

8141

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



8141

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

P1 - 8141

Н.С.Амаглобели, В.Г.Гришин., С.В.Джмухадзе,
Н.Иков, Е.Н.Кладницкая, В.М.Попова, М.Сабэу,
Ю.В.Тевзадзе, Э.Т.Цивцивадзе, М.С.Чаргейшвили

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО МНОЖЕСТВЕННОСТИ
 π^0 , K^0 -МЕЗОНОВ И Λ^0 -ГИПЕРОНОВ,
ОБРАЗОВАННЫХ В π^- -P-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 40 ГЭВ/С

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

P1 - 8141

Н.С.Амаглобели, В.Г.Гришин, С.В.Джмухадзе,
Н.Иков, Е.Н.Кладницкая, В.М.Попова, М.Сабэу,
Ю.В.Тевзадзе, Э.Т.Цивцивадзе, М.С.Чаргейшвили

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО МНОЖЕСТВЕННОСТИ
 π^0 , K^0 -МЕЗОНОВ И Λ^0 -ГИПЕРОНОВ,
ОБРАЗОВАННЫХ В π^- -P-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 40 ГЭВ/С

Направлено в ЯФ

В В Е Д Е Н И Е

Изучение распределений событий по множественности вторичных частиц представляет большой интерес для проверки теоретических моделей и установления новых эмпирических закономерностей. В последние годы широко изучается т.н. скейлинг по множественности, который был получен в работе^{1/} в предположении существования фейнмановского скейлинга для всех инклюзивных процессов. В этом случае имеет место формула:

$$\langle n \rangle \frac{\sigma_n}{\sigma_{in}} = \Psi \left(\frac{n}{\langle n \rangle} \right) \quad (I)$$

где σ_n - сечение образования n -частиц данного типа, σ_{in} - полное неупругое сечение взаимодействия первичных частиц и $\Psi \left(\frac{n}{\langle n \rangle} \right)$ - функция, явно не зависящая от энергии. Экспериментальные данные по pp -взаимодействиям для вторичных π^- -мезонов в интервале энергий 50-300 ГэВ подтвердили существование зависимости (I), хотя скейлинг даже для одночастичных инклюзивных процессов в этой области энергий не имеет места. В связи с этим, формулы типа (I) рассматриваются как эмпирические закономерности^{2/}. Изучение скейлинга по множественности для разного сорта вторичных частиц в широком диапазоне энергий представляет большой интерес с точки зрения динамики множественного рождения частиц. В настоящее время имеются данные по этому вопросу для вторичных заряженных пионов, их значительно меньше для π^0 -мезонов и практически нет для странных частиц. В этой работе мы рассмотрим соотношения между функциями Ψ для заряженных и нейтральных пионов, приведем экспериментальные результаты по π^+ , π^0 , Λ^0 и K^0 -частицам, образованным в π^-p -соударениях при $p = 40$ ГэВ/с, и сравним их с результатами других экспериментов.

§ 1. Скейлинг по множественности для нейтральных и заряженных пионов

Для нейтральных пионов зависимость типа (I) имеет вид^{/3/}:

$$\frac{\langle n_{\rightarrow} \rangle}{\langle n_{\circ} \rangle} \frac{\sigma_{n_{\rightarrow}}(P^0)}{\sigma_{in}} = \Phi \left(\frac{n_{\rightarrow}}{\langle n_{\rightarrow} \rangle} \right) \quad (2)$$

где $\langle n_{\circ} \rangle$ - средняя множественность P^0 -мезонов,

$$\sigma_{n_{\rightarrow}}(P^0) = \sum_{n_{\circ}} n_{\circ} \sigma(n_{\rightarrow}, n_{\circ}) = \langle n_{\circ} \rangle_{n_{\rightarrow}} \sigma_{n_{\rightarrow}} \quad (3)$$

$\langle n_{\circ} \rangle_{n_{\rightarrow}}$ - среднее число P^0 -мезонов в событиях с n_{\rightarrow} отрицательными частицами.

При высоких энергиях $\langle n_{\rightarrow} \rangle \approx \langle n_{\circ} \rangle$ ^{/4/}, поэтому (2) можно переписать в виде:

$$\langle n_{\circ} \rangle_{n_{\rightarrow}} \frac{\sigma_{n_{\rightarrow}}}{\sigma_{in}} = \Phi \left(\frac{n_{\rightarrow}}{\langle n_{\rightarrow} \rangle} \right) \quad (4)$$

С другой стороны, в последнее время обнаружено, что

$$\langle n_{\circ} \rangle_{n_{\rightarrow}} = \alpha n_{\rightarrow} + \beta \quad /3,5/ \quad (5)$$

где $\alpha \rightarrow 1$ при $S \rightarrow \infty$. Используя это соотношение, получим

$$(\alpha n_{\rightarrow} + \beta) \frac{\sigma_{n_{\rightarrow}}}{\sigma_{in}} = \Phi \left(\frac{n_{\rightarrow}}{\langle n_{\rightarrow} \rangle} \right) \quad (6)$$

При малых энергиях первичных частиц (10-20 ГэВ) значения $\alpha \approx 0$ и $\beta \approx \langle n_{\circ} \rangle_{n_{\rightarrow}}$ поэтому левые части уравнений (6) и (I) совпадают, т.е. $\Phi \approx \Psi$ для всех множественностей. При $S \rightarrow \infty$ значение $\alpha \rightarrow 1$ и β можно пренебречь. Для $n_{\rightarrow} \gg \beta$ получим

$$n_{\rightarrow} \frac{\sigma_{n_{\rightarrow}}}{\sigma_{in}} = \Phi \left(\frac{n_{\rightarrow}}{\langle n_{\rightarrow} \rangle} \right) \quad (7)$$

Отсюда мы ожидаем, что при больших энергиях $\Phi \approx \Psi$ при $n_{\rightarrow} = \langle n_{\rightarrow} \rangle$, $\Phi > \Psi$ при $n_{\rightarrow} < \langle n_{\rightarrow} \rangle$ и $\Phi < \Psi$ при $n_{\rightarrow} > \langle n_{\rightarrow} \rangle$.

§ 2. Распределение по множественности P^0 -мезонов

С целью описания распределений P^0 -мезонов по множественности, образованных в P^-p -взаимодействиях при 40 ГэВ/с, по формуле (2) экспериментальные данные аппроксимировались функцией:

$$\Phi(z) = A \exp \left(\sum_{i=1}^3 \alpha_i z^i \right), \quad (8)$$

где $z = \frac{n_{\rightarrow}}{\langle n_{\rightarrow} \rangle}$.

В результате было получено:

$$\Phi(z) = (0,043 \pm 0,008) \exp \left[(9,79 \pm 0,72) z - (8,50 \pm 0,97) z^2 + (2,73 \pm 0,51) z^3 - (0,34 \pm 0,09) z^4 \right]$$

с $\chi^2 = 2,87$ для 9 экспериментальных точек (рис.1).

На рис.2 приведены аналогичные распределения для P^0 -мезонов, образованных в $\bar{p}p$ -взаимодействиях (15 ГэВ/с) и в pp -соударениях (69, 205, 303 ГэВ/с).

Результат фитирования этих распределений функцией вида (8) дается в работе^{/3/}. Коэффициенты α_i для обоих распределений близки между собой.

Аналогичные распределения для заряженных пионов, образованных в P^-p -взаимодействиях при 6,8^{/6/}, 10^{/7/}, 13^{/8/}, 16^{/9/}, 20^{/10/}, 25^{/11/}, 40^{/12/}, 50^{/13/} и 205^{/14/} ГэВ/с, приведены на рис.3. Из сравнения этих данных можно заключить, что значения функций Φ и Ψ совпадают при $z = 1$, в широком интервале энергий (6.8 - 303 ГэВ), независимо от типа первичных частиц (см. также /15/).

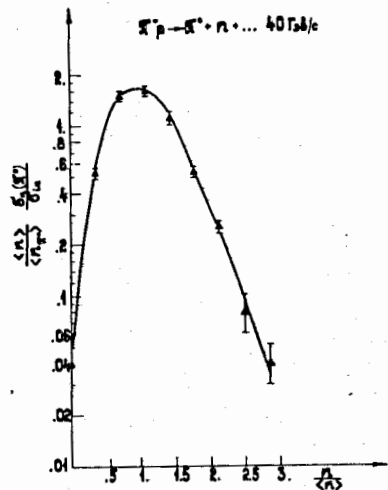


Рис.1. Зависимость $[\langle n \rangle \sigma_n(P^0) / \langle n_{\pi^0} \rangle \sigma_{in}]$ от $Z = \frac{n}{\langle n \rangle}$ для P^0 -мезонов в P^-p -взаимодействиях.

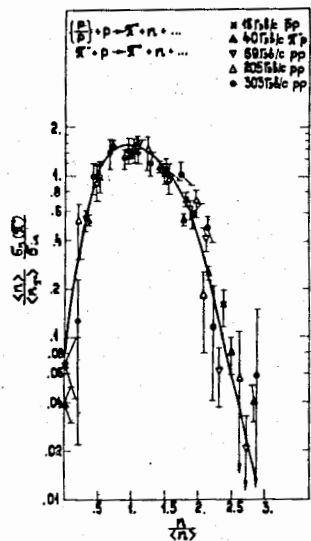


Рис.2. Зависимость $[\langle n \rangle \sigma_n(P^0) / \langle n_{\pi^0} \rangle \sigma_{in}]$ от $Z = \frac{n}{\langle n \rangle}$ для P^0 -мезонов в P^-p , pp и $\bar{p}\bar{p}$ -взаимодействиях.

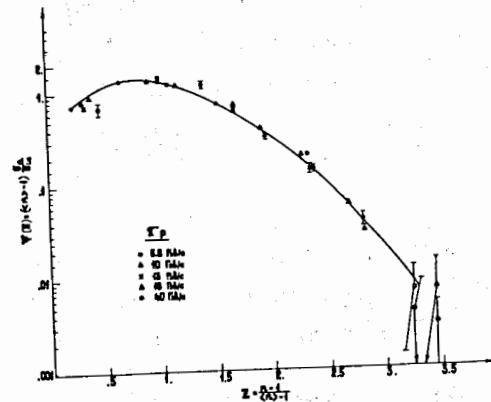


Рис.3а. Зависимость $[\langle n \rangle - 1 \frac{\sigma_n}{\sigma_{in}}]$ от $Z = \frac{n-1}{\langle n \rangle - 1}$ для P^\pm -мезонов в P^-p -взаимодействиях.

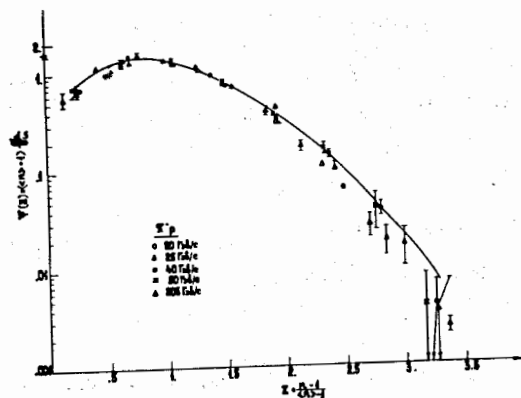


Рис.3б. Та же самая зависимость, что на рис.3а, для другого интервала энергии.

Полученные результаты для дальнейшего обсуждения лучше представить в виде значений коэффициентов $C_q = \frac{\langle n_0 n^q \rangle}{\langle n_0 \rangle \langle n \rangle^q}$ и $d_{q+1} = \frac{\langle n^{q+1} \rangle}{\langle n \rangle^{q+1}}$, $q = 1, 2, 3, \dots$. Результаты расчетов приведены в таблице I.

Универсальность формулы (I) равносильна утверждению, что значения моментов C_q и d_{q+1} не зависят от энергии и типа сталкивающихся частиц /16/.

Из таблицы I видно, что соответствующие значения величин C_q и d_{q+1} не меняются в пределах экспериментальных ошибок для вторичных пионов (Π^\pm и Π^0) в интервале энергий (40-303) ГэВ, для $q \leq 4$.

§ 3. Распределение по множественности K^0 -мезонов и Λ^0 -гиперонов

Распределения по множественности K^0 -мезонов и Λ^0 -гиперонов анализировались по формуле типа (2):

$$\frac{\langle n \rangle}{\langle n_{V^0} \rangle} \frac{\sigma_n(V^0)}{\sigma_{in}} = \psi(z), \quad (9)$$

где $\langle n_{V^0} \rangle$ - среднее число V^0 (Λ^0 или K^0)-частиц на одно взаимодействие, $\sigma_n(V^0) = \langle n_{V^0} \rangle_n \sigma_n$. На рис.4 и 5 приведены экспериментальные результаты для Π^- -взаимодействий при 40 ГэВ/с для Λ^0 и K^0 -частиц.

Для сравнения (рис.6 и 7) приведены данные в pp -столкновениях при 69, 102, 205 и 303 ГэВ/с для тех же вторичных частиц /17/.

Данные аппроксимировались функцией

$$\psi = \exp\left(\sum_{i=0}^k a_i z^i\right). \quad (10)$$

Результаты аппроксимации приведены в таблице II. Как видно из рисунков 6 и 7 и таблицы II, значения коэффициентов a_i для Π^- - и pp -взаимодействий в пределах ошибок совпадают для K^0 -мезонов и Λ^0 -гиперонов по отдельности в интервале энергий (40-303) ГэВ.

Таблица I

Тип взаимодействия	$P_{\text{лаб}}$ (ГэВ/с)	q	$C_q = \frac{\langle n_{\Pi^0} n^q \rangle}{\langle n_{\Pi^0} \rangle \langle n \rangle^q}$	$d_{q+1} = \frac{\langle n^{q+1} \rangle}{\langle n \rangle^{q+1}}$
Π^-p	40	1	$1,04 \pm 0,05$	$1,23 \pm 0,03$
		2	$1,36 \pm 0,09$	$1,78 \pm 0,15$
		3	$2,05 \pm 0,20$	$2,93 \pm 0,16$
		4	$3,43 \pm 0,46$	$5,33 \pm 0,19$
pp	102	1		$1,19 \pm 0,08$
		2		$1,72 \pm 0,15$
		3		$2,78 \pm 0,32$
		4		$4,95 \pm 0,75$
pp	205	1	$1,13 \pm 0,17$	$1,25 \pm 0,08$
		2	$1,47 \pm 0,25$	$1,84 \pm 0,16$
		3	$2,10 \pm 0,40$	$3,05 \pm 0,33$
		4	$3,23 \pm 0,68$	$5,52 \pm 0,74$
pp	303	1	$1,11 \pm 0,16$	$1,20 \pm 0,07$
		2	$1,47 \pm 0,33$	$1,72 \pm 0,14$
		3	$2,17 \pm 0,38$	$2,79 \pm 0,46$
		4	$3,44 \pm 0,68$	$5,02 \pm 0,66$

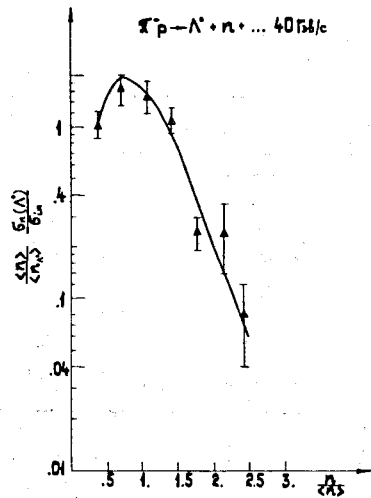


Рис.4. Зависимость $[\langle n \rangle \sigma_n(\Lambda^0) / \langle n_{\Lambda^0} \rangle \sigma_{in}]$ от $Z = \frac{K^0}{K^-}$ для Λ^0 -гиперонов в P^-p -взаимодействиях.

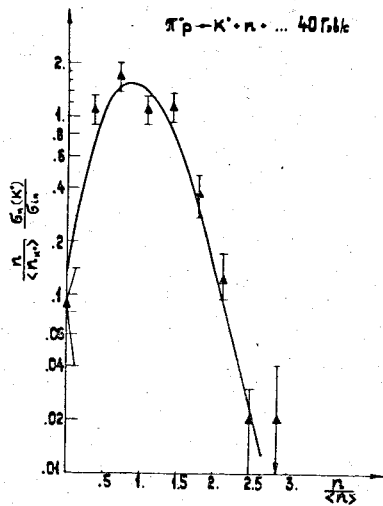


Рис.5. Та же самая зависимость, что на рис.4, для K^0 -мезонов.

Таблица II

Тип взаимодействия	Р _{лаб} ГэВ/с	Коэффициенты	K^0	Λ^0
P^-p	40	a_0	$-2,32 \pm 0,48$	$-1,99 \pm 0,72$
		a_1	$6,34 \pm 1,29$	$6,69 \pm 2,13$
		a_2	$-4,44 \pm 1,15$	$-5,57 \pm 1,74$
		a_3	$0,70 \pm 0,30$	$1,15 \pm 0,42$
			$\chi^2 = 6,29$ при 9 точках	$\chi^2 = 6,33$ при 7 точках
pp	69±303	a_0	$-2,38 \pm 0,57$	$-1,13 \pm 0,75$
		a_1	$7,08 \pm 1,67$	$4,59 \pm 2,62$
		a_2	$-4,95 \pm 1,47$	$-3,39 \pm 2,67$
		a_3	$0,85 \pm 0,39$	$0,45 \pm 0,82$

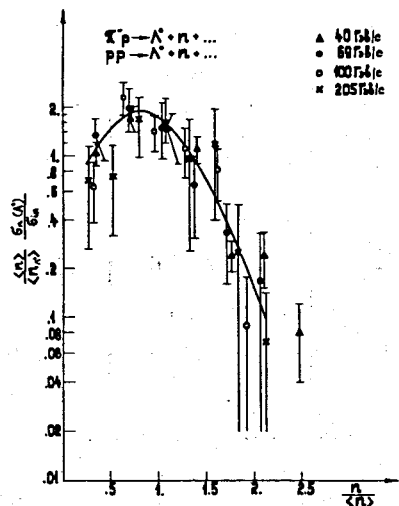


Рис.6. Зависимость $[\langle n \rangle \sigma_{\pi}(\Lambda^0) / \langle n_{\Lambda^0} \rangle \sigma_{in}]$ от $Z = \frac{n}{\langle n \rangle}$ для Λ^0 -гиперонов в πp - и pp -взаимодействиях.

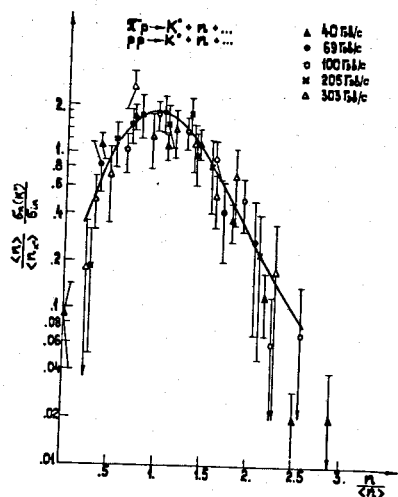


Рис.7. Та же зависимость, что на рис.6, для K^0 -мезонов.

В таблице III приведены значения коэффициентов $C_q = \frac{\langle n_{V^0} n^q \rangle}{\langle n_{V^0} \rangle \langle n \rangle^q}$, откуда также видно, что для πp - и pp -столкновений в широком интервале энергий (40–303) ГэВ значения C_q в пределах ошибок совпадают. Это также подтверждает сделанный выше вывод о независимости C_q и d_{q+1} от энергии и типа сталкивающихся частиц.

Существенным вопросом для динамики множественного рождения являются корреляции по множественности разного типа частиц. Они были обнаружены, например, для π^- и π^0 -мезонов. В связи с этим можно было сделать дополнительные предсказания о скейлинге по множественности (§ I). Поэтому мы изучали зависимость среднего числа K^0 -мезонов и Λ^0 -гиперонов от множественности вторичных частиц в πp -взаимодействиях при импульсе 40 ГэВ/с.

На рис.8 представлены экспериментальные результаты. Зависимость $\langle n_{V^0} \rangle = f(n_-)$ была аппроксимирована выражениями:

$$\langle n_{K^0} \rangle_{n_-} = a_1 + b_1 n_- \quad (I1)$$

$$\langle n_{\Lambda^0} \rangle_{n_-} = a_2 + b_2 n_- \quad (I2)$$

Значения коэффициентов b_i приведены на рис.8.

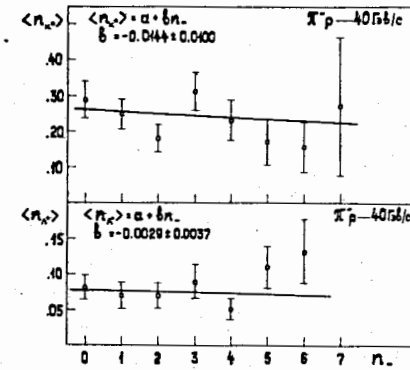
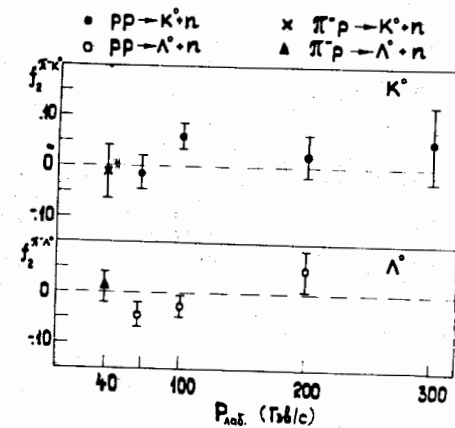
В пределах ошибок $b_i \approx 0$. В связи с этим интересно отметить, что значения $\psi \approx \psi$, так как $\sigma_{\pi}(V^0) = \langle n_{V^0} \rangle \sigma_{in}$. Другим представлением корреляций типа (I) и (2) является корреляционный параметр f_2^{ab} , который определяется как

$$f_2^{ab} = \langle n_a n_b \rangle - \langle n_a \rangle \langle n_b \rangle, \quad (I3)$$

На рис.9 приведена зависимость корреляционного параметра $f_2^{K^0 \pi^-}$ и $f_2^{\Lambda^0 \pi^-}$ от энергии для pp -взаимодействий при энергиях в интервале (69 + 303) ГэВ и для πp -столкновений при 40 ГэВ. Малое значение f_2^{ab} находится в согласии с уже отмечавшимся фактом отсутст-

Таблица III

Тип взаимодействия	$P_{\text{лаб}}$ ГэВ/с	Тип частицы	q	$C_q = \langle n_{\nu} n^q \rangle / \langle n_{\nu} \rangle \langle n \rangle^q$
П-р	40	Λ^0	1	$1,07 \pm 0,17$
			2	$1,35 \pm 0,24$
			3	$1,98 \pm 0,35$
			4	$3,26 \pm 0,64$
рр	205	Λ^0	1	$1,16 \pm 0,33$
			2	$1,62 \pm 0,52$
			3	$2,65 \pm 1,10$
			4	$4,81 \pm 2,37$
рр	40	K^0	1	$0,98 \pm 0,14$
			2	$1,21 \pm 0,19$
			3	$1,74 \pm 0,29$
			4	$2,84 \pm 0,54$
рр	205	K^0	1	$1,00 \pm 0,21$
			2	$1,19 \pm 0,28$
			3	$1,55 \pm 0,42$
			4	$2,21 \pm 0,70$
рр	303	K^0	1	$1,07 \pm 0,19$
			2	$1,28 \pm 0,27$
			3	$1,75 \pm 0,43$
			4	$2,34 \pm 1,05$

Рис.8. Зависимость среднего числа K^0 -мезонов и Λ^0 -гиперонов от $n_+ = (n-2)/2$ для П-р-взаимодействий.Рис.9. Корреляционный параметр $f_2^{\pi^0 \nu}$ как функция от энергий.

вия зависимости $\langle K_{\nu^0} \rangle$ от множественности вторичных заряженных частиц.

Таким образом, имеющиеся экспериментальные данные по множественности вторичных Π^\pm , Π^0 , K^0 -мезонов и Λ^0 -гиперонов показывают, что скейлинг по множественности имеет место в широком интервале энергий (6.8-300) ГэВ. Вид функции Ψ не зависит от типа первичных частиц (P, Π , \bar{P}).

Нам приятно поблагодарить Л.Я.Слепченко за полезные обсуждения.

Литература

1. Z.Koba, H.B.Nielsen and P.Olesen, Nucl.Phys. B40, 317(1972).
2. P.Slattey Phys.Rev.Lett. 29, 1624(1972);
P.Slattey Phys.Rev. D7, 2073(1973).
3. F.T.Dao, J.Whitmore, Phys.Lett. B47, 252(1973).
4. В.Г. Гришин, ЯФ, т.17(1), 134 (1974);
В.Г. Гришин, ЯФ, т.19(1), 192 (1974).
5. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, К.П.Вишневская.
Препринт ОИЯИ, P1-6928, Дубна, 1973.
6. В.А.Беляков, Ван Шу-фень, В.В.Глаголев и др.
ЖЭТФ, 39, 937 (1960).
7. M.Bardadin et all, INR 511/6 (1964).
8. G.W.Brandenburg et all, Nucl.Phys. B16, 287(1970).
9. R.Honecer et all, Phys.Rev. B13, 571(1969).
10. E.Balea, O.Balea, S.Berceanu et all, XX-th Intern.Conf. on
High Energy Physics, Kiev, 1970, p.148.
11. W.Elbert, A.R.Erwin, W.D.Wolker, J.W.Woters, Nucl.Phys.
B19, 85(1970).
12. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, В.А.Беляков и др.
Препринт ОИЯИ, P1-6277, 1972. Phys.Lett.B39, 571(1972).
13. G.A.Akopdjanov, V.V.Babincev et all, Nucl.Phys. B72, 401(1974).
14. D.Boregt, R.Hanft, F.R.Huson et all, Phys.Rev.Lett.
31, 1271(1973).
15. A.J.Buras, J.Dias de DIAS and R.MOLLER, Phys.Lett. B47,
251(1973).
16. Л.Я.Слепченко. Школа по физике элементарных частиц, Тбилиси,
1973.
17. D.Cohen, Phys.Lett. B47, 457(1973).

Рукопись поступила в издательский отдел
24 июля 1974 года.