

С 346

A-909

ОБЪЕДИНЁННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

А.С.Ассовская

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ π^- -МЕЗОНОВ С ИМПУЛЬСОМ 7,2 Гэв/с
С ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ

(040 - экспериментальная физика)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Дубна
1969

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

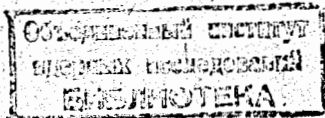
А.С.Ассовская

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ π^- -МЕЗОНОВ С ИМПУЛЬСОМ 7,2 Гэв/с
С ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ

(ОФФ - экспериментальная физика)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук



Дубна
1969

64986p

Работа выполнена в Физико-техническом институте имени А.Ф.Иоффе АН СССР.

Научные руководители:
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник ЛЕПЕХИН Ф.Г.,
кандидат физико-математических наук,
доцент ОСТРОУМОВ В.И.

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук,
профессор БАРАШЕНКОВ В.С.,
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник ГРИШИН В.Г.

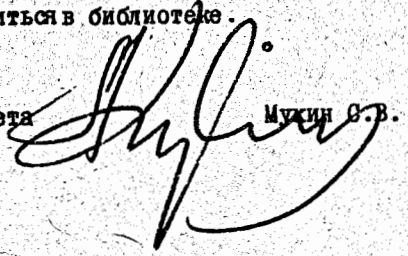
Ведущее предприятие - Радиовый институт им.В.Г.Хлопина.

Автореферат разослан "2" X 1969 г.

Защита диссертации состоится "20" XI 1969 г.
на заседании Учёного Совета Лаборатории высоких энергий,
г.Дубна Московской области, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке.

Учёный секретарь Совета



Музин Г.В.

Ядерные взаимодействия частиц высоких энергий в настоящее время представляются менее исследованными, чем нуклонные. Между тем, знание процессов, происходящих при столкновении частиц с атомными ядрами, имеет не только чисто научное, но также методическое и прикладное значение.

Взаимодействие быстрых частиц с ядром является сложным процессом, включающим как большое число столкновений с отдельными нуклонами, так и взаимодействие с ядром, как с целым. Точное описание этого процесса является трудной и пока нерешённой задачей. Поэтому в современной ядерной физике играют большую роль различные модельные представления, с помощью которых можно приближенно описать отдельные стороны явлений, происходящих при взаимодействии частиц с ядрами.

Реферлируемая работа посвящена исследованию взаимодействия π^- -мезонов с импульсом 7,2 Гэв/с с ядрами фотозумльсии. Диссертация состоит из четырёх глав.

В первой главе даётся обзор современного состояния вопроса о взаимодействии быстрых частиц с ядрами. Основные свойства ядерных взаимодействий: множественности вторичных частиц, их природа, угловые и энергетические распределения обсуждаются с позиций модели ядерного каскада, находящейся в хорошем согласии с результатами большинства экспериментов.

Вторая глава посвящена описанию методики исследования пион-ядерных взаимодействий. Ядерные взаимодействия π^- -мезонов изучались с помощью эмульсионной камеры, состоящей из 40 слоёв эмульсии НИКФИ-Р размером $10 \times 10 \text{ см}^2$ и толщиной 400 микрон; облученной потоком отрицательных π^- -мезонов с импульсом 7,2 Гэв/с на синхрофазотроне ОИЯИ (г.Дубна).

В результате просмотра по площади $15,3 \text{ см}^3$ эмульсии было зарегистрировано 395 ядерных взаимодействий, удобных для измерения. (Под удобством для измерения подразумевалось наличие в звезде хотя бы одного следа быстрой частицы с тангенсом угла наклона, не превышающим 0,1.) 244 события с числом серых и чёрных следов $N_H > 8$, либо с видимым следом ядра отдачи были отнесены к соударениям первичных π^- -мезонов с тяжёлыми ядрами

эмульсии Ag, Br. Остальные звёзды представляли собой взаимодействия π -мезонов с ядрами лёгкой группы C, N, O с некоторой примесью периферических соударений с ядрами Ag, Br.

Для выяснения характеристик ядерных взаимодействий в каждой звезде производились измерения множественностей всех вторичных частиц; угловые измерения на следах частиц с относительной ионизацией $J/J_0 \leq 6,8$; идентификация частиц с $J/J_0 \leq 6,8$, имеющих тангенс угла наклона к плоскости эмульсии, не превышающий 0,1.

Геометрические измерения состояли в определении координат двух точек следа и последующем вычислении $\cos \varphi_i$ (φ_i - угол вылета i -частицы по отношению к направлению первичного π -мезона). Измерения осуществлялись на микроскопе МИРЭ-1, вычисления - на электронно-вычислительной машине ЭВМ "Минск-22". Программа позволяла получить косинусы углов между двумя любыми вторичными частицами.

Для идентификации было отобрано 477 следов быстрых ($J/J_0 \leq 1,5$) и около 100 следов серых ($1,5 < J/J_0 \leq 6,8$) частиц. Идентификация производилась по измерению относительной ионизации и многократного кулоновского рассеяния.

Ионизационным измерениям предшествовала методическая работа по выбору наилучшего ионизационного параметра. Хорошо известно, что средняя или вероятная длина просветов между зёрнами, образующими след частицы, является гораздо лучшим ионизационным параметром, чем плотность сгустков зёрен. Измерения спектров просветов, выполненные для группы следов и обработанные с применением метода наименьших квадратов на ЭВМ, показали, что наиболее вероятная длина просветов имеет относительную ошибку, примерно в два раза меньшую той, которая получается при непосредственном счёте сгустков [1,2]. Однако большая трудоёмкость метода измерения спектра просветов, препятствующая широкому его использованию, требует автоматизировать не только обработку информации (что достигается использованием ЭВМ), но и процесс её съёма. То есть координаты границ просветов и сгустков должны быть при измерении записаны в виде, пригодном для ввода в электронно-вычислительную машину. Это осуществляется на полу-

автоматических микроскопах МИРЭ и МИГЭ, имеющих выход на перфоратор и позволяющих повысить скорость измерений примерно в 4 раза. Однако отсутствие эффективного контроля за правильностью записи информации и ряд других причин делают метод измерения спектров просветов недостаточно надёжным для серийных измерений.

Поэтому относительная ионизация, производимая частицами в эмульсии, определялась с помощью счёта сгустков. Для нормировки была использована плотность сгустков на следах π -мезонов пучка. Ионизация первичных π -мезонов измерялась во всех слоях камеры при различных глубинах погружения следов. Измерения на вторичных следах проводились только в середине эмульсионного слоя на глубинах, отстоящих от стекла и от поверхности слоя на 50 мк, где ионизация первичных частиц в пределах данного слоя была практически постоянной. Для обеспечения необходимой статистической точности (2-3%) следы вторичных частиц прослеживались в соседние слои камеры.

Измерение многократного кулоновского рассеяния осуществлялось координатным методом на микроскопе МИРЭ-1 с обработкой результатов измерения на ЭВМ "Минск-22" [3]. Микроскоп "МИРЭ-1", разработанный Ленинградским объединением оптико-механических предприятий (ЛОМП) совместно с Физико-техническим институтом имени А.Ф.Иоффе АН СССР, является специализированным прибором для измерения многократного кулоновского рассеяния частиц в фотоэмульсии с выводом цифровой информации на бумажную ленту для её последующей обработки на ЭВМ "Минск-22". Опыт работы на микроскопе "МИРЭ-1" показал, что скорость съёма и обработки информации при использовании этого прибора увеличивается в 10-15 раз по сравнению с измерениями на микроскопе "МБИ-8М" [4].

Измерение рассеяния производилось на одной из основных ячеек 250 мк, или 100 мк, но в зависимости от ожидаемой величины $\rho\beta c$ частицы (ρ - импульс частицы, β - её относительная скорость) при вычислениях использовались ячейки, кратные основным. Такая коррекция длины ячейки была необходима для выполнения соотношения между наблюдаемым сигналом и шумом:

$$\frac{D_{\text{сигн}}}{D_{\text{ш}}}}{\geq 4}$$

Учёт шумов микроскопа и ложного рассеяния производился индивидуально для каждого следа вторичной частицы по измерениям на следах π -мезонов пучка. Так же, как и в случае ионизационных измерений, для обеспечения необходимой статистической точности производилось прослеживание следов вторичных частиц в соседние слои камеры. Общая длина следа, на которой измерялось многократное кулоновское рассеяние, зависела от импульса частицы и, следовательно, от используемой длины ячейки и составляла от 1 до 3 см.

Для определения природы частиц использовалась зависимость от носительных потерь энергии на ионизацию от величины $\rho_{\text{рс}}$, рассчитанная для эмульсии НИКФИ-Р [5].

Для обработки результатов измерений, выполненных на треке частицы, был составлен и отлажен комплекс программ для ЭВМ "Минск-22". Система программ позволяла вычислять следующие величины:

- 1) вторые координатные разности, выбор оптимальной длины ячейки для вычисления $\rho_{\text{рс}}$, учёт шумов и ложного рассеяния, величину $\rho_{\text{рс}}$ и её ошибки;
- 2) скорость, импульс и энергию частицы;
- 3) пространственный угол вторичной частицы по отношению к π -мезону пучка;
- 4) перевод углов и импульсов в с.ц.и.; поперечные импульсы; перевод углового распределения частиц в координаты $\log \sigma \vartheta_{\text{лов}}$; эффективные массы в системе двух частиц.

В третьей главе обсуждаются основные результаты изучения π -ядерных взаимодействий при энергии 7 Гэв. Множественности вторичных частиц, представленные в таблице I, хорошо согласуются с данными других авторов.

Среди идентифицированных быстрых частиц были обнаружены π -мезоны, K-мезоны, протоны, ядра дейтерия и трития и электроны [6-10]. Природа быстрых частиц, образованных на ядрах эмульсии, исследовалась рядом авторов [11-13]. Однако статистика идентифицированных в этих работах треков была невелика и количественного сравнения с результатами настоящей работы провести не удалось из-за различных условий экспериментов.

Таблица I

Множественности вторичных частиц

Взаимодействие	\bar{n}_s	\bar{n}_q	\bar{n}_6	
π - среднее ядро эмульсии	} $n_s \geq 1$	$3,5 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,1$	$9,0 \pm 0,6$
π - Ag, Br				
π - среднее ядро эмульсии	} все звезды	$2,1 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,1$	$7,3 \pm 0,3$
π - Ag, Br				

Преобладание π -мезонов среди быстрых частиц может служить указанием на качественное согласие результатов настоящего эксперимента с предсказаниями гидродинамической теории множественного рождения частиц. Небольшая примесь электронов, наблюдаемых в звездах парами, совместима с оценкой числа пар Далица, появляющихся при распаде π^0 -мезонов. Наблюдение ядер дейтерия и трития больших энергий в совокупности с данными [12,13], хотя и не даёт однозначного ответа на вопрос о механизме их генерации, но позволяет сузить круг гипотез, описывающих это явление. Не исключено, что некоторая часть тяжёлых однозарядных частиц образуется в результате многочастичных взаимодействий [14]. Экспериментальные данные позволили определить сечение генерации заряженных K-мезонов с импульсом 1200 Мэв/с на ядрах Ag, Br, которое составляет ~64 мбн. Эта величина несколько превышает оценку сечения, полученную по модели ядерного каскада с учётом выхода заряженных K-мезонов [15].

Анализ звёзд, в которых было идентифицировано два заряженных K-мезона, привёл к выводу, что треки этих частиц с большой вероятностью принадлежат K-мезонам различных зарядов. Сечение об-

разования пар K^+K^- мезонов на ядрах Ag, Br с учётом геометрических поправок оказалось равным ~ 8 мбн. Эта оценка находится в хорошем согласии с величиной (9 ± 3) мбн, полученной для сечения рождения K^+K^- мезонов на ядрах Xe π^- -мезонами с импульсом 2,8 Гэв/с [16].

Угловые распределения π^- -мезонов, K^- -мезонов и протонов в л.с. сильно вытянуты вперёд: 60-70% частиц вылетают в интервале $\cos\varphi = 1,0 - 0,8$. Расчёт угловых распределений этих частиц методом Монте-Карло по модели ядерного каскада для взаимодействий π^- -Br при энергии 7 Гэв [15] даёт удовлетворительное согласие с экспериментом.

Ещё одно экспериментальное доказательство справедливости модели ядерного каскада в случае средних и тяжёлых ядер может быть получено из рассмотрения угловых распределений вторичных частиц в системе первичный π^- -мезон - нуклон. Как известно, в основе каскадной модели лежит идея одиночных соударений первичной частицы с нуклонами ядра-мишени. Полученные в нашей работе угловые распределения π^- -мезонов и протонов в с.ц.и. первичного пиона и нуклона-мишени совпали с угловыми распределениями этих частиц в с.ц.и в случае πN взаимодействий при энергии 7 Гэв [17].

Угловое распределение быстрых частиц, представленное в координатах $\log \text{ctg} \Theta_{\text{лос}}$, позволяет проследить изменение параметров распределения для частиц, генерированных в ядерных взаимодействиях, при изменении энергии первичной частицы от 7 Гэв до 24 Гэв [18].

Поперечные импульсы вторичных частиц, образованных в ядерных взаимодействиях, рассматриваются в четвёртой главе. Экспериментально определённые значения поперечных импульсов идентифицированных частиц представлены в таблице 2.

Хотя ошибки велики, заметна тенденция к увеличению средних значений поперечных импульсов с ростом массы частицы. Эти результаты находятся в хорошем согласии с данными Джейна и др. [12], полученными в ядерной эмульсии, но при других значениях энергии первичных частиц. В работе [12] приводятся суммарные данные для ядерных взаимодействий π^- -мезонов с энергией 16 Гэв и протонов

Таблица 2

Поперечные импульсы быстрых частиц, генерированных во взаимодействиях пионов с ядрами при энергии 7 Гэв

Природа частиц	\bar{p}_\perp (Гэв/с)	
	π^- -Ag, Br	π^- -ядро эмульсии
π^- -мезоны	$0,15 \pm 0,01$	$0,16 \pm 0,01$
K^- -мезоны	$0,25 \pm 0,03$	$0,26 \pm 0,02$
p	$0,39 \pm 0,06$	$0,34 \pm 0,05$
d	$0,54 \pm 0,22$	$0,50 \pm 0,22$
t	$1,17 \pm 0,55$	

с энергиями 6 и 27 Гэв. Однако значения \bar{p}_\perp , полученные в настоящей работе, приблизительно в два раза меньше, чем средние поперечные импульсы соответствующих частиц, найденных в эмульсии, облученной в сильном магнитном поле [19,20]. Это различие объясняется методическими причинами: в эмульсии, экспонированной без магнитного поля, идентификация частиц с импульсами, большими 2 Гэв/с, затруднена, так как такие частицы практически не различимы по ионизации. Но с увеличением энергии вторичных частиц, как было замечено в работе [19] имеет место возрастание их средних поперечных импульсов. Таким образом, можно ожидать, что опыты без магнитного поля дают заниженные значения \bar{p}_\perp .

Возрастание величины \bar{p}_\perp с увеличением массы частиц, генерированных в ядерных взаимодействиях (см. таблицу 2) является характерным для взаимодействий π^- -мезонов и протонов с нуклонами [21]. Нами была сделана попытка найти количественные характеристики этой зависимости. Для расчётов использовались наши результаты и усредненные по литературным данным значения \bar{p}_\perp для

π -мезонов, K -мезонов, протонов, гиперонов, d , t и ряда резонансов, образованных во взаимодействиях пионов и протонов с нуклонами и ядрами. Зависимость \bar{p}_\perp от массы частиц аппроксимировалась линейной функцией вида: $\psi = A_x + B$. Вычисления производились на ЭВМ "Минск-22" методом наименьших квадратов.

Расчёты показали, что зависимость средних поперечных импульсов от массы частиц носит одинаковый характер во всех рассмотренных типах взаимодействий, причём наблюдается уменьшение средних поперечных импульсов одинаковых частиц при переходе от πN -взаимодействий к pN .

Таблица 3

Зависимость средних поперечных импульсов от массы частиц, аппроксимированная функцией $\psi = A_x + B$

Тип взаимодействия	A	B	Число точек	χ^2
πN	0,17	285,4	10	19,6
$p N$	0,21	188,0	5	13,3
π - ядро эмульсии	0,21	129,2	6	0,74

Это обстоятельство показывает, что необходимо с осторожностью использовать в методических целях постоянство поперечного импульса, учитывая тип взаимодействия и методику эксперимента.

Зависимость средних поперечных импульсов от массы вторичных частиц и природы частиц, вызывающих взаимодействия, требует более дифференцированного подхода при поиске аналитического выражения для распределения по величине p_\perp , наилучшим образом удовлетворяющего экспериментальным данным. Для сравнения с рядом теоретических распределений по величине поперечного импульса было отобрано около 40 экспериментальных распределений вторичных частиц из взаимодействий пионов с нуклонами и ядрами. Так как величина \bar{p}_\perp , как указывалось выше, чувствительна к ряду параметров, опре-

деляющих тип взаимодействия, для анализа были отобраны p_\perp -распределения для частиц одного типа. Энергия первичных π -мезонов изменялась в интервале 4,4 - 25 ГэВ. В этих пределах величина \bar{p}_\perp для частиц с определённой массой остаётся постоянной. Экспериментальные спектры были сопоставлены со следующими зависимостями:

$$dN(p_\perp) = A p_\perp \exp(-B p_\perp) dp_\perp, \quad (1)$$

$$dN(p_\perp) = A p_\perp^2 \exp(-B p_\perp^2) dp_\perp, \quad (2)$$

$$dN(p_\perp) = A p_\perp^{3/2} \exp(-B p_\perp) dp_\perp, \quad (3)$$

$$dN(p_\perp) = \alpha^3 p_\perp^2 \exp(-\alpha p_\perp) dp_\perp. \quad (4)$$

Параметры A , B , α в уравнениях (1-4), наилучшим образом соответствующие экспериментальным распределениям, вычислялись методом наименьших квадратов на ЭВМ "Минск-22". Для выбора аналитического распределения, которому подчиняются экспериментальные спектры, использовался критерий χ^2 с уровнем значимости 0,05. Результаты расчётов показали, что подобрать единое аналитическое выражение из рассмотренных уравнений (1-4), справедливое для всех типов частиц, генерированных при взаимодействии пионов с нуклонами и ядрами, не удалось даже при более строгом и дифференцированном подходе к отбору событий.

Можно искать для объяснения этого явления физические основания: различный механизм образования частиц в π -нуклонных и π -ядерных взаимодействиях; существование закона распределения по величине p_\perp , отличного от рассматриваемых, и т.д. Однако к отрицательному результату могут привести и методические причины. Так как около половины проанализированных p_\perp -распределений получено в опытах без использования магнитного поля, то естественно, что при построении указанных спектров не учитывались поперечные импульсы значительной доли (около 30%) неидентифицированных частиц, в основном высокоэнергичных. Это не могло не привести к искажению p_\perp -распределений. Действительно, распределения по величине поперечного импульса в случае взаимодействия π -мезонов с ядрами

A_g, B_r при энергии 7 Гэв (без магнитного поля) и 17 Гэв (с магнитным полем) [19] отличаются - спектр частиц, исследовавшихся без магнитного поля, обеднён в области больших p_{\perp} . Искажение спектров в высокоэнергичной области делает невозможной аппроксимацию p_{\perp} -распределений единой формулой.

Основные результаты работы

1. Исследованы ядерные взаимодействия, вызываемые π^- -мезонами с импульсом 7,2 Гэв/с в фотоэмульсии:

- а) получены основные характеристики взаимодействий π^- -мезонов с импульсом 7,2 Гэв/с с ядрами A_g, B_r ;
- б) определены природа и угловые распределения вторичных частиц с относительной ионизацией $\leq 6,8$;
- в) показано, что угловые распределения вторичных частиц находятся в удовлетворительном согласии с расчётами, выполненными по модели ядерного каскада методом Монте-Карло;
- г) произведена оценка сечения генерации заряженных K^- -мезонов на ядрах A_g, B_r ;
- д) определены поперечные импульсы вторичных быстрых частиц, генерированных в ядерных взаимодействиях.

2. На основании проведённого эксперимента и имеющихся литературных данных показано, что для $\pi N, pN$ и π^- -ядерных взаимодействий в интервале энергий первичных частиц от 4 до 30 Гэв имеет место линейное возрастание средних значений поперечных импульсов как функции массы частицы. Это ставит под сомнение правомерность использования постоянства поперечного импульса в методических целях - для идентификации частиц.

3. Произведён анализ экспериментальных распределений по величине поперечного импульса различных частиц из взаимодействий пионов с нуклонами и ядрами (по результатам настоящей работы и литературным данным) с целью поиска аналитического выражения, наилучшим образом описывающего экспериментальные p_{\perp} -распределения.

4. Разработана методика измерения многократного кулоновского рассеяния на первом отечественном полуавтоматическом микроскопе для измерений в ядерной эмульсии "МИРЭ-1". Доказано, что использование микроскопа "МИРЭ-1" совместно с электронно-вычислительной машиной позволяет ускорить процедуру измерения многократного кулоновского рассеяния и обработки результатов в 10-15 раз.

5. Составлен и отлажен комплекс универсальных программ для ЭВМ "Минск-22", позволяющих на основании выполненных при помощи микроскопа "МИРЭ-1" измерений относительной ионизации, многократного кулоновского рассеяния и геометрии трека частицы вычислять ряд интересующих экспериментатора физических величин: вторые координатные разности, $p_{\perp} c$, импульсы, массы, энергии частиц, пространственные углы вылета частиц по отношению к пучку; угловые и импульсные распределения вторичных частиц в с.ц.и., поперечные импульсы и т.д.

Результаты работы неоднократно обсуждались на заседаниях фотоэмульсионного комитета ОИЯИ [2,9,10].

Основное содержание диссертации опубликовано и доложено в работах [1-4,6-10].

Цитированная литература

1. А.С.Ассовская, Ф.Г.Лепехин. Успехи научной фотографии, 12, 147, 1966.
2. А.С.Ассовская, Ф.Г.Лепехин. Материалы IX собрания комитета по фотоэмульсионным работам, P-1535, ОИЯИ, Дубна, 1963.
3. А.С.Ассовская, Ф.Г.Лепехин, М.М.Макаров, Р.М.Рагузин, Г.Е.Скворцов, Н.М.Фёдорова. Успехи научной фотографии, 12, 134, 1966.
4. А.С.Ассовская, Ф.Г.Лепехин, К.М.Ушаков. Материалы 2-го Симпозиума по ядерной электронике. Дубна, XI, 10, 1964.
5. И.Б.Беркович, А.П.Жданов, Ф.Г.Лепехин, З.С.Хохлова. ЖЭТФ, 44, 3, 793, 1963.
6. А.С.Ассовская, Ф.Г.Лепехин. Я.Ф., 2, 2, 248, 1965.
7. А.С.Ассовская, Ф.Г.Лепехин. Я.Ф., 3, 5, 487, 1966.
8. А.С.Ассовская, В.И.Остроумов. Я.Ф., 9, 1, 160, 1969.
9. А.С.Ассовская, В.И.Остроумов. Материалы сообщений на XXI, XXII и XXIII совещаниях фотоэмульсионного комитета, P-3974, ОИЯИ, Дубна, 1968.
10. А.С.Ассовская, Ф.Г.Лепехин. Аннотации сообщений на XIII совещании комитета по фотоэмульсионным работам, P-2016, 16, ОИЯИ, Дубна, 1965.
11. H.H.Aly, J.D.Duthie, C.M.Fisher. Phyl. Mag. 4, 45, 993, 1959.
12. P.L.Jain, H.C.Glahe, J.D.Rinaldo, P.D.Bharadway. Nuovo Cimento, 32, 4, 873, 1964.
13. M. Svejthey-Barth. Nuovo Cimento, 32, 3, 545, 1964.
14. И.З.Артыков, В.С.Барашенков, С.М.Елисеев. Изв. АН СССР, серия физическая, 32, 350, 1968.

15. В.А.Беляков, А.В.Бояджиев, Н.М.Вирясов, В.М.Мальцев. P-1584, ОИЯИ, 1964.
16. И.А.Ивановская, Е.В.Кузнецов, А.Прокеш, И.В.Чувило. ЖЭТФ, 44, 5, 1456, 1963.
17. Н.Г.Биргер, Ван Ган-чан и др. P-789, ОИЯИ, Дубна, 1961.
18. J.Bogdanowicz, P.Coic, Z.Galster et al. Report N 367/VI, Warsaw, 1962.
19. L.Hoffman, N.K.Rao, M.A.Shaukat et al. Nucl.Phys., 66, 3, 657, 1965.
20. С.А.Азимов, Л.П.Чернова, Г.М.Чернов. Я.Ф., 9, 3, 604, 1968.
21. В.С.Барашенков, В.М.Мальцев. P-2784, ОИЯИ, Дубна, 1966.