

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1 - 8680

A-50

АЛИЕВ
Фархад Камалович

УПРУГОЕ π^-_p - РАССЕЯНИЕ НА МАЛЫЕ УГЛЫ
ПРИ ЭНЕРГИЯХ 40 И 50 ГэВ

Специальность - 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1975

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук старший научный сотрудник	Э.Н.Цыганов,
кандидат физико-математических наук старший научный сотрудник	С.Б.Нурушев.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук старший научный сотрудник	А.А.Кузнецов.
кандидат физико-математических наук младший научный сотрудник	Д.М.Хазинс.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт теоретической и экспериментальной физики (Москва).

Автореферат разослан "___" _____ 197__ г.

Защита диссертации состоится "___" _____ 197__ г.
в _____ часов на заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

М.Ф. Дихачев

(ДИХАЧЕВ М.Ф.)

1 - 8680

АЛИЕВ
Фархад Камалович

УПРУГОЕ π^-p - РАССЕЯНИЕ НА МАЛЫЕ УГЛЫ
ПРИ ЭНЕРГИЯХ 40 И 50 ГэВ

Специальность - 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Исследование упругого рассеяния элементарных частиц, в частности π^- - мезонов на протонах, является одной из важнейших задач физики высоких энергий. Измерения дифференциальных сечений $\frac{d\sigma}{dt}$ упругого π^- -рассеяния на малые углы в широком интервале энергий дают возможность изучить поведение амплитуды этого рассеяния $C(s, t)$, где s и t - инвариантные переменные Мандельштама (s - квадрат полной энергии частиц в системе центра масс, t - квадрат переданного четырехимпульса). Такие измерения позволяют определять значения отношения реальной части амплитуды рассеяния вперед к мнимой:

$$\rho(s, t=0) = \text{Re } C(s, t=0) / \text{Im } C(s, t=0),$$

и параметра наклона дифференциального сечения:

$$B = \frac{d}{dt} \left(\ln \frac{d\sigma}{dt} \right),$$

которые чаще всего используются при теоретическом анализе данных.

Знание функций $\rho(s)$ и $B(s)$ важно для выбора параметров различных теоретических моделей, описывающих взаимодействие адронов, а измерения ρ позволяют также проверять справедливость наиболее общих принципов локальной теории поля.

Большой прогресс физики высоких энергий был вызван появлением мощных ускорителей заряженных частиц, обеспечивших возможность получения частиц с энергиями $E > 1$ ГэВ. Измерения дифференциального сечения упругого π^- -рассеяния в области кулон-ядерной интерференции с целью определения величины ρ проводились на дубненском синхрофазотроне группой Е.Н.Струнова ^{/1,2/} при $E = 2-6$ ГэВ, а также на брукхэйвском ускорителе при $E = 8-26$ ГэВ группой Линденбаума ^{/3/}. Исследование параметра наклона дифракционного конуса B проводилось во многих экспериментах, обзору которых посвящена, например, работа ^{/4/}.

С созданием серпуховского ускорителя ($E \leq 70$ ГэВ) появилась

возможность продолжить проведение таких экспериментов при недоступных ранее энергиях. Необходимость получения новых экспериментальных данных особенно возросла после обнаружения на этом ускорителе факта "выползновения", а затем на ускорителях в ЦЕРНе и Батавии роста полных сечений с увеличением энергии /5,6/. Если полные сечения сохраняют тенденцию к росту и в асимптотике, т.е. при $E \rightarrow \infty$, то, согласно локальной квантовой теории поля, это должно отразиться и на поведении величин σ и B . Так, например, при росте полных сечений в асимптотике по закону $\sigma_{tot} \sim \ln^2 E$ величина σ должна менять знак, и этот факт был экспериментально обнаружен в pp-рассеянии при $E \cong 300$ ГэВ /6/. Последние данные, полученные в Батавии /7/, указывают на асимптотический рост полных сечений также и в пион-протонных соударениях. В отличие от чисто полюсной модели Редже /8/, как дисперсионные соотношения /9/, так и другие теоретические модели /10,11,12/, описывая такое поведение полных сечений, предсказывают, что величина σ должна менять знак и становиться положительной при энергиях 50-90 ГэВ.

Эксперимент по изучению упругого π^-p -рассеяния на малые углы при энергиях 40 и 50 ГэВ был выполнен коллективом физиков ОИЯИ (Дубна), ИФВЭ (Серпухов) и Калифорнийского университета (Лос-Анджелес, США). С помощью магнитного искрового спектрометра на магнитных лентах было накоплено около трех миллионов первичных событий, среди которых события упругого рассеяния составляли менее 1,5%. Анализ этих данных с целью получения физических результатов представлял собой довольно сложную задачу, решение которой послужило основой реферируемой диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения.

Первая глава носит вводный характер и написана с целью дать некоторое представление о различных теоретических подходах к объяснению упругого рассеяния. В рамках локальной квантовой теории поля обсуждается возможное поведение полных сечений и величины σ в асимптотике, рассматриваются дисперсионные соотношения. Описываемые оптические модели позволяют дать довольно простую интерпретацию результатов измерений дифференциального сечения упругого рассеяния на малые углы и, в частности, связывают параметр наклона B с радиусом взаимодействия.

Во второй главе описана методика эксперимента. Общий вид экспериментальной установки /13/ представлен на рис.1.

Первичные пионы пучка рассеивались на протонах жидководородной мишени (H_2), а затем отклонялись магнитом. Треки первичных и вторичных π^- -мезонов регистрировались проволочными искровыми камерами (S. C.) с магнестрикционным съёмом информации /14/. По своему пространственному местоположению эти камеры группировались в три блока: первый - перед мишенью; второй - между мишенью и магнитом; третий - после магнита. Каждая искровая камера регистрировала координату прохождения частиц одновременно в двух проекциях - горизонтальной X и вертикальной Y (ось Z направлена по оси пучка). Для восстановления пространственной траектории частицы одна камера в I блоке и по две во II и III блоках были повернуты относительно друг друга на угол 45° .

Так как в значительной части случаев частицы пучка проходили через водородную мишень без взаимодействия, а в эксперименте изучались малые углы рассеяния, желательным было ещё до запуска искровых камер определить, отклонился ли первичный пион в мишени или нет. Эту задачу с помощью трех пар пропорциональных камер (P.C.) решал



Рис.1. Общий вид экспериментальной установки.

аналоговый процессор /15/. В каждой паре одна камера определяла координату частицы в X,- а другая в Y-проекциях. В любой плоскости, XZ или YZ, по двум камерам, расположенным перед мишенью, можно было определить, где должна пройти нерассеявшаяся частица в камере за мишенью. Отклонение реального места прохождения частицы в последней камере от ожидаемого определялось с помощью процессора. Если отклонение в какой-либо плоскости превышало заданное, то процессор формировал сигнал, разрешающий запуск спектрометра.

Мониторирование первичных частиц, т.е. выделение и подсчет используемых в эксперименте частиц пучка, осуществлялось с помощью порогового черенковского счетчика (С.С.), сцинтилляционных счетчиков (S I - S4, HALO) и пропорциональных камер, расположенных перед мишенью.

Запуск спектрометра осуществлялся при наличии монитормого сигнала, сигнала разрешения с аналогового процессора, сигнала со сцинтилляционного счетчика S₇ и при отсутствии сигнала со счетчика анти-совпадений A5, подавляющего неупругие события.

При запуске спектрометра координаты траектории частицы в искровых камерах и во второй паре пропорциональных камер, расположенных в I блоке, считывались регистрирующей электроникой и передавались на вычислительную машину (ЭВМ) типа HP2116B /14/. С помощью этой ЭВМ вся информация о регистрируемом событии записывалась на магнитные ленты и частично анализировалась в ходе эксперимента для контроля аппаратуры /16/.

Жидководородная мишень (H₂) обеспечивала постоянство количества водорода с точностью до 0,05% /17/. Внешние окна мишени были удалены вакуумными рукавами на 1 метр с каждой стороны от области,

заполненной водородом. Поле магнита было измерено с точностью около 0,1% /18/.

В эксперименте проводилось несколько типов измерений, отличающихся мишенями и логиками запуска спектрометра. При вышеописанном обычном запуске спектрометра, помимо измерений с мишенью, наполненной водородом, осуществлялись измерения с пустой мишенью. Регулярно выполнялись калибровочные измерения, необходимые для настройки и контроля работы аналогового процессора, для определения параметров пучка и характеристик спектрометра. С целью приведения координатных систем блоков в единую систему координат проводились измерения с выключенным и размагниченным магнитом. Все измерения выполнялись короткими сеансами, в течение которых параметры установки и пучка были практически постоянными, и данные различных сеансов могли анализироваться независимо.

В третьей главе описывается анализ данных, накопленных на магнитных лентах, с целью выделения событий упругого рассеяния /19/. Восстановление траекторий и предварительная фильтрация событий осуществлялись с помощью программы "TRACKFINDING". Поиск треков велся последовательно в каждой плоскости (XZ и YZ) всех блоков. Для определения трека в плоскости блока достаточно было в заданном коридоре ошибок вдоль прямой найти искры в трех камерах из шести в первом, в четырех из семи во втором и в трех из шести в третьем блоках. Это существенно уменьшало возможность потерь треков из-за неэффективностей камер. Параметры найденных треков вычислялись методом наименьших квадратов по координатам соответствующих искр.

Траектория частицы в спектрометре составлялась из треков, которые в пределах пяти стандартных отклонений "сшивались" в мишени и магните. Кроме того, хотя бы одна повернутая камера как во втором, так и в третьем блоках должна была указывать на пространственное

соответствие отобранных треков. При поиске треков вокруг траектории частицы могли быть найдены "генерированные" треки, полученные с использованием фоновых искр. Поэтому каждой комбинации треков, которая могла представлять траекторию частицы в спектрометре, приписывалось число

$$\chi^2 = \frac{1}{3} (\chi_{\text{target}}^2 + \chi_{\text{magnet}}^2 + \chi_{\text{track}}^2).$$

Здесь числа χ_{target}^2 и χ_{magnet}^2 характеризовали "сшиваемость" треков в мишени и магните соответственно. В величину χ_{track}^2 входили феноменологическим путем выбранные числа, которые учитывали отклонения координат искр от определенных по ним треков, суммарное число искр вдоль треков и число повернутых камер, отметивших пространственное соответствие между треками XZ и YZ плоскостей блоков. Отбиралась комбинация треков с минимальным числом χ^2 , которая должна наиболее близко воспроизводить истинную траекторию частицы.

Чтобы уменьшить число событий, анализируемых впоследствии программой "SUMX", производилась их предварительная фильтрация, при которой отбрасывались заведомо ненужные события. Параметры треков, найденных программой "TRACKFINDING", и другая информация об отобранном событии записывались на вторичную ленту.

Данные со вторичной ленты использовались программой "SUMX" для вычисления геометрических и кинематических величин, построения гистограмм распределения этих величин и выделения с их помощью событий упругого Π -рассеяния.

Угол рассеяния θ определялся по параметрам треков первого и второго блоков. Импульс рассеянного пиона P_{Π} вычислялся по углу отклонения частицы в магнитном поле. Первичный импульс P_{inc} и квадрат переданного четырехимпульса t восстанавливались по углу

рассеяния Θ и импульсу P_{Π} путем использования кинематики упругого рассеяния Π^- - мезона на протоне.

Помимо точки взаимодействия Z_{int} , программа также вычисляла координаты треков в плоскостях счётчиков, пропорциональных камер, декодировала информацию со счётчиков и аналогового процессора, определяла характеристики детекторов и т.д. Анализ гистограмм распределения геометрических и кинематических величин позволил подобрать оптимальные критерии для отбора событий упругого Π^- -рассеяния.

Всего при энергии Π^- - мезонов 40 ГэВ в области $0,0012 < -t < 0,0212$ (ГэВ/с)² было отобрано ~5000 событий, а при энергии 50 ГэВ в областях $0,0018 < -t < 0,0358$ (ГэВ/с)² и $0,03 < -t < 0,40$ (ГэВ/с)² около 8000 и 13000 событий соответственно.

В четвертой главе описывается вычисление поправок, необходимых для определения дифференциальных сечений с помощью отобранных событий /20/.

Применение аналогового процессора, осуществляющего выборочный запуск спектрометра, привело к потере некоторой части событий с углами рассеяния, близкими к минимальным. При вычислении этих потерь использовалось то обстоятельство, что процессор вырабатывал сигнал разрешения на запуск в каждой плоскости (XZ и YZ) независимо, причем данные об этом содержались в каждом зарегистрированном событии. Это позволило, рассматривая отобранные события, определить угловые характеристики работы процессора в каждой плоскости и с их помощью вычислить соответствующие поправки.

Определение потерь событий из-за геометрии установки проводилось моделированием упругого рассеяния в спектрометре методом

Монте-Карло. При этом использовались реальные параметры пучка, зарегистрированные в калибровочных измерениях.

С уменьшением угла рассеяния Θ возрастала ошибка определения точки взаимодействия ΔZ_{int} . Расчёт потерь событий, вызванных этим обстоятельством, основывался на использовании соотношения $\Delta Z_{int} \sim \Delta R / \Theta$, где ΔR - точность "сшивания" треков I-го и II-го блоков в мишени.

Перераспределение координатной информации позволило использовать для определения эффективности восстановления траекторий частиц отобранные события. Так, например, для определения эффективности какой-либо камеры всегда можно было найти достаточное число событий, в которых нахождение треков обеспечивалось независимо от исследуемой камеры. Высокая эффективность поиска и восстановления треков (98%) и незначительная примесь фоновых треков позволили рассчитать эту эффективность в предположении, что камеры работают независимо друг от друга. Допустимость такого предположения подтвердилась специальными исследованиями.

В данной главе описывается также определение фона от пустой мишени, неупругих событий, а в приложении приводятся поправки на поглощение пионов в спектрометре, случайные антисовпадения и т.д. При вычислении дифференциального сечения в области кулон-ядерной интерференции учитывались также эффекты многократного рассеяния в мишени /21/ и углового разрешения спектрометра ($\Delta \Theta = 0,14$ мрад) /22/.

Пятая глава посвящена определению величин ρ и B , и в ней об-суждаются полученные результаты /23,24/.

Дифференциальные сечения $\frac{d\sigma}{dt}$ в области кулон-ядерной интерференции описывались следующей формулой:

$$\frac{d\sigma}{dt} = F_c^2 / t^2 + (2 F_c / |t|) \cdot \operatorname{Im} A(t) \left[\rho \cdot \cos 2\delta - \right. \\ \left. - \sin 2\delta \right] + (1 + \rho^2) (\operatorname{Im} A(t))^2. \quad (1)$$

Здесь $\rho = \operatorname{Re} A(0) / \operatorname{Im} A(0)$ — отношение реальной части амплитуды к мнимой для упругого рассеяния вперед: δ — фаза Бете /25/; $F_c = [(2\sqrt{\pi}) e^2 / v] \cdot F$, где F — формфактор адрона, а v — скорость налетающего пиона в лабораторной системе. При выводе (1) предполагалось, что $\rho(t) \approx \rho(0)$, а

$$\operatorname{Im} A(t) = \operatorname{Im} A(0) \cdot \exp\left(-\frac{B}{2} |t|\right),$$

где величина $\operatorname{Im} A(0)$ определялась с помощью оптической теоремы из данных по полным сечениям /5/. Неизвестные параметры ρ и B находились фитированием данных по формуле (1) (см. рис.2). В результате были получены значения $\rho = -0,074 \pm 0,049$ ($0,0012 < -t < 0,0212$ (ГэВ/с)²) и $\rho = -0,007 \pm 0,036$ ($0,0018 < -t < 0,0358$ (ГэВ/с)²) при энергиях 40 и 50 ГэВ соответственно. Приведенные ошибки вычислены с учётом систематических погрешностей.

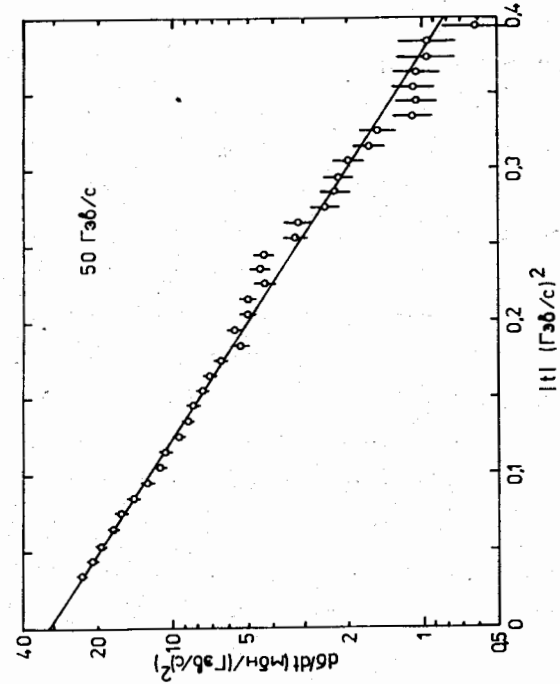
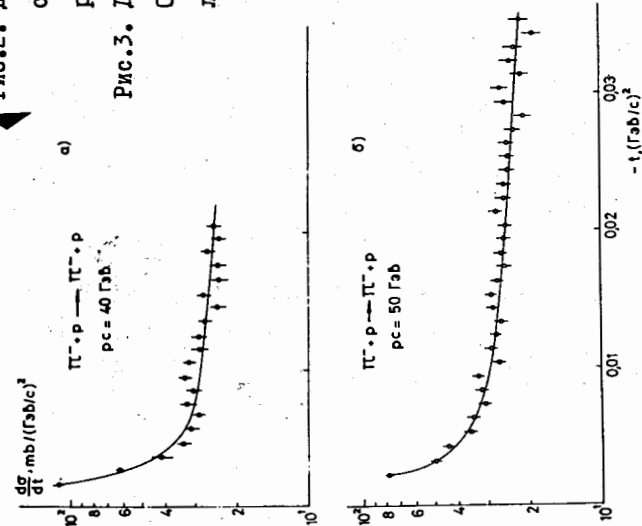
Дифференциальное сечение в области $0,03 < -t < 0,40$ (ГэВ/с)² при энергии 50 ГэВ описывалось экспоненциальной функцией

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{d\sigma}{dt} \Big|_{t=0} \cdot \exp(-B |t|). \quad (2)$$

В результате фитирования данных (рис.3) была определена величина параметра наклона $B = 9,07 \pm 0,20$ / $0,40$ (ГэВ/с)⁻². Приведенные ошибки учитывают систематическую погрешность измерений.

Полученные значения ρ и B хорошо согласуются с результатами экспериментов, выполненных независимо на том же серпуховском ускорителе, но другой методикой /26,27,28/. При этом следует учесть, что значение параметра B зависит от выбранного интервала /4,29/.

Рис.2. Дифференциальные сечения упругого π^+ -рассеяния при импульсах 40 и 50 ГэВ/с (а и б) в области кулон-ядерной интерференции. Сплошные линии-результат фитирования по формуле (1).
Рис.3. Дифференциальное сечение упругого π^+ -рассеяния в области $0,03 < -t < 0,40$ (ГэВ/с)² при импульсе 50 ГэВ/с. Сплошная линия — результат фитирования по формуле (2).



Данные настоящей работы в рамках современных теорий вполне согласуются с общей картиной адронных взаимодействий, полученной в результате экспериментов, проведенных на ускорителях в Серпухове, ЦЕРН^е и Батавии.

Основные результаты описанных в диссертации методических и физических исследований сводятся к следующему:

1. Для анализа первичной информации, накопленной на магнитных лентах, создана программа поиска и реконструкции событий.

2. Разработана программа выделения и идентификации событий упругого P^-p -рассеяния. Найдены оптимальные геометрические и кинематические критерии отбора, учитывающие характеристики спектрометра и условия проведения эксперимента.

3. Определены характеристики детекторов и другие параметры, необходимые для вычисления поправок к дифференциальному сечению. С помощью ряда программ вычислены поправки, обусловленные такими эффектами, как выборочный запуск спектрометра, геометрия установки, эффективность искровых камер и другими.

4. С помощью указанных программ обработан весь статистический материал, накопленный в ходе эксперимента. Обработка данных выполнена диссертантом в вычислительном центре ИФВЭ (Серпухов) в основном на ЭВМ ICL 1906. В результате определены дифференциальные сечения упругого P^-p -рассеяния в области $0,0012 <$

$-t < 0,0212$ (ГэВ/с)² при энергиях первичных пионов 40 ГэВ и в областях $0,0018 < -t < 0,0358$ (ГэВ/с)² и $0,03 < -t < 0,40$ (ГэВ/с)² при энергии 50 ГэВ.

5. В результате анализа дифференциальных сечений получены значения величин ρ и B , которые довольно хорошо согласуются с другими экспериментальными результатами и с предсказаниями современных теорий.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах /13, 19,20,23,24/ и докладывались на П-й Международной конференции по элементарным частицам (Экс-ан-Прованс, 1973 г.) и ХУП-й Международной конференции по физике высоких энергий (Лондон, 1974 г.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.Г.Воробьев и др. Препринт ОИЯИ, Р1-4445, Дубна (1969); Н.Н.Говорун и др. Сообщения на XV-й Международной конференции по физике высоких энергий (Наукова Думка, Киев, 1972); N.N.Govorun et al. JINR Preprint, E1-7552; A.A.Nomofilov et al. Phys.Lett. 22, 350(1966); Письма в ЖЭТФ, 6, 546 (1967).
2. А.А.Номофилов и др. Бинарные реакции адронов при высоких энергиях (Труды Международного семинара, Дубна, 3-8 июня 1971 года), стр. 192, Д-6004, Дубна, 1972.
3. K.J.Foley et al. Phys.Rev. 181, 1775(1969).
4. T.Lasinski et al. Nucl.Phys. 37B, 1(1972).
5. L.M.Vasilyev et al. Phys.Lett. 36B, 528(1971).
6. U.Amaldi et al. Phys.Lett. 44B, 112(1973); S.R.Amendolia et al. Phys.Lett. 44B, 119(1973); A.S.Carrol et al. Phys.Rev.Lett. 33, 928(1974).
7. A.S.Carrol et al. Phys.Rev.Lett. 33, 932(1974).
8. R.J.Phillips, W.Rarita. Phys.Rev. B133, 139(1965).
9. G.Nohler. ТКР 17/73, Karlsruhe, 1973.
10. К.Г.Боресков и др. ЯФ, 14, 814 (1971).
11. C.Bourrelly et al. Nucl.Phys. B67, 452(1973).
12. H.Cheng et al. Phys.Rev.Lett. 44B, 97(1973).

13. G.T.Adylov et al. JINR Preprint, E1-7934, Dubna(1974).
14. G.T.Adylov et al. JINR Report, E13-6658, Dubna(1972).
Z.Guzik et al. JINR Report, E1-5818, Dubna(1971).
15. Z.Guzik et al. Nucl.Instr. and Meth. 104, 337(1972).
16. G.T.Adylov et al. JINR Report, E1-6909, Dubna(1973).
17. Ю.Т.Борзунов и др. Препринт СИАИ, 8-5418, Дубна (1970).
18. W.Gajewski et al. JINR Preprint, E13-6659, Dubna(1972).
19. Г.Т.Адильов и др. Сообщение СИАИ, I-825I, Дубна (1974).
20. Г.Т.Адильов и др. Сообщение СИАИ, I-8250, Дубна (1974).
21. H.A.Bethe. Phys.Rev. 89, 1256(1955);
U.Fano. Phys.Rev. 93, 117(1954).
22. A.M.Cormack. Nucl.Phys. 52, 286(1964).
23. В.Д.Апокин и др. Препринт ИФВЭ, СЭФ 74-113, Серпухов (1974).
24. A.A.Derevchekov et al. Phys.Lett. 48B, 367(1974).
25. H.A.Bethe. Ann.Phys. 3, 190(1958);
G.B.West, D.R.Yennie. Phys.Rev. 172, 1415(1968).
26. Proceedings of the XVII-th Inter. Conf. on H. E. Phys.,
p. 1-25, London(1974).
27. Ю.М.Антипов и др. Препринт ИФВЭ, СЭФ 72-26, Серпухов (1972).
28. А.А.Деревщиков и др. Препринт ИФВЭ, СЭФ 73-76, Серпухов (1973).
29. Yu.M.Antipov et al. Nucl.Phys. B57, 333(1973).

Рукопись поступила в издательский отдел
12 марта 1975 г.