

3-937



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**  
**ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ**

1 - 7637

**ЗУЛЬКАРНЕЕВ**  
**Рафаиль Якубович**

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЯДА ПРОБЛЕМ**  
**ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОТОНОВ С ПРОТОНАМИ**  
**НА ПОЛЯРИЗОВАННОМ И НЕПОЛЯРИЗОВАННОМ ПУЧКАХ**  
**С ЭНЕРГИЯМИ 600 - 650 МЭВ**  
**И ОДНОЗНАЧНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ МАТРИЦЫ**  
**УПРУГОГО РР-РАССЕЯНИЯ ПРИ ЭНЕРГИИ 635 МЭВ**

**Специальность - 01.04.01. - экспериментальная физика**

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени доктора физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1973

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
С.М.БИЛЕНЬКИЙ (ЛТФ ОИЯИ, Дубна),  
доктор физико-математических наук  
В.А.ДЖЕБИМОВ (ИТЭФ, г. Москва),  
доктор физико-математических наук  
Р.М.СУЛЯЕВ (ИФВЭ, Серпухов)

Ведущее предприятие - Институт атомной энергии  
им. И.В.Курчатова, г. Москва

Автореферат разослан " " \_\_\_\_\_ 1974 г.

Защита диссертации состоится в час. " " \_\_\_\_\_ 1974 г.  
на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета -  
кандидат физ.-мат. наук

Ю.А.БАТУСОВ

1 - 7637

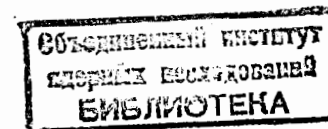
ЗУЛЬКАРНЕЕВ  
Рафаиль Якубович

ИССЛЕДОВАНИЕ РЯДА ПРОБЛЕМ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОТОНОВ С ПРОТОНАМИ  
НА ПОЛЯРИЗОВАННОМ И НЕПОЛЯРИЗОВАННОМ ПУЧКАХ  
С ЭНЕРГИЯМИ 600 - 650 МЭВ  
И ОДНОЗНАЧНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ МАТРИЦЫ  
УПРУГОГО РР-РАССЕЯНИЯ ПРИ ЭНЕРГИИ 635 МЭВ

Специальность - 01.04.01. - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



## В В Е Д Е Н И Е

Программа исследований  $N/N$  -взаимодействий на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ основана на феноменологических подходах к этой проблеме. С момента запуска синхротрона по настоящее время в этом направлении в ЛЯИ был выполнен обширный комплекс исследований, который включал в себя постановку большого числа сложных опытов по рассеянию нуклонов нуклонами и последующий анализ экспериментального материала. Особенно детально на синхротроне изучался процесс упругого соударения двух протонов в интервале энергий 600–660 Мэв, для которого уже к 1962 г. был завершен "полный нормальный опыт". Первые же анализы, выполненные в 1963–1966 гг автором и другими исследователями<sup>/1-6/</sup>, показали, что экспериментальная информация, имевшаяся к этому времени о  $pp$ -взаимодействии в области 600–670 Мэв, еще недостаточна для однозначного решения проблемы восстановления матрицы упругого  $pp$ -рассеяния методом фазового анализа<sup>х)</sup>. В результате этих анализов стало ясно также, что большая часть данных, составлявших экспериментальную основу при проведении ранних попыток фазового анализа (ф.а.), нуждается в существенном уточнении<sup>/1,2,5-7/</sup>.

С учетом этих обстоятельств на синхротроне ЛЯИ ОИЯИ в 1965–1972 гг автором и его коллегами была выполнена большая программа опытов по измерению с высокой степенью точности ряда

---

х) Если  $l_{max} \gg 4$ , а мезообразование учитывается в  ${}^3P_{0,1,2}$ ,  ${}^1D_2$  и  ${}^3F_{2,3,4}$  - состояниях.

важных поляризационных характеристик, описывающих спиновое состояние частиц при упругом протон-протонном взаимодействии с энергией 635 Мэв. Благодаря этим опытам, в среднем, от 2-х до 8 раз была повышена точность в экспериментах по определению параметров  $D_{nn}$ ,  $K_{nn}$  и  $\mathcal{C}$  /6,8-10/, был впервые измерен параметр  $\mathcal{P}$  и проверен принцип Т-инвариантности в  $pp$ -рассеянии с энергией 635 Мэв /11/, найдена угловая зависимость сечения  $pp$ -рассеяния в области кулон-ядерной интерференции при той же энергии /12/ и т.д. /13/.

Эти данные позволили обновить большую часть экспериментального материала по упругому  $pp$ -рассеянию при энергии 635 Мэв и выполнить однозначный фазовый анализ процесса упругого рассеяния протонов протонами при этой энергии /14/. Таким образом, впервые удалось решить проблему однозначного восстановления матрицы упругого  $pp$ -рассеяния в той области энергий, где нельзя пренебрегать процессами мезообразования<sup>х)</sup>.

Реферлируемая диссертация посвящена описанию результатов, полученных ее автором при решении ряда важных вопросов физики  $NN$ -взаимодействий, связанных с изучением проблемы Т-инвариантности ядерных сил, проверкой дисперсионных соотношений и, наконец, с проблемой однозначного восстановления матрицы упругого  $pp$ -рассеяния при энергиях 635-600 Мэв методом фазового анализа. В связи с нуждами проведения совместного анализа данных по упругому и неупругому  $pp$ -взаимодействиям в работе опи-

х) При энергии 435 Мэв, равно как и при 310 Мэв мезообразование, практически, не усложняет задачу восстановления матрицы  $pp$ -рассеяния /16/.

саны также результаты исследований процесса  $pp \rightarrow \pi^+ n p$  на пучке протонов с энергией 650 Мэв /15/. Результаты этих исследований вместе с нашим описанием процесса упругого  $pp$ -рассеяния помогают воссоздать общий вид феноменологической картины взаимодействия двух протонов между собой в области энергий вдали от порога мезообразования.

Диссертация состоит из трех глав, приложений к ним и заключения, и выполнена на основе работ /1,2,6-15,41/, большая часть которых докладывалась на международных и всесоюзных конференциях.

#### Глава I. Восстановление матрицы упругого $pp$ -рассеяния в области энергий 630-660 Мэв /1, 2, 6, 7/

Гл. I начинается с обзора и анализа экспериментальной ситуации, сложившейся ко времени проведения самых первых попыток ф.а.  $pp$ -рассеяния в районе 630-660 Мэв, т.е. к 1963-1964 гг /1-5/. Выводы этого раздела необходимы для обоснования исходных посылок этих анализов. В частности, из рассмотрения проведенного в § I.1, видно, что модифицированный анализ  $pp$ -рассеяния при этих энергиях следует проводить при  $l_{max} \geq 4$ , а учет неупругих переходов в начальной системе протонов необходим в  ${}^3P_{0,1,2}$ ,  ${}^1D_2$  и  ${}^3F_{2,3,4}$  - состояниях.

В § I.2 и приложениях к нему дается математический аппарат ф.а.; обсуждается параметризация  $S$ -матриц и предлагается обобщение известной параметризации Стаппа на более общий случай анализа, когда оказываются открытыми неупругие каналы реакции соударения двух нуклонов. Эта наша параметризация /1/ нашла широкое применение в дубненских и других работах по ф.а.  $pp$ -рассеяния за порогом мезообразования.

В заключительных разделах этой главы излагаются основные результаты ранних попыток автора по восстановлению ф.с.<sup>х)</sup> pp-систем при энергиях 630-660 Мэв<sup>1,2/</sup>, доказывається неоднозначность ф.а. 1964-1967 гг<sup>6,7/</sup> и даются сравнения с данными других авторов, полученными позднее или одновременно и независимо от нас<sup>3-5,17/</sup>. Отмечается, что наш вывод о неоднозначности ф.а., выполненного с учетом мезонообразования в  ${}^3P_{0,1,2}$ ,  ${}^1D_2$  и  ${}^3F_{2,3,4}$  состояниях<sup>6,7/</sup>, был впоследствии полностью подтвержден в работах других авторов<sup>18,19/</sup>. В связи с этой неоднозначностью нами был также выполнен (см § 1.4) совместный анализ данных по упругому pp-рассеянию и процессов мезонообразования с учетом полных<sup>и др</sup> сечений реакций  $pp \rightarrow \pi^+d$ ,  $\pi^+np$  и  $\pi^0pp$  при энергиях 635-660 Мэв<sup>11/</sup>. Этот наш анализ показал, что учет экспериментальной информации о процессах мезонообразования, выполненный в рамках известной резонансной модели Манделштама, не позволяет существенно изменить число фазовых наборов, описывающих упругое рассеяние протонов при энергиях 635-660 Мэв. Результаты наших исследований<sup>2,6,7/</sup> помогли сформулировать программу дальнейших экспериментов, необходимых для восстановления матрицы упругого pp-рассеяния при энергиях 635 Мэв (см. § 1.5).

Глава II. Экспериментальные исследования на поляризованном и неполяризованном пучках протонов с энергией 600-630 Мэв<sup>6,8-14/</sup>

В § 1.5 отмечается, что для достижения большей однозначности ф.а. упругого pp-рассеяния в районе энергий 635-660 Мэв

х) фазовых сдвигов

в первую очередь следовало существенно уточнить угловые зависимости параметров  $D_{pp}(\vartheta)$  и  $K_{pp}(\vartheta)$ , информация о которых к рассмотренному моменту времени была чрезвычайно бедной при этих энергиях<sup>20/</sup>. Как следствие этих уточнений возникала необходимость в постановке повторных и более точных измерений параметра асимметрии  $Q(\vartheta)$  при тех же энергиях. Наконец, наш анализ<sup>7/</sup> совершенно ясно показывал (см. рис. За)<sup>х)</sup>, что знание угловых зависимостей дифференциального сечения pp-рассеяния в интервале углов 5-15° с.м. особенно важно для сокращения неоднозначности фазового анализа при энергиях 630-660 Мэв.

В § (2.1-2.6) описаны экспериментальные исследования автора по измерениям упомянутых выше величин и некоторых других спиновых параметров, описывающих pp-рассеяние. Большая часть этих измерений была выполнена в т.н. "поляризационной лаборатории" на поляризованном пучке протонов с энергией 635 Мэв<sup>8/</sup>.

В результате большого комплекса вспомогательных измерений, частично описанных в § 2.1 и 2.2, была проверена величина энергии этого пучка<sup>8/</sup>, которая оказалась равной  $(633 \pm 9)$  Мэв и хорошо совпадала с более ранним определением этой величины<sup>21/</sup>. Уточнение поляризации пучка дало величину  $P_{\text{пуч}} = 0.425 \pm 0.013$ <sup>8/</sup>, которая также оказалась в хорошем соответствии с результатами косвенных измерений работы<sup>21/</sup>. Кроме этого, в целях более корректного и полного учета ряда ложных эффектов, которые могут

х) Здесь и всюду ниже ссылку на табл... или рис... следует понимать как ссылку на таблицу или рисунок в диссертации автора. В отличие от этого слова граф. на рис... относятся к рисункам в настоящем автореферате.

возникать при измерении параметров  $Q(\vartheta)$ ,  $D_{np}(\vartheta)$ ,  $K_{np}(\vartheta)$  и т.д., нами были тщательно исследованы некоторые другие эксплуатационные характеристики поляризованного пучка в "поляризационной лаборатории".

В § 2.3 излагаются результаты исследования параметра асимметрии  $Q(\vartheta)$ . Этот параметр найден нами в опыте по "двойному рассеянию" протонов с энергией 635 Мэв методом измерения лево-правой асимметрии рассеяния  $\epsilon = P_{пуч} \cdot Q(\vartheta)$  неполяризованного пучка протонов на неполяризованной мишени<sup>/6/</sup>.

Угловая зависимость  $Q(\vartheta)$  определена в широком диапазоне углов со средней ошибкой  $\approx 0.014$  при возможной систематической погрешности около 0.009 (см. результаты, приведенные в табл. I4 и на граф. рис. 1,2). Как видно, данные наших измерений параметра  $Q(\vartheta)$  хорошо согласуются с результатами более ранних исследований этой величины, полученными М.Г. Мещеряковым<sup>/21/</sup>, Ван Россумом, Чемберленом и др.<sup>/22/</sup> при близких энергиях, и являются наиболее точными в интервале энергий от  $\approx 220$  Мэв и выше.

Коэффициенты  $D_{np}$  и  $K_{np}$  находились нами в опыте по "тройному рассеянию" протонов, описание которого дается в § 2.4 диссертации. Измерения выполнялись при энергии 635 Мэв<sup>/9,10/</sup>. При постановке этого эксперимента автором был применен, обычно редко используемый в практике, метод одновременного измерения двух асимметрий тройного рассеяния  $\epsilon_{3\pm}$ , соответствующих двум возможным направлениям нормали  $\vec{n}_2$  к плоскости второго рассеяния протонов (см. ф-лы (2.10+2.12) и рис. 9 диссертации). Знание двух экспериментально независимых величин  $\epsilon_{3+}$  и  $\epsilon_{3-}$  позволяет из опыта нахо-

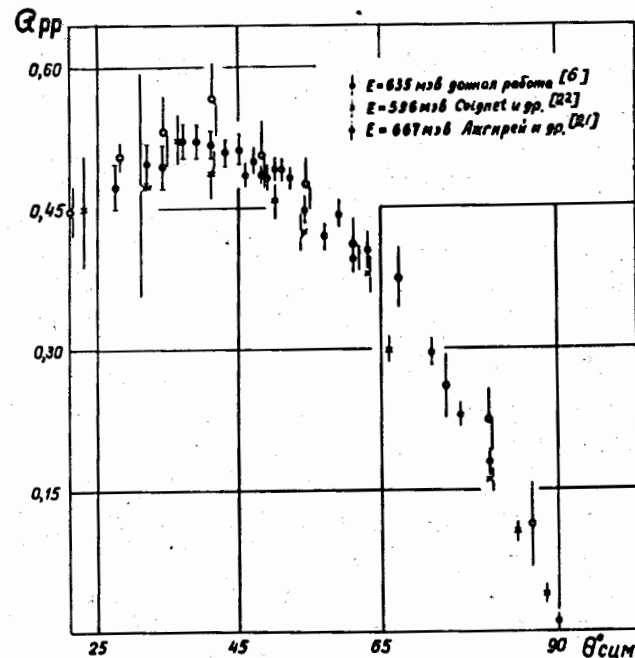


Рис. 1. Сопоставление угловой зависимости  $Q(\vartheta)$  измеренной нами, с данными других авторов.

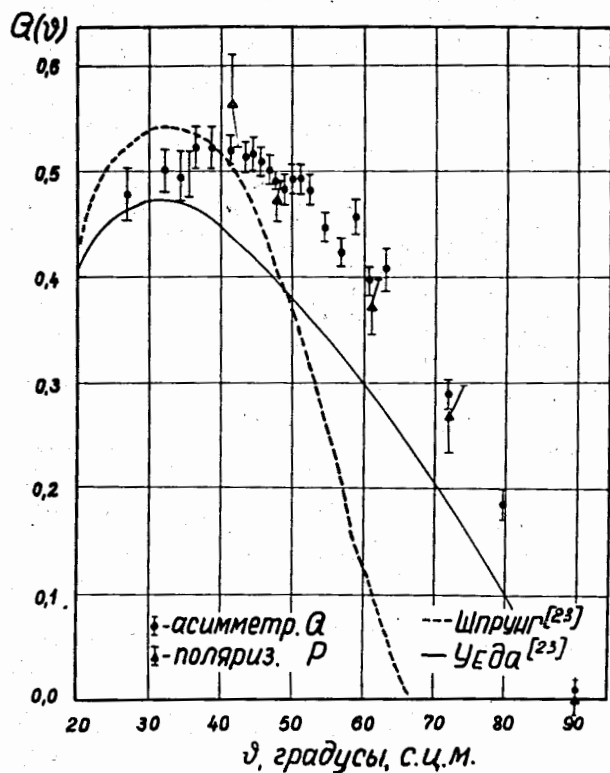


Рис. 2. Сравнение экспериментальных значений  $Q(\theta)$  и  $P(\theta)$  при  $E=635$  Мэв с результатами теоретических расчетов.

дить не только значения коэффициентов  $D_{nn}$  или  $K_{nn}$ , но и значения параметра поляризации  $P$  [24,25]. Знание этого параметра создает возможность для экспериментальной проверки принципа Т-инвариантности в процессе рассеяния двух нуклонов.

В § 2.4 подробно освещаются детали эксперимента, процедура нахождения асимметрии  $E_{3\pm}$  и калибровочной асимметрии  $E_3$  в анализирующем рассеянии; в специальном разделе рассмотрены возможные вклады ложных эффектов в измеренные на опыте величины  $E_{3\pm}$  и  $E_3$ . Результаты измерений иллюстрируются граф. на рис. 3а и табл. 15-18.

Сравнение показывает, что наши измерения в 3-8 раз точнее более ранних результатов М.Г.Мещерякова и др. [20] и представляют угловую зависимость параметров  $D_{nn}$  и  $K_{nn}$  в существенно более широком диапазоне углов, чем все другие измерения этих параметров при близких энергиях (см. граф. на рис. 3б).

Анализ энергетической зависимости параметра деполаризации показывает, что с ростом энергии протоны, испытавшие упругое рассеяние, деполаризуются слабее.

Использование наших результатов по  $D_{nn}$ ,  $K_{nn}$  и  $Q$  в ф.а. рр-рассеянии при 635 Мэв [9] позволило сократить многозначность анализа и уменьшить ошибки фазовых сдвигов.

Наконец, сопоставление совокупности данных о  $C_{nn}$ ,  $K_{nn}$  и  $D_{nn}$  с теориями, основанными на симметриях типа  $M(12)$  и  $SU(12)^*$  [26], показывает, что некоторые черты рр-взаимодействий при энергиях 635 Мэв хорошо укладываются в рамки этих теорий.

Экспериментальные результаты автора, связанные с проверкой принципа Т-инвариантности в процессе упругого соударения двух протонов при энергии 635 Мэв [11], излагаются в § 2.5.

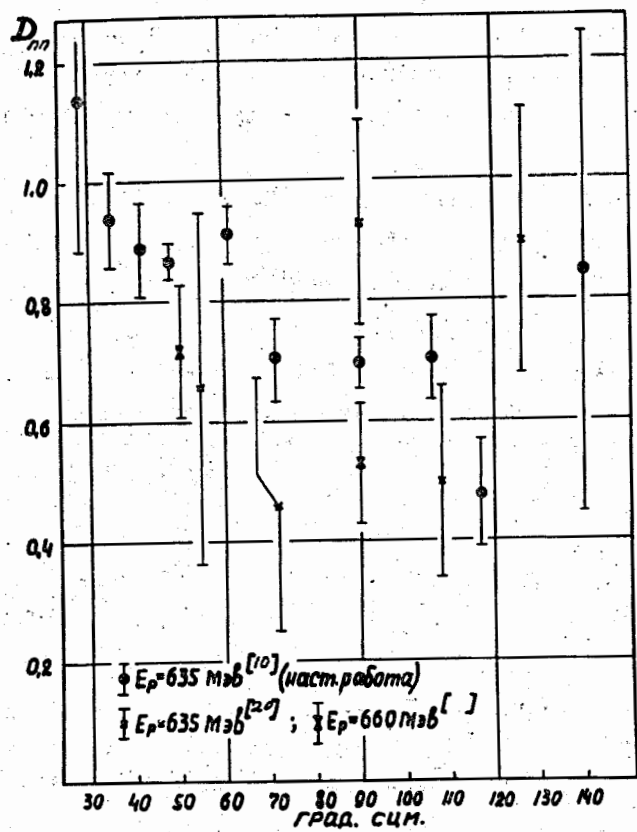
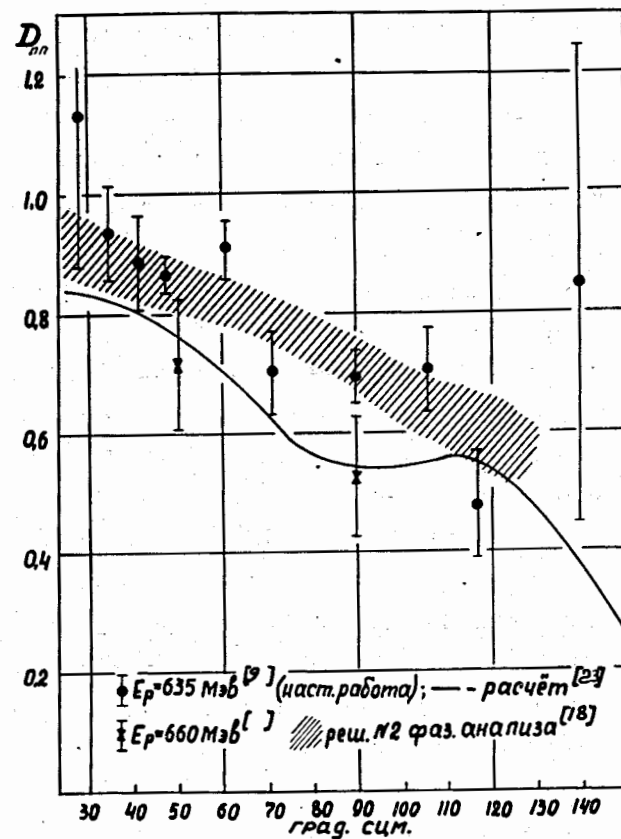


Рис. 3. Результаты наших измерений параметра деполаризации в рр-рассеянии при энергии 635 Мэв.  $D_{nn}(\vartheta) = \mathcal{K}_{nn}(\pi - \vartheta)$



3б. Сравнение с ф.а. и теоретическим расчётом.



диссертации. Эти работы в некоторой степени были стимулированы открытием нарушения CP-четности в распадах K-мезонов.

Раздел § 2.5 начинается с краткого рассмотрения спиновой структуры матрицы упругого рассеяния нуклонов при нарушении временной четности и связи этой матрицы с экспериментально наблюдаемыми параметрами: асимметрией  $\alpha$  и поляризацией  $P$  х) далее описывается метод и процедура измерений параметра  $P(\vartheta)$ , обосновывается выбор исследуемых углов рассеяния и т.п.

Угловое распределение поляризации, исследованное нами в интервале углов  $34^\circ - 117^\circ$  сцм и при 8 значениях угла второго рассеяния, иллюстрируется граф. на рис. 2 и представлено в табл. 2I. К настоящему времени эти измерения  $P(\vartheta)$  являются единственными в области энергий от  $\approx 220$  Мэв и выше.

Знание экспериментальных величин параметров  $P$  и  $\alpha$  позволило по величине их разности (см. граф. на рис. 4) произвести оценки T-нечетного члена  $t[(\bar{\sigma}_1 \bar{\ell})(\bar{\sigma}_2 \bar{m}) + (\bar{\sigma}_1 \bar{m})(\bar{\sigma}_2 \bar{\ell})]$  в матрице упругого pp-рассеяния. Согласно нашим расчетам, величина  $Re t$ , усредненная по изученному нами интервалу углов  $30^\circ - 106^\circ$  сцм, равна  $(-0,8 \pm 1,1) \cdot 10^{-2} \sqrt{\sigma_{pp}(30^\circ - 106^\circ)}$ . Отсюда следует, что если и существует эффект нарушения T-инвариантности в pp-рассеянии с энергией 635 Мэв, то его вклад в матрицу рассеяния не превышает нескольких процентов. Аналогичный эффект в сечениях рассеяния оказывается  $\sim 10^{-4}$ .

Эти наши результаты находятся в согласии с данными, имеющимися при энергиях 140, 180 и 220 Мэв<sup>/27/</sup> и впоследствии были

х) Разница между этими параметрами исчезает, если соблюдается T-инвариантность в рассеянии нуклонов.

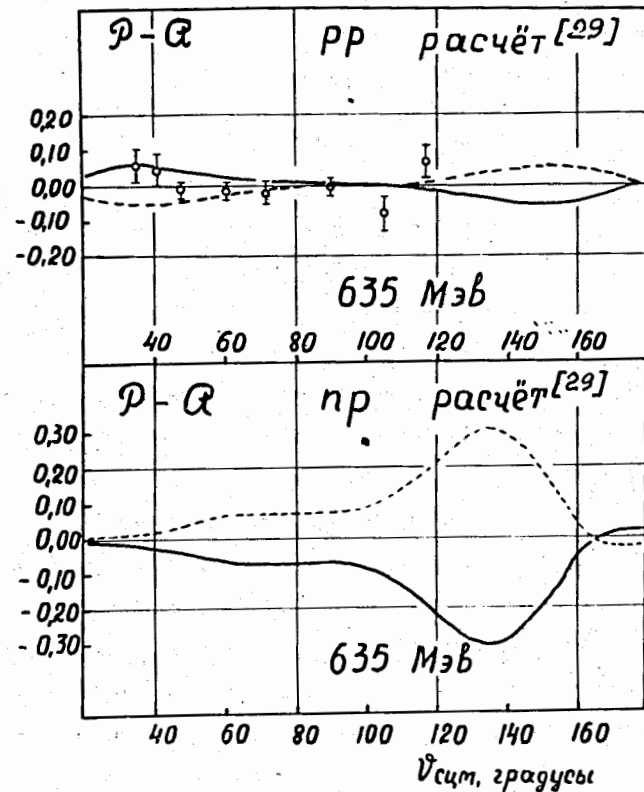


Рис. 4. Результаты нашего определения величины разности  $P - \alpha$  при энергии 635 Мэв и предсказания Брайана для этой энергии<sup>/29/</sup>.

подтверждены опытами Райта, Пондрома и др.<sup>/28/</sup> на энергии 435 Мэв. Авторы работы<sup>/28/</sup> проверили на одном угле  $\vartheta_{лс} = 30^\circ$  соотношение

$$\left[ \frac{R' + A}{A' - R} \right] = \operatorname{tg} \vartheta_{лс}$$

между параметрами тройного рассеяния  $R, R', A$  и  $A'$ , также основанное на принципе Т-инвариантности ядерных сил.

В § 2.6 описываются измерения угловой зависимости  $d\sigma_{pp}/d\Omega$  для упругого pp-рассеяния в области кулон-ядерной интерференции, выполненные на неполяризованном пучке протонов с энергией  $\approx 630$  Мэв<sup>/12/</sup>.

Наши измерения проводились на  $H_2$ -мишени с помощью порогового телескопа из сцинтилляционных счетчиков, регистрировавших "рассеянные" протоны (см. рис. 15). Конечный результат исправлялся с учетом двух поправок (см. рис. 16 и ф-лы 2.27-2.29 диссертации). Процедура учета этих поправок контролировалась в дополнительном опыте с тонкими твердыми мишенями (см. табл. 28). Абсолютные величины сечений находились двойным способом: "привязкой" к уже известным данным о  $d\sigma_{pp}(30^\circ_{сцм})/d\Omega$  и с помощью известной из работ Бете-Кромера-Ажгирея и др.<sup>/32/</sup> параметризации сечения упругого pp-рассеяния (см. ф-лу (2.31) диссертации). Оба способа дали хорошо согласующийся между собой результат, который не выходил за рамки возможных (10+15) процентных систематических ошибок.

Угловая зависимость  $d\sigma_{pp}/d\Omega$  (см. граф. на рис. 5) оказалась существенно отличной от результатов более ранних измерений этой величины при близких энергиях 650-670 Мэв<sup>/30/</sup>.

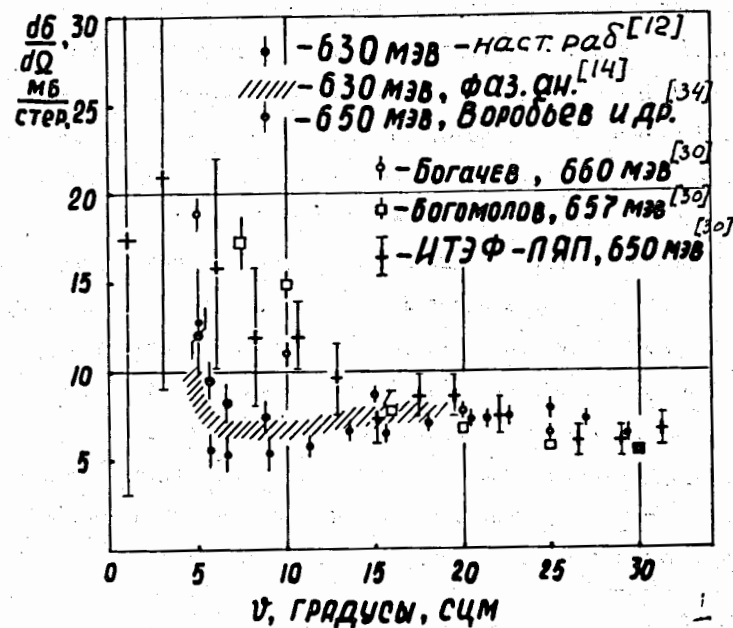


Рис. 5. Сравнение результатов наших измерений  $d\sigma_{pp}/d\Omega$  и сравнение с данными других авторов, полученными при близких энергиях. Величины сечений работы<sup>/34/</sup> усреднены нами по двум соседним углам (на рис. 5 показана часть результатов<sup>/34/</sup>).

Объединенный институт  
ядерных исследований  
Библиотека

Параметр  $\alpha = \text{Re} A_{pp}(0^\circ) / \text{Im} A_{pp}(0^\circ)$ , согласно данным нашего анализа, положителен, равен  $0.51 \pm 0.11$  и, в отличие от результатов предыдущих исследований<sup>/30, 32/</sup>, достаточно хорошо согласуется с предсказаниями, основанными на дисперсионных соотношениях для pp-рассеяния вперед<sup>/33/</sup>. Позднее стали известны результаты другого опыта по измерению  $d\sigma_{pp}/d\Omega$  в области углов  $(5-9)^\circ$  сцм, выполненного А.А.Воробьевым и др.<sup>/34/</sup>. Значение  $\alpha = 0.293 \pm 0.073$ , найденное этими авторами при большей энергии 650 Мэв, статистически хорошо согласуется с результатами наших работ<sup>/12/</sup>.<sup>х</sup> (см. граф. на рис. 6).

Объем экспериментальных исследований процесса упругого pp-рассеяния в области энергий 600-660 Мэв и точность опытных данных в настоящее время таковы, что уже целесообразно сгруппировать опытные данные в узкой области энергий 630-640 Мэв (или даже 605-595 Мэв) и провести новый ф.а. Можно ожидать, что результат такого анализа будет теперь в значительной мере свободен от неопределенностей, связанных с энергетическими зависимостями искомых и анализируемых величин и т.д.

х) Относительный ход угловой зависимости сечения, найденного в работе<sup>/34/</sup> при энергии 650 Мэв, хорошо совпадает с результатами наших измерений. Однако абсолютные величины  $d\sigma_{pp}/d\Omega$ <sup>/34/</sup> систематически превышают установленные нами значения (при  $E \approx 630$  Мэв). Этот факт побудил нас проанализировать результаты<sup>/34/</sup> на основе параметризации (2.31) (см. диссертацию). Этот анализ<sup>/12/</sup> показал, что абсолютные величины сечений А.Воробьева и др.<sup>/34/</sup> при норме  $\rho = 1$  не согласуются с параметризацией (2.31) и всей известной в области энергий 650-660 Мэв совокупностью данных о сечениях упругого pp-рассеяния на большие углы. Согласно нашему анализу, предпочтительная величина нормы  $\rho$  для данных<sup>/34/</sup> при энергии 650 Мэв близка к величине  $\approx 0.6$ .

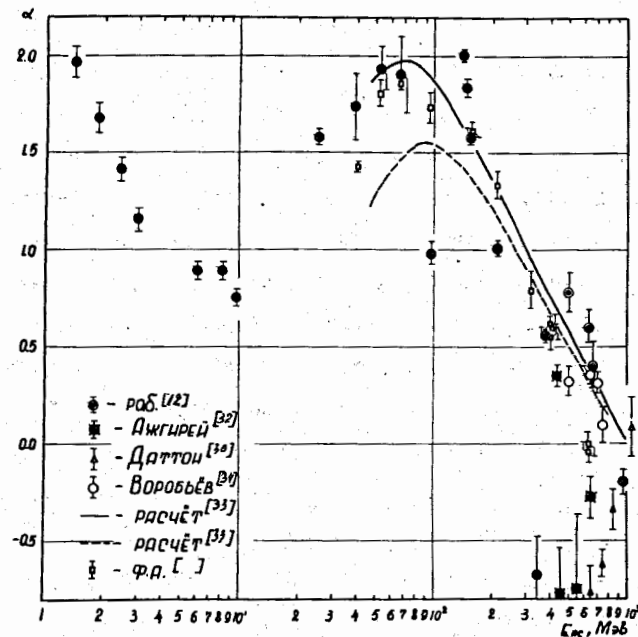


Рис. 6. Энергетическая зависимость отношения  $\alpha = \text{Re} A_{pp}(0^\circ) / \text{Im} A_{pp}(0^\circ)$  в области энергий (1-1000) Мэв.

В § 2.7 приводятся результаты таких уточнений ф.с. - рр-рассеяния, выполненных нами при энергиях 635 и 605 Мэв /12, 13/. Анализ при энергии 635 Мэв проводился для  $l_{max}=4+6$  и учитывал эффекты мезообразования из  ${}^3P_{0,1,2}$ ,  ${}^1D_2$ ,  ${}^3F_{2,3,4}$  и  ${}^3H_{4,5,6}$  - состояний рр-системы. Было установлено, что все исследованные нами решения, известные из предыдущих работ /2-7, 18, 19/, переходят в один и тот же набор фазовых сдвигов с низким значением отношения  $\chi^2/\chi^2 = 0.85-1.02^x$ . Этот набор, символически названный ФН-72, в среднем статистически хорошо описывает проанализированный нами экспериментальный материал. Кроме этого, ФН-72, дает правильные предсказания для некоторых параметров рр-рассеяния, измеренных при близких энергиях, но не использованных нами при анализе, например, для  $Q(\nu \ll 1; E=667 \text{ Мэв})$  /21/ и т.д. Другой важной особенностью ФН-72 является тот факт, что он способен вместе с ф.с. в состояниях с  $T=0$  статистически удовлетворительно воспроизвести ( $\chi^2 = 198$  и при  $\bar{\chi}^2 = 191$ ) всю известную совокупность данных о рр- и пр-рассеяниях в области энергий 600-630 Мэв /35/.

В § 2.7 диссертации дается также описание результатов ф.в. рр-рассеяния при энергии 600 Мэв /13/, выполненного на основе наших измерений параметра  $R(\nu)$ , коэффициентов  $C_{kr}(90^\circ)$  и  $C_{nn}(90^\circ)$  при этой энергии /13/ и ряда данных других авторов. Этот анализ также дает единственное решение, если предположить плавную зависимость ф.с. от энергии и учесть однозначность анализа при 635 Мэв.

x) Единственность нашего анализа исследовалась для случая, когда неупругие переходы происходят из  ${}^3P$ ,  ${}^1D$  и  ${}^3F$  - состояний.

Таким образом, при энергиях выше порога мезообразования в рр-роударении ф.с. однозначно находятся при энергиях 310, 435 Мэв /16/ и 600, 635 Мэв /12, 13, 14/. Энергетическая зависимость этих ф.с. для основных состояний рр-системы иллюстрируется граф. на рис. 7 и сопоставляется с теоретическими расчетами Шайрхольца, Брейнта, Глейзера, Аджирея и многих др., основанными на гипотезе однобозонного обмена /37/. Отмечается, что рр-рассеяние в районе (400-700) Мэв может быть качественно описано на основе этой гипотезы, если учесть обмен теми же бозонами, которые принимаются во внимание в допороговой области энергий.

### Глава III. Исследование процессов неупругого взаимодействия протонов с протонами /15/

Феноменологическая картина процесса упругого рассеяния протонов протонами, обрисованная нами в § 1.3, 1.4 и 2.7, дополняется в главе III описанием некоторых важных черт процессов мезообразования в рр-соударениях с энергией 600-650 Мэв. Из работ Р.М.Рындина, Смородинского Я.А. /38/, Л.М.Сороко /39/ и др. известно, что оба эти процесса - упругое рассеяние и мезообразование - тесно связаны между собой. Один из примеров этой связи (см. § 1.4 диссертации) уже был использован нами для получения информации о мнимых частях фазовых сдвигов в упругом рр-рассеянии /7/. Аналогичным образом, описываемые в гл. III экспериментальные результаты по изучению процесса  $pp \rightarrow \pi^+ n p$  на неполяризованном пучке протонов при энергии 650 Мэв (см. граф. на рис. 8) могут быть использованы в последующих анализах упругого рр- и пр-рассеяний или для восстановления феноменологических амплитуд, описывающих

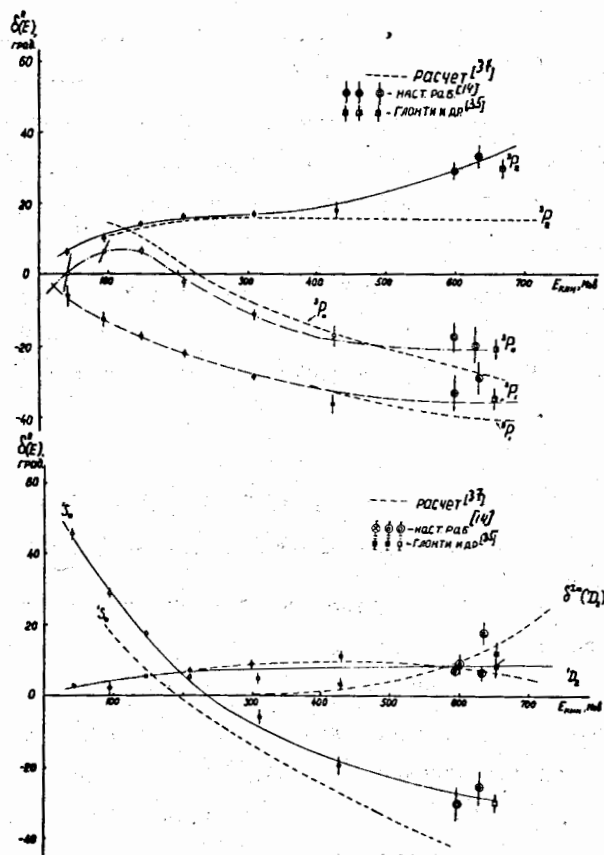


Рис. 7. Энергетическая зависимость фазовых сдвигов  $pp$ -рассеяния в  ${}^1S_0$ ,  ${}^3P_{0,1,2}$  и  ${}^1D_2$  - состояниях.

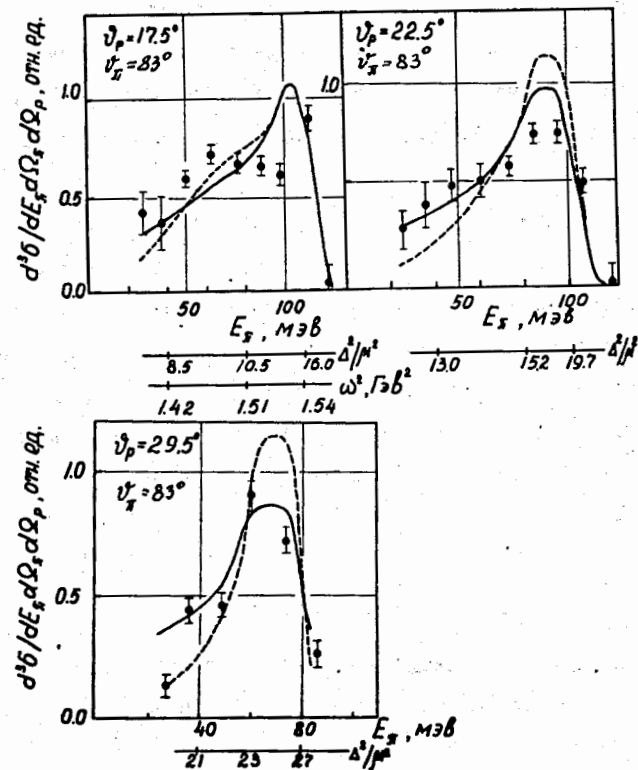


Рис. 8. Результаты нашего измерения спектров пионов в реакции  $pp \rightarrow \pi^+ np$  при энергии 650 Мэв. Сплошной линией показаны результаты расчета по модели однопионного обмена Селлери<sup>[40]</sup>.

мезообразование в  $NN$ -соударениях в районе энергий  
~ 650 Мэв.

Основной вывод, вытекающий из результатов наших исследований гл. III, сводится к тому, что механизм однопионного обмена<sup>/40/</sup> статистически плохо описывает опытные данные о процессе  $pp \rightarrow \pi^+ np$ , полученные нами в области больших передач импульса  $\Delta^2$  /15/.

По-видимому, этот результат экспериментально подтверждает ту точку зрения, согласно которой механизм однопионного обмена (см. диаграммы на рис. 24) в области энергий ~ 650 Мэв доминирует лишь при соударениях с достаточно большими прицельными параметрами. Интересно в этой связи, что из данных по ф.в. упругого  $pp$ - и  $np$ -рассеяний в этой области энергий следует, что вклад диаграмм с одним пионом также доминирует при больших орбитальных моментах

#### IV. Заключение<sup>/41/</sup>

В диссертации описан ряд важных результатов, полученных автором в опытах на синхроциклотроне ЛЯП ОИЯИ при проверке некоторых фундаментальных принципов симметрии ядерных сил, дисперсионных соотношений в  $pp$ -рассеянии вперед, а также при исследовании механизма мезообразования в  $pp$ -соударениях в области энергий 600–650 Мэв. Кроме этого, измерения ряда спиновых параметров в опытах по "двойному" и "тройному" рассеяниям протонов, выполненные автором с высокой степенью точности, позволили однозначным образом решить проблему восстановления матрицы упругого  $pp$ -рассеяния при энергии 600 и 635 Мэв методом фазового анализа.

Первые сопоставления результатов такого восстановления показывают, что имеющаяся в настоящее время экспериментальная информация о рассеянии нуклонов за порогом мезообразования объясняется теорией всего лишь качественным образом. Однако данные опыта, в свою очередь, еще бедны и программе будущих экспериментов, по нашему мнению, должна предусмотреть выполнение детальных исследований при большем числе и в более широком диапазоне энергий.

Независимо от упругого  $NN$ -рассеяния аналогичная и весьма богатая информация может быть почерпнута из опытов по торозному излучению  $\gamma$ -квантов в процессах типа  $NN \rightarrow NN\gamma$  /42/.

В применении к процессам упругого  $pp$ - и  $np$ -соударений наш вывод означает, что энергетический ход ф.с., в частности,  $pp$ -системы следует изучить детальнее и в более широкой области энергий, чем это выполнено до сих пор<sup>х)</sup>. Эти исследования были бы важными не только для понимания динамики  $NN$ -взаимодействий, но и для выяснения вопроса о существовании барион-барионных резонансных систем, поднятого впервые Ф.Дэйсоном и др. /43, 41/.

С этой и других точек зрения было бы чрезвычайно важным начать более интенсивные исследования процессов  $NN \rightarrow NN\pi$ . Экспериментальная методика, адекватная опытам с несколькими частицами в конечном состоянии реакции, хорошо разработана и известна. Поэтому постановка соответствующих опытов на уже существующих ускорителях старого и нового поколения, видимо, не должна встретить принципиальных затруднений экспериментального характера.

х) Верхняя граница этой области, по-видимому, может лежать в районе 1–3 Гэв.

## В ы в о д н ы :

I. Выполнен комплекс экспериментов по изучению процессов упругого и неупругого соударений протонов протонами на поляризованном и неполяризованном пучках с энергией (605–650) Мэв. Эти исследования включают:

1. Измерение с высокой точностью угловых зависимостей параметров  $P(\vartheta)$  и  $A(\vartheta)$  при 635 Мэв;
2. Определение угловых зависимостей коэффициентов  $D_{nn}$  и  $K_{nn}$  для той же энергии;
3. Измерение угловой зависимости дифференциального сечения pp-рассеяния в области кулон-ядерной интерференции при  $\approx 630$  Мэв;
4. Измерение параметра Вольфенштейна  $R(\vartheta)$  при энергии 605 Мэв;
5. Исследование спектров пионов в реакции  $pp \rightarrow \pi^+ np$  и при энергии 650 Мэв, выполненное посредством регистрации совпадений пиона со вторичным протоном;

II. Цикл измерений, отмеченных выше, и некоторые другие результаты автора создали ту основу, благодаря которой впервые при энергиях 635 и 605 Мэв удалось однозначным образом решить проблему восстановления матрицы упругого pp-рассеяния методом фазового анализа.

III. Знание параметров  $P$  и  $A$  позволило подтвердить впервые при энергиях выше порога рождения пионов в pp-соударениях принцип T-инвариантности ядерных сил. При этом было найдено, что отношение T-инвариантной амплитуды в матрице упругого pp-рассеяния к полной амплитуде, усредненной в интервале

углов  $30^\circ - 106^\circ$  сцм при энергии 635 Мэв, равно  $-(0.8 \pm 1.1) 10^{-2}$ .

IV. Обработка наших экспериментальных данных по дифференциальным сечениям упругого pp-рассеяния позволила установить, что:

1. Кулон-ядерная интерференция при  $\approx 630$  Мэв имеет деструктивный, а не конструктивный (как предполагалось ранее другими авторами) характер.

2. Величина отношения  $Re A_{pp}(0^\circ) / Im A_{pp}(0^\circ)$  при энергии 630 Мэв равна  $0.51 \pm 0.11$  и находится в согласии с дисперсионными соотношениями для pp-рассеяния вперед;

V. Сопоставление экспериментальных ф.с. для  $^1S_0$ ,  $^3P_{0,1,2}$  и  $^1D_2$  - состояний pp-системы с результатами расчетов, основанными на представлениях однобозонного обмена, показало, что эта гипотеза лишь качественно описывает опытные данные за порогом мезообразования.

VI. Сопоставление экспериментальных результатов с предсказаниями модели однопионного обмена для процесса  $pp \rightarrow \pi^+ np$  показало, что этот механизм не находится в достаточно хорошем согласии с опытом при энергиях (600–650) Мэв.

VII. Дальнейшие исследования процесса упругого pp-рассеяния следует проводить более детально и в более широкой области энергий, чем это выполнено до сих пор. Результаты подобных исследований помогут сделать более надежные сопоставления теории с опытом, принесут новую информацию о динамике  $NN$ -взаимодействий и помогут разрешению вопроса о барион-барионных резонансах.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. R.Ya. Zul karneev, I.N.Silin. Phys. Let. 3, 265, 1963;  
Б.Головин, В.П.Джелепов, Р.Я.Зулькарнеев, Цуй Ва-чуан.  
Proc. Int. Conf. on High. Energy Phys. 1962.
2. И.Быстрицкий, Р.Я.Зулькарнеев. ЖЭТФ 45, 1169, 1964.
3. N.Hoshizaki, S.Machida. Progr. Theor. Phys. 29, 44 (1963);  
31, 609 (1964).
4. Л.С.Ажгирей, Н.П.Клепиков, Ю.П.Кумекин и др. ЖЭТФ 46,  
1074, (1964); Phys. Let., 6, 196 (1963).
5. Ю.М.Казаринов, В.С.Киселев. ЖЭТФ 46, 797 (1964).
6. Р.Я.Зулькарнеев, В.С.Киселев, В.И.Сатаров, В.С.Надеждин.  
ЯФ 6, 995 (1967); Rev. Mod. Phys., 39, 509 (1967).
7. В.Г.Вовченко, Р.Зулькарнеев, В.С.Киселев. ЖЭТФ 58, 825 (1970)
8. Р.Зулькарнеев, В.И.Сатаров, В.Надеждин. Препринт ОИЯИ,  
PI-3189, Дубна, 1967.
9. Р.Зулькарнеев, В.И.Сатаров, В.С.Надеждин. ЯФ 11, 178 (1970);  
Proc. Int. Conf. on NN-Interact. Gainsville, 1967.
10. Р.Зулькарнеев, В.И.Сатаров, В.С.Надеждин, Сообщения ОИЯИ,  
PI-4536, Дубна, 1969.
11. Р.Я.Зулькарнеев, В.С.Надеждин, В.И.Сатаров. ЯФ 10, 973  
(1969); High. Energy Phys. and Nucl. Structure. Ed.Devons,  
NY, 1970; Rev. Mod. Phys. 39, 510, 1967.
12. И.В.Амирханов, В.Быстрицкий, Л.Вертоградов и др. Сообщения  
ОИЯИ, PI-6558, Дубна, 1972;  
ЯФ 17, 1222, 1973; Proc. V Conf. on High. En. Phys.  
and Nucl. Structure. Uppsala, 1973.
13. Б.М.Головин, Р.Я.Зулькарнеев, В.Киселев и др. ЯФ 5, 146  
(1967).

14. Р.Я.Зулькарнеев, Х.Муртазаев, В.И.Сатаров. Сообщения ОИЯИ,  
PI-7522, Дубна, 1973.
15. В.Г.Вовченко, Б.М.Овчинников, Р.Я.Зулькарнеев и др. ПТЭ № 5,  
213, 1969; Р.Я.Зулькарнеев, Б.М.Овчинников, Е.Озеров и др.  
ЯФ 14, 989 (1971); Р.Я.Зулькарнеев, Б.М.Овчинников, Н.Пол-  
тавская, Сообщения ОИЯИ, PI-5571, 1970 г.
16. Intern. Conf. on High Energy Phys. Dubna, 1964, P=1785, p.8.  
Л.С.Ажгирей. ЯФ 1, 867 (1965).
17. Л.С.Ажгирей, Ю.П.Кумекин, М.Г.Мещеряков и др. ЯФ, 2, 892, (1965).  
ЯФ 4, 1248, (1966).
18. Л.Н.Глонти, Ю.М.Казаринов, А.М.Розанова, И.Н.Силин, ЯФ 7,  
1060, (1968). С.И.Биленькая, Л.Н.Глонти, Казаринов Ю.М. и  
др. ЖЭТФ 59, 1049 (1970);
19. M.MacGregor, R.A.Lundt, R.M.Wright. Phys.Rev. 169, 1149  
(1968).
20. Ю.П.Кумекин, М.Г.Мещеряков, С.Б.Нурушев и др. ЖЭТФ 38,  
145 (1960); см. также Phys. Let., 18, 203 (1965).
21. М.Г.Мещеряков, С.Б.Нурушев, Г.Д.Столетов. ЖЭТФ 33, 37 (1957);  
Л.С.Ажгирей и др. ЯФ 2, 892 (1965).
22. G.Coignet, D.Cronenberger, R.Cutoda et al. Nuovo Cim.,  
43A, 708, (1966); G.Cozzika, Y.Dukros, A.de Lesquen et al.  
Phys. Rev. 164, 1672 (1967); F.Betz et al. Phys. Rev. 146,  
1289 (1967).
23. D.Sprung, J.Willis. Proc. Roy. Soc. 76, 539 (1960);  
T.Yeda. Phys. Rev. Let., 26, 588 (1971).
24. R.J.Phillips. Nuovo Cim. 8, 265 (1958); J.Bell, F.Mandel.  
Proc. Roy.Soc. 71, 272A (1958); A.Woodruff. An. Phys. 7,  
63 (1959). E.h.Thorndike, Phys. Rev. 138, 586B, 1965.



25. С.М.Биленький, Л.И.Лепидус, Р.Рундин. Препринт ОИЯИ P2-3716, Дубна, 1968; L.Lapidus. Rev. Mod. Phys. 39, 689 (1967).
26. P.Freund, S.Lo. Phys. Rev. 140, 927B, 1965; D.Kantor et al. Phys. Rev., 140, 1008B (1965).
27. P.Hillman, A.Johansson, G.Tibell. Phys. Rev. 110, 1218 (1958); A.Abashian, E.Hafner. Phys.Rev.Let 1, 255, (1958); C.F.Hwang, T.Ophel et al. Phys. Rev. 119, 352 (1960).
28. R.Handler, S.Wright, L.Pondrom et al. Phys.Rev.Let. 19, 933 (1967).
29. R.Bryan, A.Gerstein. Phys.Rev.Let., 26, 1000 (1971). C.Chainy. R.Gleiser et al. Phys. Rev., 177, 2167 (1969).
30. Н.П.Богачев. ДАН СССР 108, 806 (1956); Е.Богомолов, С.Я.Никитин и др. CERN Sympos. 2, 130, 1956; В.Гужавин, Г.Клигер, В.Колганов и др. ЖЭТФ 47, 1228 (1964). L.Dutton, Van der Raay. Phys. Let. 26B, 679 (1968); 25B, 245 (1967).
31. М.Г.Мещеряков, Б.С.Негенов, Л.М.Сороко и др. ДАН СССР 92, 959 (1954); В.Ryan, A.Kanofsky, T.Delvin. Phys.Rev. 3D, 1, (1971).
32. H.Beth. Ann. Phys.3, 190 (1958); B.Nigam. Progr. Theor. Phys. 24, 407 (1960-); A.Cromer. Lond. Conf. on Nucl.Forces and Few-Nucl. Probl. 1, 221 (1960); С.Б.Нурушев, Л.С.Ажгирей. ЖЭТФ 45, 599 (1963).
33. D.Bugg et al. Phys.Rev. 146, 980 (1966); O.Dumbrais. Nucl. Phys. 46B, 164 (1972). В.С.Барашенков. Forshr.Phys. 10, 205 (1962).
34. А.А.Воробьев, А.Денисов, Ю.Звалите и др. Phys.Let. 41B, 639, 1972.

35. Л.Н.Глonti, Ю.М.Казаринов, В.С.Киселев и др. Сообщения ОИЯИ, PI-6339, Дубна, 1972.
36. V.V.Babikov. Progr.Theor.Phys.29, 712 (1963); S.Savada, T.Yeda, W.Watary et al. Progr. Theor. Phys. 28, 991 (1962). A.Scotti, D.Wong. Phys.Rev. 138B, 145 (1965).
37. A.Shasstel. Nucl.Phys. 26B, 269 (1971). Л.Ажгирей, ЯФ 4, 1248 (1966); G.Shierholz. Nucl. Phys. 40B, 335 (1972).
38. Л.М.Сороко. Препринт ОИЯИ P-226, Дубна, 1958; ЖЭТФ 34, 87 (1958) 35, 276 (1958).
39. Р.М.Рундин, Я.А.Смородинский. ЖЭТФ 32, 1584 (1957).
40. F.Sellery, F.Ferrary. Phys.Rev. Let. 2, N 10 (1961); 6, 64 (1961). Nuovo Cim. 21, 1028 (1961); 39, 169 (1965); Nuovo Cim. 40A, 236 (1965); 27, 1450 (1963).
41. Р.Я.Зулькарнеев, А.М.Розанова. ЖЭТФ 59, 1444 (1970).
42. Е.М. Нуман. Phys.Lett., 25B, 135 (1967); G. Felsner. Phys.Lett., 25B, 290 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 декабря 1973 года.