				Вторичные			Примечание
		Тип родительской звезды	Угол вылета (град)	Длина пробега (м)	Энергия	Тип	Пробег (м)	Угол вылета в системе центра масс (град)	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Σ ⁻	4+3p	42	532	217	π ⁻	15,3	168	
2	Σ ⁺	21+1p	84	16,5	96	π [±]	—	113	
3	Σ [±]	18+5p	89	980	~42	π [±]	—	~121	
4	Σ ⁺	5+3p	20	280	800	π ⁺	11,5	154	
5	Σ ⁻	22+3p	29	16,8	115	π ⁻	33,2	155	
6	Σ [±]	2+1p	37	10,6	~67	π [±]	—	~120	
7	Σ ⁺	12+4p	91	4,4	37	π [±]	—	51	
8	Σ [±]	8+0n	—	48	~55	π ⁺	—	~82	
9	Σ [±]	15+6p	47	4,5	~90	π [±]	—	~102	
10	Λ ⁰	18+2p	3	0,164	140	—	—	—	
11	Λ ⁰	—	133	—	20	—	—	—	
12	Λ ⁰	—	152	—	36	—	—	—	
13	Λ ⁰	—	19	—	112	—	—	—	
14	Λ ⁰	—	77	—	35	—	—	—	Угол вылета Λ-гиперона измерялся относительно направления первичных протонов.
15	Нf	11+4p	90	0,020	—	—	—	—	
16	Нf	22+3p	63	0,284	—	—	—	—	безмезонный распад.

Из таблиц следует, что большинство "странных" частиц вылетают в направлении передней полусферы. Отметим также, что все π - мезоны образовавшиеся при распаде Σ - гиперонов налету, вылетают в систему центра масс назад /кроме гиперона № 8, родительская звезда которого вызвана нейтральной частицей/.

Звезды, вызванные первичными протонами и содержащие медленные "странные" частицы, найденные при просмотре по площади обладают несколько повышенным числом серых и черных лучей.

Действительно, для этой группы звезд имеем $\langle N_n \rangle = 12,5 \pm 2,1$ и $\langle N_s \rangle = 2,9 \pm 0,5$, в то время как для обычных звезд, образованных первичными протонами $\langle N_n \rangle = 8,3 \pm 0,5$ и $\langle N_s \rangle = 3,4 \pm 0,1$ [5]. Это явление указывает, по-видимому, на то, что генерация гиперонов и тяжелых мезонов происходит преимущественно на тяжелых ядрах фотоэмульсии. Аналогичное наблюдение было отмечено также и в ряде других работ /см. например, [6] /.

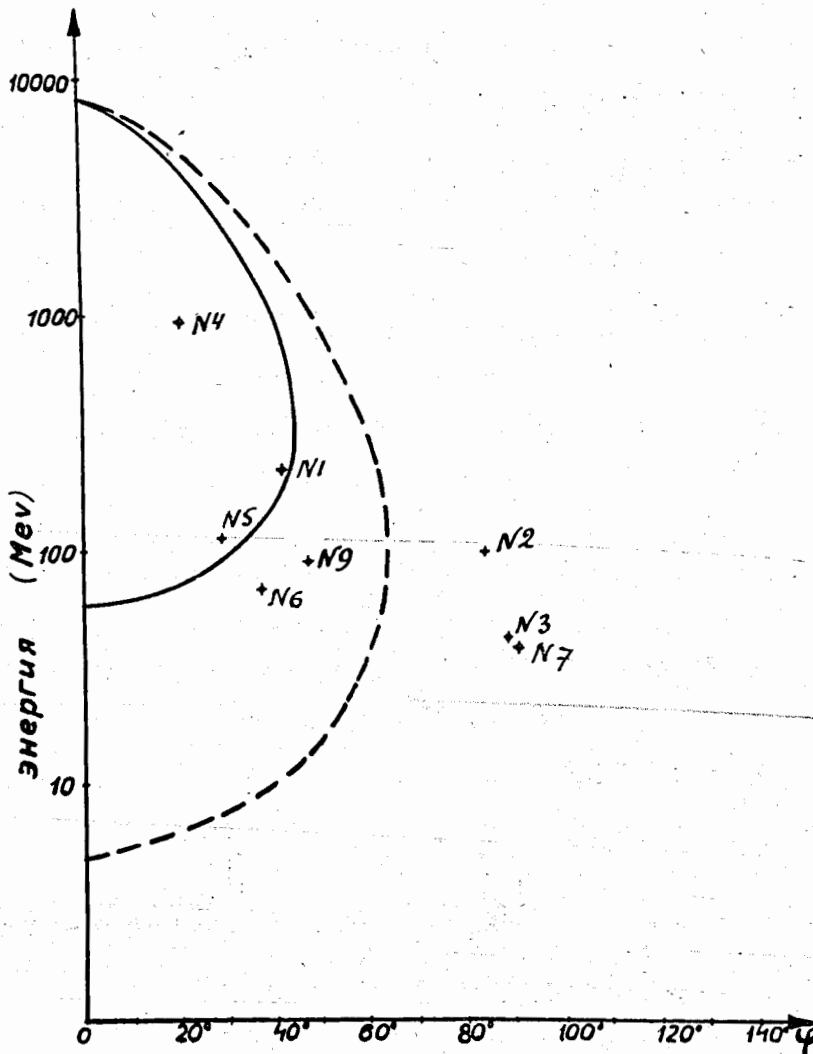


Рис.2

В звездах, содержащих "странные" частицы были прослежены также все остальные лучи. Генерация второй "странной" частицы, была обнаружена в трех случаях, в одном из которых образовалась пара К-мезонов / K^+ и K^- /, а в остальных двух - гиперон и K^+ -мезон.

Для всех Σ -гиперонов, образованных в звездах, вызванных первичными протонами, были измерены кинетические энергии и углы вылета. Соответствующие точки отложены на рис.2. Тем же изображены предельные кривые для углов и кинетической энергии Σ -гиперонов, образующихся в реакции



Сплошная кривая соответствует неподвижному нуклону мишени, пунктирная - проведена с учетом внутриядерного движения. Учет возможности генерации различного числа π -мезонов в реакции /1/, может привести только к сужению предельных кривых, которые будут полностью расположены соответственно внутри сплошной и пунктирной кривых, показанных на рис.2. Таким образом, наличие точек, расположенных вне предельных кривых, свидетельствует о том, что происхождение наблюдаемых гиперонов, по крайней мере частично, следует связывать с реакциями более сложными, чем реакция /1/. Здесь следует указать на две возможности:

а/ гипероны могут быть образованы какой-либо вторичной частицей, например, π -мезоном при ее взаимодействии с нуклонами родительского ядра /см.например, [6]/,

б/ гипероны первоначально образованы в реакции типа /1/, но при дальнейшем прохождении сквозь родительское ядро они могут испытать ядерное взаимодействие, приводящее к изменению кинетической энергии и направления движения.

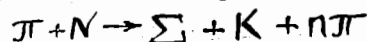
По-видимому, фактически реализуются обе эти возможности. Действительно, кинематический анализ показывает, что, с учетом внутриядерного движения нуклона мишени, оба случая парной генерации Σ -гиперона и K^+ -мезона согласуются со схемой



С другой стороны, образование гиперонов №№ 2,3 и № 7 нельзя, по-видимому, связывать с реакцией /2/. На рис.3 приведены предельные кривые для Σ -гиперонов, образовавшихся в реакции /2/. Сплошная кривая соответствует неподвижному нуклону мишени, пунктирная - учитывает внутриядерное движение.

Энергия π -мезона выбрана равной 8 Бэв, что соответствует максимально-возможной энергии для π -мезонов генерируемых протонами с $E \approx 9$ Бэв^{x/}. Направление

^{x/} При уменьшении энергии π -мезона, области, охватываемые предельными кривыми сужаются. То же относится и к реакциям типа



вылета π -мезона считается совпадающим с направлением движения первичного протона /см. [7] /. Как следует из рис.3, гипероны №№ 2,3 и № 7 выпадают из области, охватываемой предельными кривыми. Естественно предположить, что они испытали ядерное взаимодействие внутри родительского ядра^{x/}.

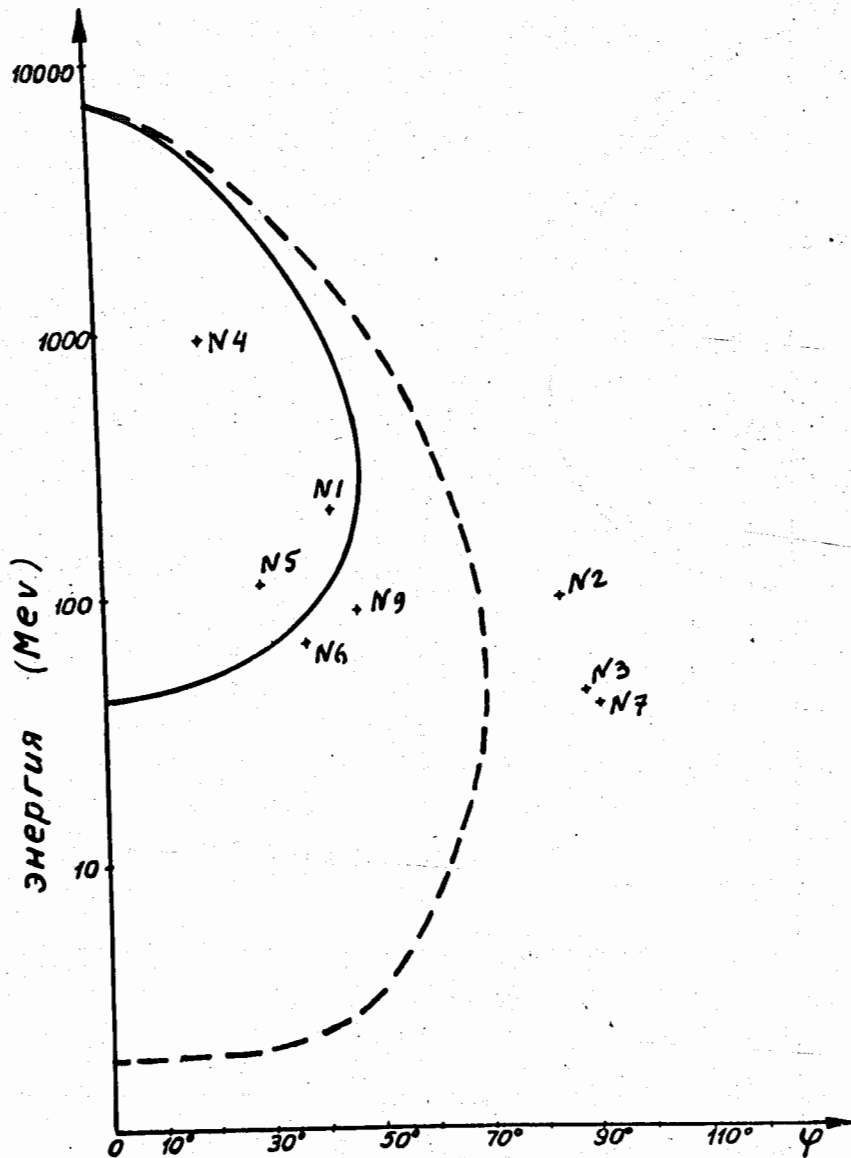


Рис.3

^{x/} Не исключено, конечно, образование гиперонов за счет поглощения медленных K^- -мезонов внутри родительского ядра.

Аналогичное рассуждение можно провести и для Λ^0 -частиц, среди которых наблюдаются Λ^0 -частицы, вылетающие под такими большими углами как 133° и 152° . Соответствующие данные вместе с предельными кривыми для реакции



/3/

приведены на рис.4.

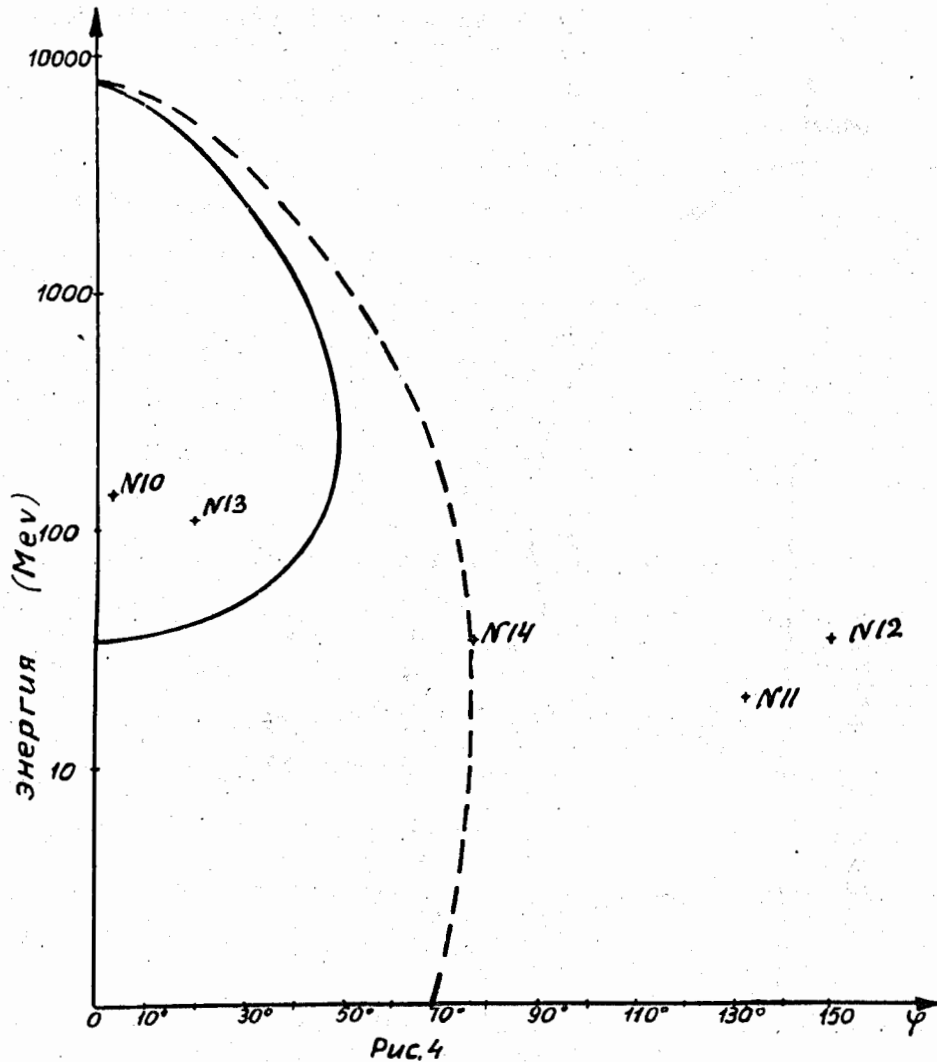


Рис.4

Если рассмотреть реакции образования Λ^0 -частиц с участием промежуточных π -мезонов большой энергии /вплоть до 8 Бэв/, то и в этом случае, образование Λ^0 -частиц № 22 и № 12 остается кинематически невозможным.

В отношении взаимодействия гиперонов внутри родительского ядра см. также [8] и [9].

Авторы благодарят М.И.Подгоречного за руководство работой, В.И.Векслера и М.Я.Даныша за участие в обсуждениях, а также лаборантов З.П.Головину, Т.А.Журавлеву, А.М.Кучер, Т.Н.Михееву и Н.А.Проценко за участие в просмотре и измерениях.

Л и т е р а т у р а

1. B.P. Edwards, A.Engler, H.W.Friedlender and A.A.Kamal
Nuovo cimento 5. II88. (1957).
2. R.R. Daniel, A.Krishnan, S. Mitra and Yash Pal.
Supp. Nuovo cimento 12. 231. (1954).
3. C.Dahanayake, P.E. Frankois, Y.Fujimoto, P.Jredale C.J.
Waddington M. Yashjn Nuovo Cim. I.888. (1955).
4. М.Ф.Родичёва, ЖН и ПФ и К /в печати/
5. Н.П.Богачев, Ван Шу-фэнь, И.М.Граменицкий и др. Атомная
энергия, т.4 вып. 3, 281 /1958/
6. C. Besson, J. Crussard, V.Fouche, J.Hennessy, G.Kayas,
V.R. Parikh, G.Trilling. Nuovo cimen. 6.II68 (1957).
7. Г.Л.Баятян, И.М.Граменицкий, А.А.Номофилов, М.И.Подгорецкий
и Э.С.Скжипчак. ЖЭТФ /в печати/
8. H. Blumenfeld, W. Chinowsky and L.M. Lederman.
Nuovo cimento 8.296. (1958).
9. W.A. Cooper, H.Filthuth, L. Montanet, J.A. Newth, G.Petrucci,
R.A. Salmeron and A. Zichichi.
Nuovo cimento 8. 471. (1958).