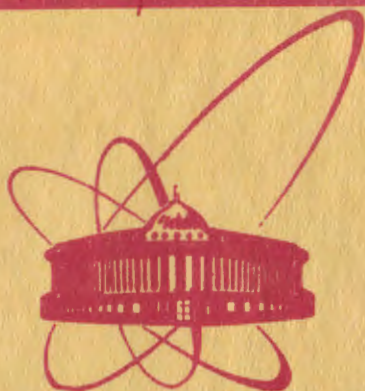


1207/82

9/III-82



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

1-81-746

Я. Антош<sup>1</sup>, В.С. Румянцев<sup>2</sup>, Н.А. Русакович,  
Л. Шандор<sup>1</sup>

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ ФАКТОРИЗАЦИИ  
ТРАЕКТОРИЙ РЕДЖЕ  
В РЕАКЦИЯХ  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ / \pi^- / \pi^0 + X$   
ПРИ 5 ГэВ/с

*Направлено в ЯФ*

---

<sup>1</sup> Институт экспериментальной физики САН,  
Кошице, ЧССР.

<sup>2</sup> Институт физики АН БССР, Минск.

1981

Настоящая работа посвящена исследованию вопроса о возможности описания дифференциальных сечений инклюзивных реакций в пион-протонных взаимодействиях при относительно низких энергиях с помощью модельного подхода, основанного на мюллер-реджевской феноменологии и на гипотезе факторизации траекторий Редже. Для проверки предсказаний, полученных в рамках указанного подхода, используются экспериментальные данные о дифференциальных сечениях инклюзивных реакций

$$\pi^- p \rightarrow \pi^+ + X, \quad /1/$$

$$\pi^- p \rightarrow \pi^- + X, \quad /2/$$

$$\pi^- p \rightarrow \pi^0 + X \quad /3/$$

при 5 ГэВ/с в области фрагментации мишени. Методика проведения экспериментов и результаты предыдущих исследований реакций /1-3/ описаны в работах /1-3/.

Изложим кратко основные положения тех модельных представлений, которые применяются в настоящей статье. В однореджеонном приближении дифференциальное сечение инклюзивной реакции

$$a + b \rightarrow c + X \quad /4/$$

в области фрагментации мишени /малые продольные импульсы частицы "с" в системе покоя частицы "b" / может быть представлено суммой /4,5/

$$E \frac{d^3 \sigma}{dp^3} \equiv f_{s_a}(b \rightarrow c) = \sum_i \beta_i(p) s_a^{\alpha_i(0)-1}, \quad /5/$$

в которой отдельному члену сопоставляется приведенная на рис. 1 редже-диаграмма трехчастичного процесса  $abc \rightarrow abc$ . Выше введены следующие обозначения:  $f_{s_a}(b \rightarrow c)$  - структурная функция реакции /4/;  $\beta_i(p)$  - функция, определяемая вычетами полюсов Редже;  $\alpha_i(0)$  - лидирующая траектория Редже;  $s_a$  - квадрат полной энергии в с.ц.м. реакции /4/.

Предполагается, что вклад по  $i$  дают померонная ( $\alpha_p(0) = 1$ ) и мезонные траектории ( $\alpha_r(0) = \alpha_\rho(0) = \alpha_\omega(0) = \alpha_{A_2}(0) = 1/2$ ). Согласно гипотезе факторизации траекторий Редже функция  $\beta_i(p)$

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ

ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

БИБЛИОТЕКА

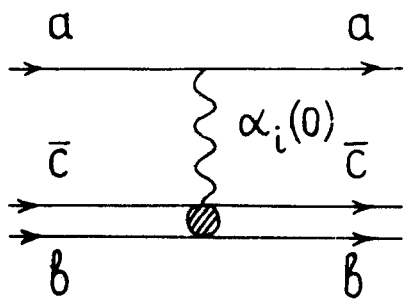


Рис. 1. Диаграмма процесса  $abc \rightarrow abc$ .

может быть представлена в виде  $\beta_i(p) = \gamma_a^i \Gamma_{bc}^i(p)$ , /6/

где  $\Gamma_{bc}^i(p)$  описывает связь  $i$ -того реджеона с системой "bc", а  $\gamma_a^i$  - с частицей "a".

Дальнейшее упрощение формулы /5/ достигается путем использования соотношений между вершинными функциями  $\Gamma_{bc}^i(p)$  и константами связи  $\gamma_a^i$  /так называемое обменное вырождение/, которые предсказываются в рамках дуальных моделей или устанавливаются на основе анализа двухчастичного рассеяния. Например, для реакций с участием  $\pi$ - и  $K$ -мезонов с произвольным знаком заряда обменное вырождение дает /6-8/

$$\gamma_{\pi}^f = \gamma_{\pi}^{\rho} \equiv \gamma_{\pi}. \quad /7/$$

$$\gamma_K^f = \gamma_K^{\rho} = \gamma_K^{\omega} = \gamma_K^{A_2} \equiv \gamma_K. \quad /8/$$

$$\Gamma_{p\pi}^f = \Gamma_{p\pi}^{\omega}, \quad \Gamma_{p\pi}^{\rho} = \Gamma_{p\pi}^{A_2}. \quad /9/$$

Продемонстрируем на примере реакций  $a+p \rightarrow \pi^- + X$ , где "a" принимает значения  $K^{\pm}$ ,  $\pi^-$ , применение рассмотренных выше модельных представлений. Согласно формулам /5/, /6/ и соотношениям /7/, /8/ для реакции  $K^-p \rightarrow \pi^- + X$  можно записать\*:

$$f_{s_{K^-}}^{K^-}(p \rightarrow \pi^-) = \gamma_K^{\rho} \Gamma_{p\pi^+}^{\rho} + S_{K^-}^{-1/2} \gamma_K (\Gamma_{p\pi^+}^f + \Gamma_{p\pi^+}^{\rho} + \Gamma_{p\pi^+}^{\omega} + \Gamma_{p\pi^+}^{A_2}). \quad /10/$$

На языке диаграмм для трехчастичного рассеяния /см. рис.1/ реакция  $K^+p \rightarrow \pi^- + X$  связана с реакцией  $K^-p \rightarrow \pi^- + X$  кроссинг-преобразованием, при котором вклады от траекторий с нечетной сигнатурой меняют знак. Поэтому из /10/ получим

$$f_{s_{K^+}}^{K^+}(p \rightarrow \pi^-) = \gamma_K^{\rho} \Gamma_{p\pi^+}^{\rho} + S_{K^+}^{-1/2} \gamma_K (\Gamma_{p\pi^+}^f - \Gamma_{p\pi^+}^{\rho} - \Gamma_{p\pi^+}^{\omega} + \Gamma_{p\pi^+}^{A_2}). \quad /11/$$

Сохранение G-четности допускает в реакции  $\pi^-p \rightarrow \pi^- + X$  обмен только  $\rho$ -, f- и  $\rho$ -траекториями. Знаки перед вклады от этих траекторий определяются из /10/ на основе SU(3)-симметрии.

\* Здесь и ниже используется допущение о независимости констант  $\gamma_{\pi}^{\rho}$  и  $\gamma_K^{\rho}$  от заряда мезонов.

Исходя из этого, для реакции  $\pi^-p \rightarrow \pi^- + X$  имеем

$$f_{s_{\pi^-}}^{\pi^-}(p \rightarrow \pi^-) = \gamma_{\pi}^{\rho} \Gamma_{p\pi^+}^{\rho} + S_{\pi^-}^{-1/2} \gamma_{\pi} (\Gamma_{p\pi^+}^f + \Gamma_{p\pi^+}^{\rho}). \quad /12/$$

Использование равенств /9/ позволяет существенно упростить выражения /10/-/12/:

$$f_{s_{K^-}}^{K^-}(p \rightarrow \pi^-) = \gamma_K^{\rho} \Gamma_{p\pi^+}^{\rho} + S_{K^-}^{-1/2} \gamma_K 2(\Gamma_{p\pi^+}^f + \Gamma_{p\pi^+}^{\rho}), \quad /13/$$

$$f_{s_{K^+}}^{K^+}(p \rightarrow \pi^-) = \gamma_K^{\rho} \Gamma_{p\pi^+}^{\rho},$$

$$f_{s_{\pi^-}}^{\pi^-}(p \rightarrow \pi^-) = \gamma_{\pi}^{\rho} \Gamma_{p\pi^+}^{\rho} + S_{\pi^-}^{-1/2} \gamma_{\pi} (\Gamma_{p\pi^+}^f + \Gamma_{p\pi^+}^{\rho}). \quad /14/$$

Исключая из этих выражений вершинные функции  $\Gamma_{p\pi^+}^{\rho}$ ,  $\Gamma_{p\pi^+}^f$  и  $\Gamma_{p\pi^+}^{\rho}$ , приходим к соотношению

$$f_{s_{\pi^-}}^{\pi^-}(p \rightarrow \pi^-) = \left[ \frac{\gamma_{\pi}^{\rho}}{\gamma_K^{\rho}} - \left( \frac{s_{\pi^-}}{s_{K^-}} \right)^{-1/2} \frac{\gamma_{\pi}}{2\gamma_K} \right] f_{s_{K^+}}^{K^+}(p \rightarrow \pi^-) + \left( \frac{s_{\pi^-}}{s_{K^-}} \right)^{-1/2} \frac{\gamma_{\pi}}{2\gamma_K} \cdot f_{s_{K^-}}^{K^-}(p \rightarrow \pi^-). \quad /15/$$

В работе /7/, где впервые было получено это соотношение, показано, что оно справедливо и для реакций с образованием  $\pi^+$ -мезонов в тех же  $K^{\pm}p$ - и  $\pi^-p$ -взаимодействиях. Отметим, что /15/ применимо и в случае реакций  $\pi^-p \rightarrow \pi^0 + X$  и  $K^{\pm}p \rightarrow \pi^0 + X$ , в чем нетрудно убедиться, повторив приведенные выше рассуждения.

В рамках рассмотренных здесь модельных представлений различными авторами были получены соотношения, устанавливающие связь между структурными функциями инклюзивных реакций для целого ряда начальных состояний. Эти соотношения для реакций с образованием  $\pi^{\pm}$ -мезонов и  $\Lambda$ -гиперонов проверялись на основе данных о  $\gamma p$ -,  $\pi^{\pm}p$ -,  $K^{\pm}p$ -,  $pp$ - и  $\bar{p}p$ -взаимодействиях в интервале энергий 4,6-40 ГэВ<sup>9-12</sup>. Результаты проверки в основном подтвердили их справедливость.

Исследование применимости гипотезы факторизации траекторий Редже к описанию двойных дифференциальных сечений инклюзивных реакций в пион-протонных взаимодействиях ранее было выполнено при энергиях  $\geq 16$  ГэВ. Ниже представлены результаты проверки этой гипотезы на данных о таких же сечениях в реакциях /1/ и /2/ при энергии 5 ГэВ.

Для определения зависимости правой части формулы /15/ от кинематических переменных  $x = p_{\parallel}^* / p_{\parallel \max}^*$  и  $p_{\perp}^2 / p_{\perp \max}^2$  /где  $p_{\parallel}^*$  - продольная компонента импульса в с.ц.м.,  $p_{\perp \max}^*$  - его максимальное значение,  $p_{\perp}^2$  - квадрат поперечного импульса/, мы исполь-

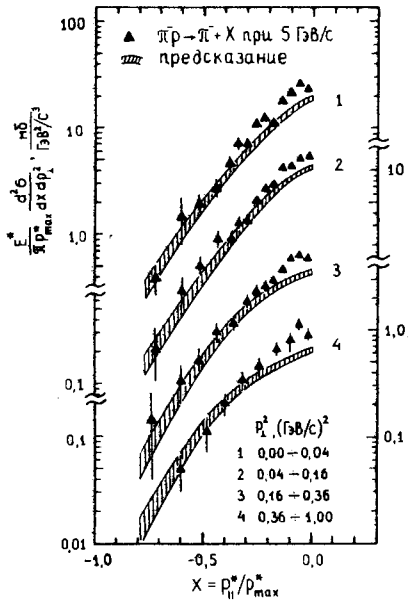


Рис. 2. Дифференциальное сечение  $(E^* / \pi p_{\max}^*) d^2 \sigma / dx dp_1^2$  в зависимости от  $x$  и  $p_1^2$ :  $\blacktriangle$  — по данным о реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ + X$  при 5 ГэВ/с; штрихованные полосы — рассчитанное по формуле /16/ с использованием данных о реакции  $K^- p \rightarrow \pi^- + X$  при 8,25 ГэВ/с.

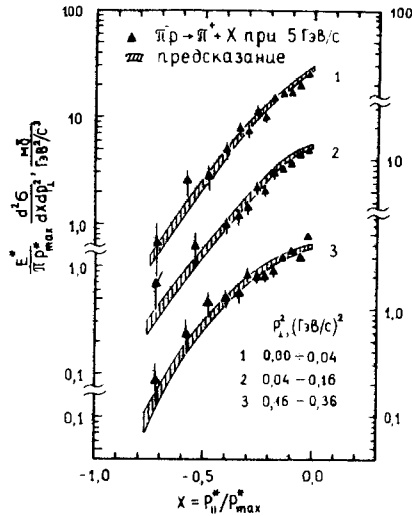


Рис. 3. Дифференциальное сечение  $(E^* / \pi p_{\max}^*) d^2 \sigma / dx dp_1^2$  в зависимости от  $x$  и  $p_1^2$ :  $\blacktriangle$  — по данным о реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ + X$  при 5 ГэВ/с; штрихованные полосы — рассчитанное по формуле /16/ с использованием данных о реакции  $K^- p \rightarrow \pi^+ + X$  при 8,25 ГэВ/с.

зовали данные о реакциях  $K^- p \rightarrow \pi^\pm + X$  при 8,25 ГэВ/с<sup>9</sup>. Подставляя в /15/ значения отношений констант связи  $^{13} \gamma_\pi^P / \gamma_K^P = 1,00/0,80$ ,  $\gamma_\pi / \gamma_K = 1,00/0,50$ , значения  $s_\pi^- = 10,29$  ГэВ<sup>2</sup> и  $s_{K^-} = 16,64$  ГэВ<sup>2</sup>, получаем

$$f_{s_{\pi^-}}(p \rightarrow \pi^\pm) = -0,02 f_{s_{K^+}}(p \rightarrow \pi^\pm) + 1,27 f_{s_{K^-}}(p \rightarrow \pi^\pm). \quad /16/$$

Малость коэффициента при  $f_{s_{K^+}}(p \rightarrow \pi^\pm)$  позволяет пренебречь вкладом первого члена в формуле /16/.

На рис. 2 и 3 приведены экспериментальные данные о двойных дифференциальных сечениях  $(E^* / \pi p_{\max}^*) d^2 \sigma / dx dp_1^2$  реакций /1/ и /2/ при 5 ГэВ/с в области  $-0,7 \leq x \leq 0,0$  и  $0 \leq p_1^2 \leq 1,0$  ГэВ/с<sup>2</sup>

в сравнении с такими же сечениями\*, вычисленными по формуле /16/. На обоих рисунках экспериментальные и расчетные значения сечений в области  $x \leq -0,3$  и во всех интервалах  $p_1^2$  совпадают в пределах одной стандартной ошибки. Этот результат свидетельствует о применимости гипотезы факторизации траекторий Редже в области относительно низких энергий /порядка нескольких ГэВ/.

Рассмотрим теперь возможность применения изложенного выше подхода к описанию инклюзивных реакций с образованием  $\pi^0$ -мезонов. Соотношение типа /15/, которое связывает между собой дифференциальные сечения инклюзивных реакций, имеющих одинаковые конечные и различные начальные состояния, не поддается проверке из-за ограниченности экспериментальных данных о сечениях выхода  $\pi^0$ -мезонов. В этих условиях мы получим, а затем проверим соотношение, связывающее дифференциальные сечения реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 + X$  при двух разных энергиях.

Пусть мы имеем два выражения /14/ для реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 + X$  при энергиях  $s_1$  и  $s_2$ . Исключая из них неизвестную комбинацию  $\Gamma_{p\pi^0}^f + \Gamma_{p\pi^0}^p$ , получим

$$f_{s_1}(p \rightarrow \pi^0) = \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^{-1/2} f_{s_2}(p \rightarrow \pi^0) + \gamma_\pi^p \Gamma_{p\pi^0}^p \left[1 - \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^{-1/2}\right]. \quad /17/$$

Далее используем соотношение

$$\Gamma_{p\pi^0}^p = \frac{1}{2} (\Gamma_{p\pi^+}^p + \Gamma_{p\pi^-}^p) \quad /18/$$

из работы /14/ и выражение /13/ для реакций с образованием  $\pi^\pm$  и  $\pi^0$ -мезонов, из которого следует, что

$$\Gamma_{p\pi^\pm}^p = \frac{1}{\gamma_K^p} f_{s_3}(p \rightarrow \pi^\pm). \quad /19/$$

С помощью /18/ и /19/ получаем из /17/ искомое соотношение

$$f_{s_1}(p \rightarrow \pi^0) = \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^{-1/2} f_{s_2}(p \rightarrow \pi^0) + \frac{\gamma_\pi^p}{2\gamma_K^p} \left[1 - \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^{-1/2}\right] \times [f_{s_3}(p \rightarrow \pi^+) + f_{s_3}(p \rightarrow \pi^-)]. \quad /20/$$

Экспериментальные данные о структурной функции  $f_s(p \rightarrow \pi^0)$  в задней полусфере ( $x \leq 0$ ) с приемлемыми статистическими погреш-

\* Значения структурных функций  $f_{s_{K^\pm}}(p \rightarrow \pi^\pm)$  были пересчитаны нами от  $x = 2p_1^* / \sqrt{s}$ , использованного в работе /9/, к  $x = p_1^* / p_{\max}^*$ .

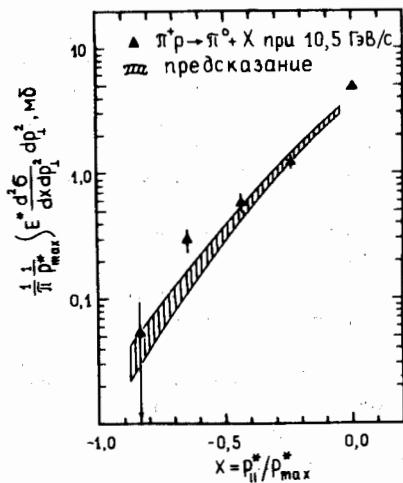


Рис. 4. Дифференциальное сечение  $(1/\pi p_{\max}^*) \int (E^* d^2\sigma / dx dp_1^2) dp_1^2$  в зависимости от  $x$ :  $\Delta$  - по данным о реакции  $\pi^+ p \rightarrow \pi^0 + X$  при 10,5 ГэВ/с; штрихованная полоса - рассчитанное по формуле /21/ с использованием данных о реакциях  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 + X$  при 5 ГэВ/с и  $K^+ p \rightarrow \pi^\pm + X$  при 32 ГэВ/с.

ностями имеются только при одной энергии: 5 ГэВ/с /3/. Их мы используем для вычисления правой части формулы /20/. Значения структурных функций  $f_{s_3}(p \rightarrow \pi^\pm)$  при  $p_{K^+} = 32$  ГэВ/с возьмем из работы /15/.

Результаты вычисления сравним с данными о дифференциальном сечении реакции  $\pi^+ p \rightarrow \pi^0 + X$  при 10,5 ГэВ/с /16/. Подставляя в /20/ константы связи и значения  $s_1 = 20,6$  ГэВ<sup>2</sup> и  $s_2 = 10,29$  ГэВ<sup>2</sup>, получим

$$f_{s_1}(p \rightarrow \pi^0) = 0,707 f_{s_2}(p \rightarrow \pi^0) + 0,183 [f_{s_3}(p \rightarrow \pi^+) + f_{s_3}(p \rightarrow \pi^-)]. \quad /21/$$

В пользу законности сравнения расчетов по /21/ с данными о  $\pi^+ p$ -взаимодействиях свидетельствует поведение дифференциальных сечений  $(2E^*/\pi\sqrt{s}) dx/dx$  реакций  $\pi^\pm p \rightarrow \gamma + X$  при 18,5 ГэВ/с /17/: в задней полусфере ( $x \leq 0$ ), включающей в себя область фрагментации мишени, эти сечения в пределах одной стандартной ошибки не зависят от знака заряда падающего пиона. В этих реакциях  $\approx 90\%$   $\gamma$ -квантов являются продуктами распада  $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ , поэтому отмеченной особенностью поведения обладают и реакции  $\pi^\pm p \rightarrow \pi^0 + X$ .

На рис. 4 представлено дифференциальное сечение  $(1/\pi p_{\max}^*) \int (E^* d^2\sigma / dx dp_1^2) dp_1^2$  реакции  $\pi^+ p \rightarrow \pi^0 + X$  в зависимости от  $x$  в сравнении с таким же сечением, рассчитанным согласно /21/. Видно, что в области  $x \leq -0,3$  рассчитанное и измеренное дифференциальные сечения совпадают в пределах одной стандартной ошибки.

В заключение сформулируем основные выводы настоящей работы.

1. Обнаружено, что дифференциальные сечения реакций  $\pi^- p \rightarrow \pi^+/\pi^-/\pi^0 + X$  при 5 ГэВ/с в области фрагментации мишени в пределах экспериментальных погрешностей согласуются с предсказаниями модельных представлений, основанных на моллер-реджевской феноменологии и на гипотезе факторизации траекторий Редже.

2. Этот результат свидетельствует в пользу неизвестной ранее возможности применения указанных модельных представлений к описанию инклюзивных реакций в пион-протонных взаимодействиях при относительно низких энергиях /порядка нескольких ГэВ/.

Данные о реакциях  $\pi^- p \rightarrow \pi^\pm + X$  при 5 ГэВ/с получены в эксперименте на метровой водородной пузырьковой камере ЛВЭ ОИЯИ под руководством Р.М.Лебедева, данные о реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 + X$  при 5 ГэВ/с - в эксперименте на метровой пропановой пузырьковой камере Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ под руководством Ю.А.Будагова и В.Б.Флягина. Коллективам сотрудников, выполнивших эти эксперименты, и их руководителям мы приносим свою глубокую благодарность за предоставленную нам возможность использовать экспериментальные данные.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Атаян М.Р., Саитов И.С. ОИЯИ, 13-6086, Дубна, 1971; Беттхер Х. и др. ОИЯИ, P1-6846, Дубна, 1972; Абесалашвили Л.Н. и др. ОИЯИ, P1-7027, Дубна, 1973.
2. Амаглобели Н.С. и др. ОИЯИ, P1-8699, Дубна, 1975; Амаглобели Н.С. и др. ЯФ, 1975, 22, с.1269; Амаглобели Н.С. и др. ЯФ, 1978, 27, с.995.
3. Антош Я. и др. ОИЯИ, P1-80-246, Дубна, 1980.
4. Mueller A.H. Phys.Rev., 1970, D2, p.2963.
5. Chan Hong-Mo et al. Phys.Rev.Lett., 1971, 26, p.672.
6. Kugler M. In: Developments in High Energy Physics, Springer-Verlag, Wien, 1970, p.443-547.
7. Miettinen H.I. Phys.Lett., 1972, 38B, p.431.
8. Brower R.C., Cahn R.N., Ellis J. Phys.Rev., 1973, D7, p.2080.
9. Гришин В.Г., Юлдашев Б.С. ЯФ, 1975, 21, с.1084.
10. Fry J.R. et al. Nucl.Phys., 1973, B58, p.420.
11. Gregory P. et al. Nucl.Phys., 1974, B78, p.222.
12. Боос Э.Г. и др. ЯФ, 1979, 29, с.942.
13. Barger V., Phillips R.J.N. Nucl.Phys., 1971, B32, p.93.
14. Cahn R.N. Ph.D.Thesis, LBL-1007, Univ. of California, Berkeley, 1972.
15. Ажиненко И.В. и др. Препринт ИФЭ, ОЭПК 79-54, Серпухов, 1979.
16. Elliott J.R. et al. Phys.Rev., 1978, D17, p.83.
17. Biswas N.N. et al. Phys.Rev., 1974, D10, p.3579.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 декабря 1981 года.