

5670

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



8670

Экз. чит. зала

P2 - 8670

В.А.Матвеев, А.Н.Сисакян, Л.А.Слепченко

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ ХАРАКТЕР
АССОЦИАТИВНОЙ МНОЖЕСТВЕННОСТИ
И АВТОМОДЕЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СЕЧЕНИЙ
ПОЛУИНКЛЮЗИВНЫХ РЕАКЦИЙ

1975

P2 - 8670

В.А.Матвеев, А.Н.Сисакян, Л.А.Слепченко*

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ ХАРАКТЕР
АССОЦИАТИВНОЙ МНОЖЕСТВЕННОСТИ
И АВТОМОДЕЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СЕЧЕНИЙ
ПОЛУИНКЛЮЗИВНЫХ РЕАКЦИЙ

Направлено в ИФ

* Тбилисский государственный университет

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

Матвеев В.А., Сисакян А.Н., Слеченко Л.А.

P2 - 8670

Корреляционный характер ассоциативной множественности и автомодельное поведение сечений полуинклюзивных реакций

В работе на основе представления о когерентной природе возбуждений адронов в столкновениях при высоких энергиях и принципа автомодельности в полуинклюзивных реакциях рассмотрено явление роста средней множественности вторичных частиц в зависимости от поперечного импульса. Дается предсказание о масштабной закономерности сечений полуинклюзивных процессов.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1975

Matveev V.A., Sissakian A.N., Slepchenko L.A. P2 - 8670

Correlation Features of Associated Multiplicity and Automodel Behaviour of Semi-Inclusive Cross Sections

Based on coherent nature of hadron excitations in high energy collisions and automodelity principle in semi-inclusive reactions the average multiplicity rise with transverse momenta is considered. Scaling type behaviour of semi-inclusive cross sections is predicted.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1975

1. Недавние эксперименты по изучению образования частиц с большими поперечными импульсами в адрон-адронных столкновениях при высоких энергиях выявили определенные изменения в поведении сечений по сравнению с областью малых передач^{/1,2/}. К характерным чертам изучаемых процессов относятся: умеренное падение сечений с ростом p_{\perp} при фиксированных s , рост с энергией сечений при больших фиксированных значениях поперечного импульса p_{\perp} ; относительное увеличение доли тяжелых вторичных частиц; появление заметных корреляций между частицами с большими p_{\perp} и остальными вторичными частицами, а также ряд других свойств. Общая картина поведения этих процессов, складывающаяся при анализе экспериментальных данных, отражена в таблице. Здесь мы специально отметим экспериментальные указания^{/3,4/} на появление существенной зависимости так называемой ассоциативной множественности от поперечного импульса в области $p_{\perp} \gtrsim 1 \text{ ГэВ}/c$.

Согласно современным представлениям о взаимодействии частиц при высоких энергиях^{/5/} образование адронов при больших поперечных импульсах отвечает области малых пространственно-временных расстояний. При этом умеренное степенное падение сечений упругих и инклюзивных процессов с ростом p_{\perp} может рассматриваться как аргумент в пользу существования у адронов составной /кварковой/ структуры. Это подтверждается, в частности, согласием предсказаний гипотезы автомодельности и размерного кваркового анализа^{/6/} с экспериментальными данными о двухчастичных столкновениях адронов при больших значениях переданного импульса.

Таблица

| | Малые p_{\perp} | Большие p_{\perp} |
|-----------------------------------|--|--|
| s -фикс. p_{\perp} -растет | Быстрое падение сечений с ростом p_{\perp} $\sim \exp(-br_{\perp})$ | Умеренное падение сечений с ростом p_{\perp} $\sim p_{\perp}^{-m}$ |
| p_{\perp} -фикс. s растет | Слабая зависимость сечений от s | Растущий характер сечений с ростом s |
| | Среди вторичных частиц преобладают пионы, причем $n_{\pi^+} \approx n_{\pi^-}$ | Увеличение числа тяжелых заряженных частиц и $n_{\pi^+} > n_{\pi^-}$ |
| | Слабая зависимость ассоциативной множественности от p_{\perp} $\langle n(p_{\perp}) \rangle \approx \text{const}$ | Рост ассоциативной множественности с ростом p_{\perp} $\langle n(p_{\perp}) \rangle > f(p_{\perp})$ |

В настоящей работе рассматривается явление роста средней множественности вторичных заряженных частиц в зависимости от поперечного импульса на основе предположения об автомодельном характере поведения поинклюзивных спектров. При этом мы используем также некоторые результаты исследования процессов множественного образования частиц, полученные в рамках метода прямолинейных путей^{/7/} и модели когерентных состояний^{/8/}

2. Изучение корреляционных зависимостей средних характеристик процессов образования адронов может дать указания лишь на существование определенных взаимосвязей между вторичными частицами. Следующим шагом в понимании механизма множественного рождения является исследование зависимости одночастичных распределений от множественности вторичных частиц. Возникает вопрос: к каким ограничениям на вид и характер зависимости одночастичных распределений от n и p_{\perp} приводят корреляции между средней множественностью и поперечным импульсом или передачей $\bar{n} = \bar{n}(p_{\perp})$.

Рассмотрение подобных эффектов удобно проводить на языке характеристик т.н. поинклюзивных процессов:

$$a + b \rightarrow \text{частица с большим } p_{\perp} + n \text{ заряженных частиц} + \text{любое число нейтральных частиц,} \quad /1/$$

т.е. в данном случае в реакции, где инклюзивным образом выделяется одна из вторичных частиц, которая получила в результате взаимодействия большой поперечный импульс.

Среднее число вторичных заряженных частиц при фиксированном поперечном импульсе p_{\perp} выделенной частицы, т.е. ассоциативная множественность, определяется как

$$\langle n(p_{\perp}) \rangle = \sum_n n F_n(p_{\perp}, s) / \sum_n F_n(p_{\perp}, s). \quad /2/$$

Здесь $F_n(p_{\perp}, s)$ есть дифференциальное одночастичное распределение выделенной частицы при заданном числе дополнительных заряженных частиц n :

$$F_n(p_{\perp}, s) = \frac{d\sigma_n}{dp_{\perp}^2} = \frac{1}{c} \frac{d^3\sigma_n}{dp_{\parallel} dp_{\perp}^2}, p_{\parallel}(x, M^2) - \text{фикс.} \quad /3/$$

В формуле /3/ известные переменные x, M^2 - фиксированы и $x \neq 0$. Напомним, что суммирование выражения /3/ по числу всех заряженных частиц приводит по определению к одночастичному инклюзивному распределению /9/

$$\frac{d\sigma}{dp_{\perp}^2} (a+b \rightarrow p_{\perp} + \text{все что угодно}) = \sum_n F_n(p_{\perp}, s). \quad /4/$$

Можно ввести также эквивалентное /2/ определение ассоциативной множественности, которое ясно демонстрирует корреляционный характер этой величины:

$$\langle n(p_{\perp}) \rangle = \int \frac{d\sigma}{d\vec{p}_{\perp} d\vec{p}'_{\perp}} d\vec{q}_{\perp} / \frac{d\sigma}{d\vec{p}_{\perp}}. \quad /5/$$

Из /5/, в частности, видно, что в отсутствие корреляций между частицами с импульсами \vec{p} и \vec{q} ассоциативная множественность при инклюзивном выделении частицы с импульсом \vec{q} не зависит от \vec{p} , т.е. $\langle n(p_{\perp}) \rangle = \langle n \rangle_{\text{полн.}} - 1$.

Отметим, что в соответствии с законом сохранения полного импульса происходит компенсация большого поперечного импульса p_{\perp} выделенной частицы суммарным поперечным импульсом группы остальных частиц, что обуславливает сильную корреляцию между ними.

При выборе конкретного вида зависимости среднего числа частиц от поперечного импульса следует учесть соображения о механизме множественного рождения. Исходя из предположения о когерентном возбуждении частиц, сталкивающихся при высоких энергиях, можно найти, что среднее число вторичных частиц линейно растет с квадратом переданного поперечного импульса /8/:

$$\langle n(p_{\perp}) \rangle = a + bp_{\perp}^2. \quad /6/$$

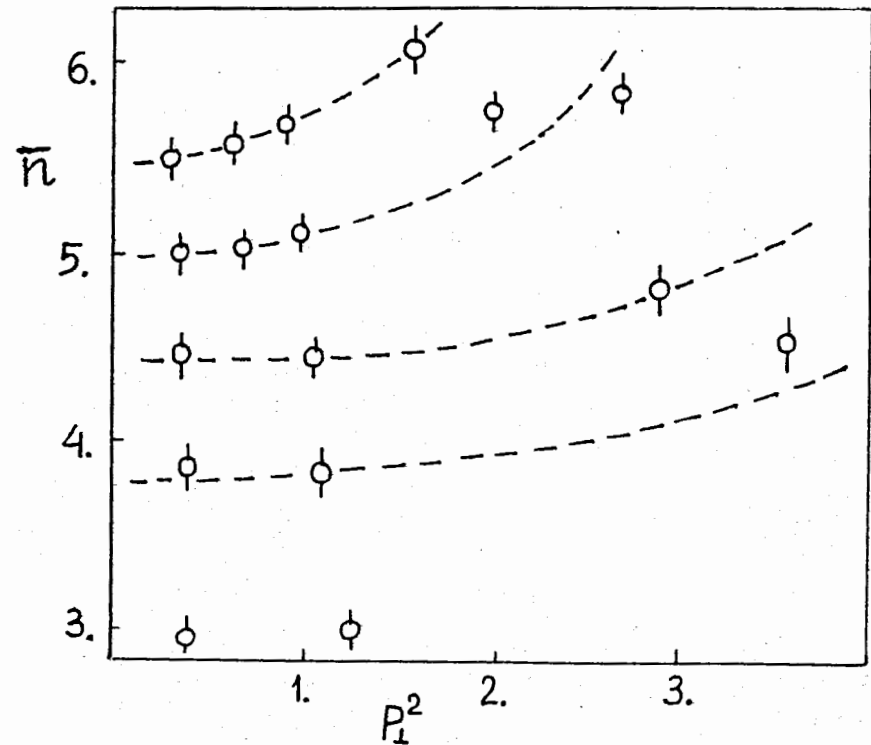


Рис. 1. Зависимость⁸ средней множественности заряженных частиц от квадрата поперечного импульса при $p_{\text{лаб}} = 30 \text{ ГэВ}/c^{1/4}$.

В рамках метода прямолинейных путей этот результат для дифракционного рождения вторичных частиц был получен в работах /7, 10/. Такое поведение качественно согласуется с экспериментальными данными, полученными в pp -соударениях при импульсе начального протона в лабораторной системе $p_{\text{лаб.}} = 30 \text{ ГэВ}/c^{1/4}/\text{см}$. рис. 1/. К аналогичному явлению приводит также принцип фрагментации /11/, где рост $\langle n \rangle$ в зависимости от p_{\perp} возникает из-за невозможности сообщить адрону большой поперечный импульс без его развала. Отметим, что в мультипериферической модели /12/ средняя множественность

убывает логарифмически с ростом p_{\perp}^* . Это обстоятельство, по-видимому, отражает тот факт, что мультипериферическая модель отвечает в основном механизму образования вторичных частиц, связанному с появлением в центральной области адронных кластеров, в то время как результаты модели когерентных состояний, метода прямолинейных путей и принципа фрагментации соответствующих механизму дифракционной диссоциации сталкивающихся частиц.

Непосредственное экспериментальное изучение зависимости средней /ассоциативной/ множественности от поперечного импульса частицы представляет, таким образом, большой интерес для проверки теоретических моделей.

Кроме того, исходя из соображений физического подобия, проявляющегося в целом ряде наблюдаемых свойств процессов взаимодействия частиц при высоких энергиях, можно предположить, что форма зависимости $\langle n \rangle = f(\vec{p})$ скажется на характере асимптотического поведения сечений полуинклюзивных процессов.

Предположим, например, что сечения полуинклюзивных процессов удовлетворяют соотношению подобия:

$$\frac{d\sigma_n}{d\vec{p}} = A(p_{\perp}^2) \psi(n/f(\vec{p})). \quad /7/$$

Подставим это соотношение в формулу /2/, определяющую ассоциативную множественность, и, переходя от суммирования к интегрированию, найдем:

$$\langle n(\vec{p}) \rangle = \frac{\sum_n^{N_s} n F(p_{\perp}, s) \int^{N_s} n dn \psi(n/f(\vec{p}))}{\sum_n F(p_{\perp}, s) \int^{N_s} dn \psi(n/f(\vec{p}))} = f(p_{\perp}) \cdot g(N_s/f(\vec{p})),$$

где $N_s \approx \sqrt{s}$. /8/

*В то же время в рамках мультипериферической схемы удается воспроизвести рост спектров с энергией и их степенное падение p_{\perp}^{-8} при больших поперечных импульсах /13/.

Таким образом, функция $f(\vec{p})$ действительно представляет зависимость ассоциативной множественности $\langle n(\vec{p}) \rangle$ от импульса, если

$$g\left(\frac{N_s}{f(\vec{p})}\right) \rightarrow 1 \quad \text{при} \quad \begin{matrix} s \rightarrow \infty, \\ p - \text{фикс.} \end{matrix} \quad /9/$$

Отклонение от асимптотического предела /9/ может проявиться лишь в области, где

$$f_p / \sqrt{s} \sim 1. \quad /10/$$

Пусть функция f_p имеет степенную асимптотику

$$f_p \sim p_{\perp}^{\alpha}. \quad /11/$$

Тогда условие /10/ соответствует сравнительно небольшим передачам

$$p_{\perp} \sim s^{1/2\alpha}, \quad /12/$$

т.е. значениям параметра $x_{\perp} = \frac{2p_{\perp}}{\sqrt{s}}$, стремящимся к нулю с ростом s .

Заметим далее, что функция $A(p_{\perp})$, определенная формулой /7/, может быть связана с инклюзивным сечением

$$\frac{d\sigma}{d\vec{p}} = \sum_n \frac{d\sigma_n}{d\vec{p}} \sim A(\vec{p}^2) f(\vec{p}). \quad /13/$$

Используя формулы /7/, /8/ и /13/, нетрудно установить справедливость закономерности

$$\langle n(\vec{p}) \rangle \frac{d\sigma_n}{d\vec{p}} / \frac{d\sigma}{d\vec{p}} = \psi(n/\langle n(\vec{p}) \rangle). \quad /14/$$

Соотношение подобия /14/ представляет основной результат данной работы. Будучи аналогичным соотношению

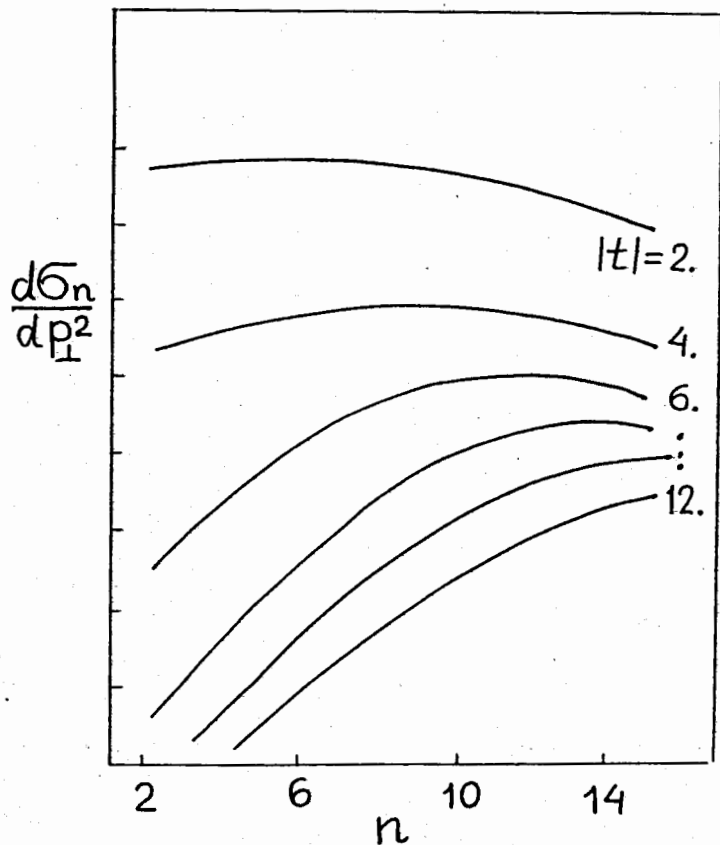


Рис. 2. Полуинклюзивные сечения как функции множественности для различных фиксированных значений $|t| = p_{\perp}^2$.

KNO -скейлинга^{/14/}, оно опирается лишь на общие соображения физического подобия и не использует, в частности, предположения о фейнмановском скейлинге.

Таким образом, данная закономерность может рассматриваться как частное проявление свойства автомодельности, характерного для широкого круга явлений в процессах взаимодействия частиц при высоких энергиях.

3. В качестве иллюстрации рассмотрим пример конкретной функции $\psi(z)$, полученной в моделях дифракционного типа^{/15/}

$$\psi(z) = z^{-2} e^{-c/z}, \quad z = n/p_{\perp}^2. \quad /15/$$

Соответствующее полуинклюзивное сечение^{/7/}, удовлетворяющее автомодельному закону^{/14/}, является, вообще говоря, функцией двух переменных, n и p_{\perp} , и определяет, по сути дела, две физические проекции при фиксированных значениях одной из переменных /см. рис. 2,3/.

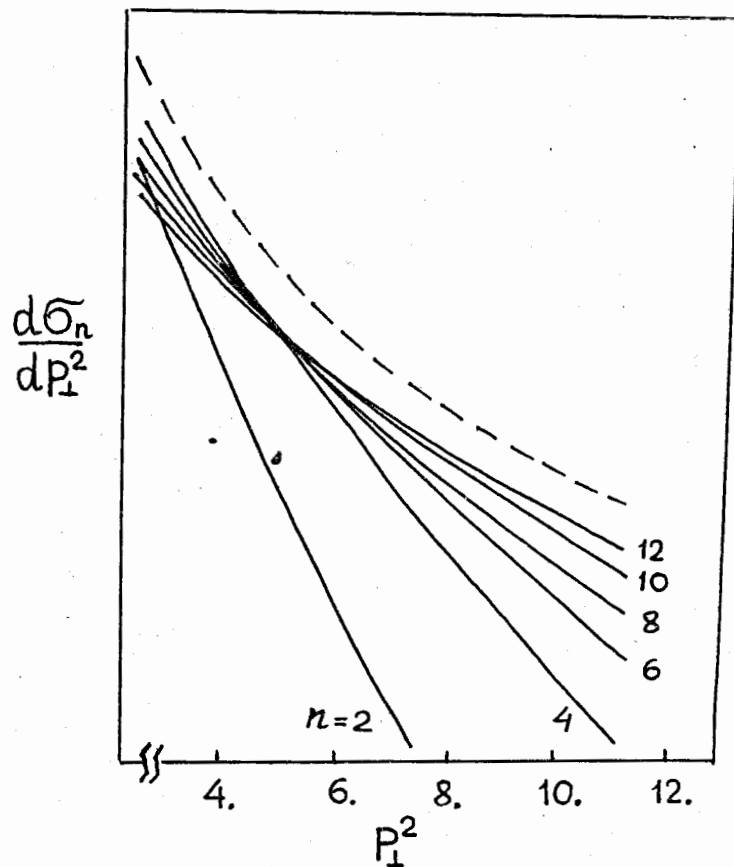


Рис. 3. Зависимость полуинклюзивных спектров для различных значений n от квадрата поперечного импульса в области больших p_{\perp} . Пунктирной линии соответствует суммарное /инклюзивное/ распределение.

Отметим, что топологические распределения /при фиксированных значениях n / в области больших p_{\perp} характеризуются "выползанием" описывающей их кривой с ростом множественности /т.н. расширение распределения/. Соответствующие таким топологическим распределениям инклюзивные сечения согласуются со степенной асимптотической зависимостью типа

$$\frac{d\sigma}{dp_{\perp}^2} \sim \frac{1}{(p_{\perp}^2)^{2+\alpha}} \left[\exp\left(-\frac{cp_{\perp}^{2\alpha}}{\sqrt{s}}\right) - \exp\left(-\frac{cp_{\perp}^{2\alpha}}{2}\right) \right]. \quad /16/$$

Подчеркнем, что определенные формулой /7/ распределения в области малых p_{\perp} при увеличении множествен-

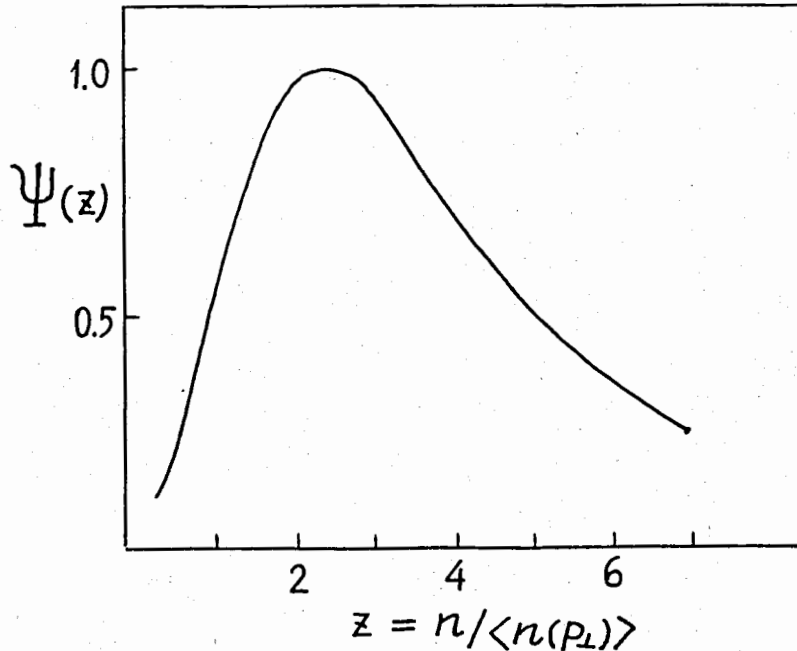


Рис. 4. Зависимость модельной функции $\psi(n/\langle n(p_{\perp}) \rangle) = \langle n(p_{\perp}) \rangle \frac{d\sigma_n}{dp_{\perp}} / \frac{d\sigma}{dp_{\perp}}$ от переменной $z = n/\langle n(p_{\perp}) \rangle$.

ности обнаруживают "сужение" /16/, которое отвечает ассоциативным множественностям, слабо зависящим от p_{\perp} /17/: $\langle n(p_{\perp}) \rangle \sim \text{const}$. Этот факт указывает на смену режима в поведении наблюдаемых сечений при переходе через некоторое критическое значение $p_{\perp}^{(0)} \sim 1 \text{ ГэВ/с}$.

В моделях дифракционного типа ассоциативная множественность в области поперечных импульсов $p_{\perp} \geq p_{\perp}^{(0)}$ имеет приближенно степенную зависимость

$$\langle n(p_{\perp}) \rangle \sim (ap_{\perp})^{2\alpha}. \quad /17/$$

Рассмотренный пример показывает, что детальное исследование конкретных феноменологических схем на основе картины когерентного возбуждения в соединении с гипотезой автомодельности в области больших поперечных импульсов является одним из интересных аспектов изучения механизмов множественного образования частиц при высоких энергиях.

В заключение авторы приносят благодарность А.Н.Тавхелидзе за интерес к работе и ценные замечания. Мы благодарны Н.С.Амаглобели, В.Р.Гарсеванишвили, В.Г.Гришину, В.Г.Кадышевскому, А.Н.Квинихидзе, С.П.Кулешову, Калерво Лаурикайнену, Р.М.Мир-Касимову, В.К.Митрюшкину, С.Щ.Мавродиеву, М.В.Савельеву, В.И.Саврину, М.А.Смондыреву, Н.Е.Тюрину за интересные обсуждения.

Литература

1. F.W.Büsser et al. *Phys.Lett.*, 46B, 471 (1973); M.Banner et al. *Phys.Lett.*, 44B, 531 (1973); B.Alper et al. *Phys.Lett.*, 44B, 521 (1973).
2. S.D.Ellis, R.Thun. CERN, TH 1874 (1974). S.D.Ellis. *Rapporteurs talk at London Conference*.
3. F.W.Büsser et al. *Phys.Lett.*, 51B, 306, 311 (1974); G.Finocchiaro et al. *Phys.Lett.*, 50B, 396 (1974).
4. A.Ramanauskas et al. *Phys.Rev.Lett.*, 31, 1371 (1974); E.W.Anderson et al. *Talk at the London Conference* (1974).

5. V.A. Matveev, R.M. Muradyan, A.N. Tavkhelidze. *Lett. Nuovo Cim.*, 7, 719 (1973).
6. V.A. Matveev, R.M. Muradyan, A.N. Tavkhelidze. *JINR E2-8048*, Dubna, 1974; *Talk at the London Conference* (1974).
7. B.M. Barbashov, S.P. Kuleshov, V.A. Matveev, V.N. Peruvushin, A.N. Sissakian, A.N. Tavkhelidze. *Phys. Lett.*, 33B, 484 (1970); *ТМФ* 5, 330 (1970).
8. V.A. Matveev, A.N. Tavkhelidze. *JINR, E2-5141*, Dubna, 1970.
9. A.A. Logunov, M.A. Mestvirishvily. *CERN, TH-1707*, Geneva (1973).
10. С.П. Кулешов, В.А. Матвеев, А.Н. Сисакян, М.А. Смондырев, А.Н. Таухелидзе. *ЭЧАЯ*, т. 5, вып. 1,3, Атомиздат, Москва, 1974; A.N. Sissakian. *Preprint Research Institute for Theoretical Physics, University of Helsinki* (1974).
11. J. Benecke, T. T. Chou, C. N. Yang, E. Yen. *Phys. Rev.*, 188, 2159 (1969).
12. P. Amati, S. Fubini, A. Stangheli. *Nuovo Cim.*, 26, 896 (1962); H. T. Nieh, J. M. Wang. *Phys. Rev.*, D5, 2226 (1972).
13. И.М. Дремин. *ЯФ*, 18, 617 /1973/.
14. Z. Koba, H. B. Nielsen and P. Olesen. *Nucl. Phys.*, B43, 125 (1972); *Phys. Lett.*, 38B, 25 (1973).
15. Л.А. Слепченко. *ОИЯИ, Р - 7042*, Дубна, 1973; *Сообщение АН ГрССР*, 73, 52 /1974/; А.Н. Квинихидзе, Л.А. Слепченко. *ОИЯИ, Р1,2-8529*, Дубна, 1975.
16. N.N. Biswas et al. *Phys. Rev. Lett.*, 26, 1589 (1971).
17. H. Bøggild et al. *Nucl. Phys.*, B72, 221 (1974).

Рукопись поступила в издательский отдел
12 марта 1975 года.