

Л-449



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**  
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

2 - 7607

**ЛЕНДЬЕЛ Владимир Иванович**

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПИОНОВ И НУКЛООНОВ  
В ОБЛАСТИ НИЗКИХ И СРЕДНИХ ЭНЕРГИЙ**

Специальность 01.04.02 - теоретическая  
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени доктора физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1973

Работа выполнена в Ужгородском государственном университете.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

А.В.Ефремов,

доктор физико-математических наук Л.Д.

Л.Д.Соловьев,

доктор физико-математических наук,

член-корреспондент АН УССР

В.П.Шелест.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Ленинградский государственный университет им. А.А.Жданова.

Защита состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1973 г. на заседании

Ученого совета Лаборатории теоретической физики Объединенного  
института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1973 г.

С содержанием диссертации можно ознакомиться в библиотеке  
Института.

Ученый секретарь

Р.А.Асанов

2 - 7607

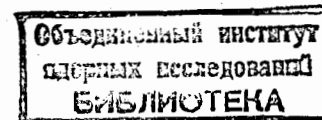
ЛЕНДЬЕЛ Владимир Иванович

ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПИОНОВ И НУКЛОНОВ  
В ОБЛАСТИ НИЗКИХ И СРЕДНИХ ЭНЕРГИЙ

Специальность 01.04.02 - теоретическая  
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени доктора физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



До настоящего времени актуальной остается задача построения динамической теории сильных взаимодействий в области низких и средних энергий. Эта теория должна основываться на таких общих принципах квантовой теории поля, как релятивистская инвариантность, причинность и унитарность.

Одним из методов, используемых для построения такой теории, является метод дисперсионных соотношений. Для получения конкретных результатов метод дисперсионных соотношений должен быть дополнен целым рядом предположений, имеющих в настоящее время лишь эвристическое обоснование. Важную роль здесь играет предположение об аналитичности амплитуды по двум переменным, т.е. предположение об справедливости двойного дисперсионного представления Манделстама. В области низких энергий, как показал опыт, можно ограничиться двухчастичной упругой унитарностью, низкоэнергетической кроссинг-симметрией амплитуд рассеяния и низкими парциальными волнами ( $\ell = 0, 1, 2$  для  $\pi N$  - рассеяния;  $\ell = 0, 1, 2, 3$  для  $NN$  - рассеяния). Необходимо также детализовать структуру скачка по крайней мере на ближайшей части левого разреза, т.е. сделать определенные предположения о "потенциале" взаимодействия.

В рамках этих предположений может быть получена система сингулярных интегральных уравнений для парциальных амплитуд. Решение этой системы позволяет, в принципе, дать динамическое описание сильных взаимодействий при низких энергиях.

В области средних энергий приходится отказываться от предположения об ограничении низкими парциальными волнами. Вместо этого используются дисперсионные соотношения при фиксированном угле (в

частности, при  $C \theta = \pm 1$ ). При этом теряется возможность получения динамического описания, однако остается реально выполнимой задача коррелирования высокоэнергетических и низкоэнергетических параметров рассеяния.

Десять лет тому назад в работах дубненских физиков (Д.В.Ширкова, А.В.Ефремова, П.С.Исаева, В.А.Мещерякова, В.В.Серебрякова, Л.Д.Соловьева и их сотрудников) была развита последовательная теория сильных взаимодействий при низких энергиях. Итоги этих исследований подведены в известной монографии /1/ (см. также /2/, /3/).

Основная идея дубненского подхода состояла в использовании дисперсионных соотношений назад. Было показано, что именно в этих дисперсионных соотношениях наиболее сильно проявляется влияние перекрестного аннигиляционного разреза. Было определено влияние  $\pi\pi$ -взаимодействия на  $\pi N$ -рассеяние, в частности, было показано, что для удовлетворительного описания низших фаз  $\pi N$ -рассеяния необходим учет векторного  $\rho$  - и скалярного  $\sigma$ -мезона. Использование дисперсионных соотношений назад в комбинации с дисперсионными соотношениями вперед позволило получить математически непротиворечивую систему уравнений для парциальных амплитуд  $\pi\pi$ - и  $\pi N$ -рассеяния. Исследование полученной для  $\pi\pi$ -рассеяния системы показало, что эта система имеет резонансные решения, соответствующие  $\rho$  - и  $\sigma$  - мезонам.

Однако для  $\pi N$ -системы решения не находились. Была проверена лишь согласованность уравнений с имеющимися экспериментальными данными в области низких энергий. Кроме того, не было рассмотрено  $NN$ -рассеяние и электромагнитные формфакторы нуклонов.

Поэтому значительный интерес представляло заполнение этого

пробела, а именно, использование информации, полученной в дубненских работах, в частности, детальных сведений о блоке, описываемом  $\pi\pi NN$ - процесс, для интерпретации следующих по сложности процессов: электромагнитных формфакторов нуклонов и нуклон-нуклонного рассеяния, играющего, как известно, главенствующую роль в иерархии сильных взаимодействий. Немалый интерес также представляло получение согласованных решений уравнений для низших парциальных амплитуд  $\pi N$ - и  $NN$ - рассеяния.

Решению именно этих вопросов посвящена данная диссертация. Задача, изучаемая в диссертации, является двойкой.

Основное содержание диссертации посвящено рассмотрению процесса  $NN$ -рассеяния. К этой проблеме примыкает рассмотрение электромагнитных формфакторов нуклонов. Хорошо известно (см., напр., /1/), что рассмотрению этих процессов должно предшествовать детальное изучение процессов  $\pi\pi$ - и  $\pi N$ -рассеяния. В данной диссертации мы использовали сведения о  $\pi\pi$ - и  $\pi N$ -амплитудах, полученные в работах Ширкова, Серебрякова, Мещерякова, Исаева. Однако для решения нашей задачи оказалось необходимым возвратиться к изучению этих амплитуд. В частности, необходимо было представить эти амплитуды в виде, пригодном для их использования при описании процесса  $NN$ -рассеяния и электромагнитных формфакторов нуклонов. В итоге получены результаты, которые свидетельствуют о том, что в рамках дубненского подхода с помощью аппроксимации аннигиляционных разрезов однобозонными обменами можно раздвинуть рамки дисперсионной теории сильных взаимодействий при низких энергиях, описав наряду с фазами  $\pi N$ -рассеяния фазы  $NN$ -рассеяния и данные по электромагнитным формфакторам нуклонов.

Одним из важнейших дополнительных результатов этой работы

является установление роли  $\sigma$ -мезона в сильных взаимодействиях. В работе последовательно продемонстрирована необходимость учета  $\sigma$ -мезона в  $\bar{K}N$ - и  $NN$ -рассеянии. Оказалось, что  $\sigma$ -мезон ( $J=I=0$ ) является основным источником сил притяжения на средних расстояниях. Следует отметить, что мы еще в 1958 году на основании применения полюсной модели к описанию процесса  $NN$ -рассеяния обращали внимание на необходимость учета скалярного мезона.

Значительное место в диссертации отведено нахождению само-согласованных, внутренне не противоречивых решений дисперсионных уравнений для резонансных волн пион-нуклонного и низших парциальных волн нуклон-нуклонного рассеяния, получаемых на основании вышеуказанного подхода.

С другой стороны, до самого последнего времени оставался открытым вопрос: возможно ли с помощью дисперсионного подхода осуществление одновременного (т.е. при одних и тех же параметрах) количественного описания всех процессов сильных взаимодействий?

Существующая в настоящее время ситуация указывает на то, что задача такого единообразного описания всех процессов сильных взаимодействий, базирующегося на одних и тех же исходных предпосылках, является весьма важной и актуальной. Изложенные в диссертации результаты свидетельствуют о том, что такая универсальная интерпретация сильных взаимодействий, основывающаяся на предположении о доминантности векторных и скалярных мезонов в области не только низких, но и средних энергий действительно может быть получена.

С помощью дисперсионных соотношений для  $\bar{K}N$ - и  $NN$ -рассе-

яния вперед и назад нами рассмотрены такие аспекты проблемы рассеяния пионов и нуклонов в области средних энергий (до 10 Гэв), где важной является роль низкоэнергетических параметров. Поскольку эти последние определяются нами из низкоэнергетической области, то здесь они могут служить целям коррелирования высокоэнергетических параметров.

Диссертация состоит из введения и трех глав.

Во введении кратко охарактеризовано современное состояние теории сильных взаимодействий адронов и сжато изложено содержание диссертации.

В главе I изложены вопросы низкоэнергетического  $\bar{K}N$ -рассеяния. Здесь получена система уравнений для  $S$ - и  $P$ -волн  $\bar{K}N$ -рассеяния с учетом коротковолнового отталкивания. Нахождение решений этой системы уравнений означает переход от феноменологического описания процессов рассеяния - задачи, уже практически решенной в настоящее время - к реализации динамического описания процессов сильных взаимодействий. В последнее время именно эта проблема стала главной в области низких энергий /4/.

Некоторое время тому назад Чу /5/ высказал предположение о том, что ближайшие особенности в  $U$ - и  $\bar{L}$ -канале обеспечивают образование низкоэнергетических связанных состояний и резонансов. Он показал, в частности, что обмен нуклоном в  $ZL$ -канале системы  $\bar{K}N$  генерирует силы, достаточные для образования  $33$ -резонанса.

Фундаментальным пороком такой привлекательной динамической схемы, основанной на решениях уравнений для парциальных амплитуд, являлась до сих пор необходимость выполнения обрезания дисперсионных интегралов, поскольку учет лишь ближайших особенностей приводил к расходимостям этих интегралов. Без введения

обрезания уравнения для парциальных волн вообще не имели решений.

Оказалось, что эту трудность можно устранить, если правильно учесть не только дальнедействующую, но и короткодействующую части потенциала взаимодействия. Учет коротковолнового отталкивания, выполненный методом Ширкова-Серебрякова /2/, обеспечивает правильное асимптотическое поведение парциальных амплитуд, делая тем самым интегралы сходящимися /6, 7/.

Учет коротковолнового отталкивания в  $\pi N$ -рассеянии, как это показано в главе I, приводит не только к описанию правильного энергетического поведения  $s$ -,  $p$ - и  $d$ -волн  $\pi N$ -рассеяния, но позволяет также получить и резонансные решения наиболее интересных  $P_{33}$  - и  $P_{11}$  - волн без необходимости выполнения обрезания /8, 9/. Это позволило найти такие ранее не определяемые характеристики, как массы резонансов. Решения получены  $N/D$  - методом. Для учета неупругости в II-канале использован двухканальный вариант  $N/D$  - метода /10/. Полученные характеристики 33-резонанса, II-резонанса и нуклона как связанного состояния хорошо согласуются с их экспериментальными значениями.

В главе I в рамках дисперсионного метода, основанного на введении парциальных амплитуд комбинированием дисперсионных соотношений вперед-назад, амплитуда  $\pi\pi NN$  представлена в виде, который позволяет использовать ее для описания следующей по сложности в последовательности процессов сильных взаимодействий величины - изовекторных электромагнитных формфакторов нуклонов. Использование этой амплитуды в дисперсионных соотношениях для формфакторов приводит к выражениям, дающим правильное описание их изовекторных частей /11/, справедливое, впрочем, лишь в области передаваемых импульсов до  $|t| \sim 1$  (Гэв)<sup>2</sup>. Это ограничение находится в согласии с низкоэнергетическими представлениями, согласно

которым используемая нами единая амплитуда  $\pi\pi NN$  справедлива в области  $-10 \lesssim \nu \lesssim 10$  ед.  $\mu_\pi^2$  ( $\nu$  - квадрат трехмерного импульса в с.ц.м. системы  $\pi N$ ). Параметры формфакторов замкнутым образом выражаются через параметры  $\pi\pi$ - и  $\pi N$ -взаимодействия, например, для формфактора, представляемого в виде:

$$F_1^V(t) = \frac{e}{2} \left( 1 + \frac{dt}{t_p - t} \right); \quad (1)$$

из этого подхода следует, что

$$d = \frac{t_p + a_1(t_p - 4)}{t_p}, \quad (2)$$

где  $a_1$  - "длина рассеяния" амплитуды  $f_{J=I=1}^{\pi\pi}$  -рассеяния. При значениях  $a_1 \approx 0,1 + 0,2$  и  $t_p \approx 22 \mu_\pi^2$  выражение /1/ вполне удовлетворительно описывает экспериментальные данные в вышеуказанной области малых передаваемых импульсов.

Глава II посвящена рассмотрению низкоэнергетического  $NN$  - рассеяния. В этой главе подробно рассмотрена амплитуда, находящаяся на верхней ступеньке иерархии сильных взаимодействий, а именно, амплитуда  $NN$  -рассеяния - наиболее сложная, интересная и, пожалуй, наиболее важная из амплитуд сильных взаимодействий.

Кратко излагаются результаты работ 1958 года, в которых впервые была сформулирована однобозонная модель и продемонстрирована необходимость учета обмена скалярным мезоном /12-17/. В этих работах, исходя из представления о том, что нуклон-нуклонные силы обусловлены обменом как с псевдоскалярными, так и скалярными мезонами, было получено весьма удовлетворительное описание дифференциальных сечений  $n p$  -рассеяния во всем физическом интервале углов в области энергий от 100 до 600 Мэв.

Рассматривается вопрос о влиянии  $\pi\pi NN$  - взаимодействия на рассеяние нуклонов на нуклонах /18/. Амплитуда рассеяния нуклонов

на нуклонах с помощью условия унитарности выражается через известную из главы I амплитуду  $\bar{K}KNN$ -взаимодействия, определенную для угла рассеяния назад. Произведено сравнение с данными фазовых анализов теоретических значений фаз  $\rho\rho$ -рассеяния с  $l = 2, 3$ . Путем сравнения дисперсионных соотношений для  $KN$ - и  $NN$ -амплитуд с амплитудами, рассчитанными в предположении  $\rho$ - и  $\sigma$ -мезонной доминантности согласно лагранжиану типа Юкавы /18, 25/, получают следующие замкнутые выражения для констант связи  $\rho$ -мезона с нуклонами /18/:

$$g_{\rho NN}^2 = \frac{1}{2} a^- t_\rho d \quad (3)$$

и пионами /19, 20/:

$$g_{\rho NN} g_{\rho \pi\pi} = a^- [t_\rho + a_1(t_\rho - 4)]. \quad (4)$$

Из этих двух соотношений с учетом /2/ следует, что

$$\frac{1}{4} g_{\rho \pi\pi}^2 = g_{\rho NN}^2 = \frac{a^- t_\rho d}{2} \quad (5)$$

и с учетом  $SU_3$ -симметрии - аналогичное выражение для константы  $g_{\omega NN}$ .

Из этих соотношений видно, что гипотеза универсальности Сакураи /21/ может быть также выведена из предположения о  $\rho$ -мезонной доминантности в  $KN$ - и  $NN$ -рассеянии. При  $a_1 = 0, 1, 0, 2$ ,  $a^- = 0, 05 - 0, 06$  и  $t_\rho = 22 \mu_\pi^2$  получаются значения  $g_{\rho \pi\pi}^2 = 2, 4 - 2, 8$ , согласующиеся с экспериментальными значениями ширины  $\rho$ -мезона.

Оказывается, далее, что если длина рассеяния  $a_0$   $S$ -волны  $KK$ -рассеяния в состоянии с  $J = I = 0$  находится в окрестности значений  $a_0 \sim 0, 2$  ед.  $\mu_\pi^{-1}$ , то реализуется аналогичная универсальная связь  $\sigma$ -мезона с пионами и нуклонами

$$g_{\sigma \pi\pi}^2 = g_{\sigma NN}^2 \approx \frac{1}{2} I_\infty t_\sigma \quad (6)$$

Из (6) следует, что отношение  $g_{\sigma}^2/t_\sigma \approx 0, 2 - 0, 3$  ед.  $\mu_\pi^{-2}$ . Данные как по  $KN$ - , так и по  $NN$ -рассеянию хорошо описываются при значениях параметров, вытекающих из соотношений (5)-(6).

На основании полученных результатов формулируется дисперсионная однобозонная модель, приводятся расчеты вкладов диаграмм в инвариантные и парциальные амплитуды  $NN$ -рассеяния. Попутно сформулированы интересные правила кроссинг-симметрии для т.н. "физических" амплитуд  $NN$ -рассеяния, значительно упрощающие вышеуказанные расчеты. Существенной особенностью используемого подхода является то, что при описании различных процессов используются одни и те же параметры. Важным отличием от обычных полюсных моделей является возможность учета унитарного интеграла.

Так, при расчете синглетной  ${}^1S_0$ -волны  $\rho\rho$ -рассеяния /22, 23/ наряду с вкладом  $K$ -,  $\rho$ -,  $\omega$ -,  $\sigma$ -мезонов учитывается также и унитарный интеграл. Для этой волны  $N/D$ -методом впервые найдено аналитическое (хотя и приближенное) решение, основанное на удачной аппроксимации функций Лежандра. Это приближенное решение дает хорошее описание экспериментальных данных, в частности, описывает переход фазы  ${}^1S_0$  через нуль в окрестности 250 Мэв. Сравнение с точными результатами, полученными численными методами /24, 25/, показывают, что это решение хорошо воспроизводит все детали при значениях констант связи, взятых согласно (5) и (6).

Из-за того, что в парциальных волнах вклады  $\sigma$ -мезона оказываются пропорциональными величине  $g_{\sigma}^2/t_\sigma$ , мы не можем сделать определенного заключения о массе  $\sigma$ -мезона.

Что же касается вклада  $\rho$ -мезона, то рассмотрение  ${}^1S_0$ -волны дает наиболее четкий вывод о том, что при  $g_{\rho NN}^2 < 1$

можно получить удовлетворительное описание экспериментальных данных и что, следовательно, данные по  $NN$ -рассеянию не противоречат гипотезе универсальности Сакураи /21/. Как показали наши расчеты, зависимость фаз  $NN$ -рассеяния от  $g_{\rho NN}^2$  слабая и, по-видимому, как раз это обстоятельство и привело к известному заблуждению, что данные по  $NN$ -рассеянию, согласно /24/, противоречат этой гипотезе.

Основываясь на аналитическом решении для  $^4S_0$ -волны, впервые удалось получить теоретические значения параметров теории эффективного радиуса, выраженные через параметры бозонов /26/.

Далее приводятся расчеты  $\rho$ -волн ( $\ell = 1$ )  $pp$ -рассеяния /27/. Показано, что все  $\rho$ -волны, за исключением волны  $^3P_0$ , удовлетворительно описывают экспериментальные данные без учета унитарного интеграла при значениях констант связи, полученных из рассмотрения других парциальных волн. Для волны  $^3P_0$  необходимо оказывается учет унитарного интеграла.

При выполнении расчетов по  $\rho$ -волнам практически все интересные парциальные волны  $pp$ -рассеяния (именно, с  $\ell = 0, 1, 2, 3$ ) сравнивались с экспериментом. Парциальные волны с  $\ell \geq 4$  описываются однопионным членом и в настоящее время теоретического интереса не представляют.

Нами выполнены также расчеты парциальных амплитуд  $pp$ -рассеяния с учетом некоррелированного  $\pi\pi$ -взаимодействия /28/. При этом использовались оценки квадратных диаграмм, выполненные Амати, Лидером и Витале /29/. Оказывается, что учет этих диаграмм несколько ухудшает энергетическое поведение парциальных амплитуд. Вопрос о роли таких диаграмм в  $NN$ -рассеянии до сегодняшнего дня окончательно не решен, хотя в последнее время появилось много работ, посвященных этой проблеме (см., напр., /30/).

После детального рассмотрения  $pp$ -рассеяния мы обратились к изучению  $np$ -рассеяния /31/. Данные по этому процессу являются менее точными (см., напр., /32, 33/), поэтому прямое сравнение теории с экспериментом на фоне удовлетворительного описания  $pp$ -рассеяния здесь не представляет задачи первостепенной важности. Для отбора же единственного решения использование дисперсионных соотношений очень интересно, поскольку до сегодняшнего времени в области энергий порядка

50 Мэв однозначный фазовый анализ не выполнен. Для решения этой задачи использовали дисперсионные соотношения для парциальных амплитуд  $np$ -рассеяния. Получены дисперсионные пороговые правила суммы, которые хорошо выполняются. Путем сравнения энергетического хода фаз рассеяния выполнен отбор наилучшего фазового решения.

В главе III рассмотрено рассеяние пионов и нуклонов при средних энергиях (до 10 Гэв). Это особая область энергий, где не применимы ни чисто высокоэнергетические, ни чисто низкоэнергетические идеи и понятия, однако все еще важную роль играют низкоэнергетические параметры. В этой связи возникает вопрос о том, насколько они согласуются с параметрами, использованными при описании данных в области низких энергий.

Рассмотрена дисперсионная модель для  $\pi N$ -рассеяния назад в области средних энергий, имеющая существенные преимущества перед известной моделью Баргера-Клайна /34/ и ее последующими модификациями. Наша модель основана на использовании дисперсионных соотношений назад, детально изученных в главе I. Оказалось, что наряду с данными по  $\pi^+p$ -рассеянию назад /35/, в этой модели хорошо описываются и высокопрецизионные данные



по процессу  $\bar{p}-\bar{p}n$  - рассеяния /36/. Интересно отметить, что при таком описании важным, хотя и небольшим по абсолютной величине, оказывается вклад нуклона, учитываемого в дисперсионном соотношении как полюс в  $S$  - канале, т.е. как элементарная частица. Недавно в литературе появились аналогичные указания на то, что нуклон является элементарным /37/.

И, наконец, в последнем разделе главы III рассматриваются дисперсионные правила сумм для амплитуд  $\bar{p}N$ - и  $NN$ -рассеяния. Получено модифицированное конечноэнергетическое правило сумм для амплитуды  $\bar{p}N$ -рассеяния /38/ типа правила сумм Ижи-Соловьева-Логанова-Тавхелидзе /39, 40/.

Проведена проверка выполнения конечноэнергетических правил сумм для амплитуды  $NN$ -рассеяния. Эти последние также выполняются при принятых нами значениях низкоэнергетических параметров  $NN$ -рассеяния.

Важным итогом результатов, описанных в главе III, является хорошее согласование использованных здесь значений низкоэнергетических параметров с их значениями, описанными в главах I и II.

Отдельные части диссертации докладывались на Всесоюзной межвузовской конференции по квантовой теории полей и теории элементарных частиц (Ужгород, 1958), VI Всесоюзной межвузовской конференции по теории элементарных частиц (Ужгород, 1965), I Международном совещании по нуклон-нуклонным и пион-нуклонным взаимодействиям (Дубна, 1968), IV научной конференции молодых математиков Украины (Киев, 1968), Рабочих совещаниях по аксиоматической теории поля и теории элементарных частиц в ИТФ АН УССР (Киев, 1968-1969 гг.), Международной конференции по физике высоких энергий (Киев, 1970) и на IV Рабочем совещании по физике высоких энергий в ИТФ АН УССР (Киев, 1971).

Основное содержание настоящей диссертации опубликовано в статьях (6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 26, 27, 28, 31, 35, 38).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- /1/. Д.В.Ширков, В.В.Серебряков, В.А.Мещеряков. Дисперсионные теории сильных взаимодействий при низких энергиях. Наука, Москва, 1967.
- /2/. В.В.Серебряков, Д.В.Ширков. Проблемы физики элементарных частиц и атомного ядра /ЭЧАЯ/. Атомиздат, Москва, 1970, том I, вып. I, стр. 171
- /3/. П.С.Исаев. Проблемы физики элементарных частиц и атомного ядра /ЭЧАЯ/, Атомиздат, Москва, 1971, т.2, вып. I, стр. 67.
- /4/. Дж.Чью. Аналитическая теория  $S$  - матрицы. "Мир", М., 1968.
- /5/. G. Chew. Phys.Rev.Lett., 9, 233, 1962.
- /6/. В.И.Лендьял, В.В.Серебряков, Д.В.Ширков. Яд.физ., 6, 625, 1967.
- /7/. В.И.Лендьял, Д.М.Марина. Яд.физ., 7, 635, 1968.
- /8/. В.И.Лендьял, Д.М.Марина. Яд.физ., 8, 1044, 1968.
- /9/. В.И.Лендьял, Д.М.Марина. В сб. "Четверта наукова конференція молодих математиків України", стр. 217, Киев, АН УССР, Ин-т математики, 1968.
- /10/. В.И.Лендьял, Д.М.Марина. Препринт ИТФ-69-22, Киев, 1969.
- /11/. А.И.Лендьял, В.И.Лендьял, В.А.Мещеряков и др. Яд.физ., 3, 1093, 1966.
- /12/. Д.М.Ломсадзе, В.И.Лендьял, Б.М.Эрнст. ЖЭТФ, 37, 1342, 1959.
- /13/. Ю.М.Ломсадзе, В.И.Лендьял, И.Д.Кривский. Укр.физ.журн., 4, 123, 1959.
- /14/. Д.М.Ломсадзе, В.И.Лендьял, И.Д.Кривский и др. В сб. "Проблемы современной теории элементарных частиц" № 2 /Труды Всесоюзной межвузовской конференции по теории элементарных частиц, 1958г./, стр. 211, Ужгород, Закарпатское обл. из-во, 1959.

- /15/. Д.М.Ломсадзе, В.И.Лендъел, И.Д.Кривский. В сб. "Проблемы современной теории элементарных частиц № 2 /Труды Всесоюзной межвузовской конференции по теории элементарных частиц, 1958 г./, стр.195, Ужгород, Закарпатское обл. из-во, 1959.
- /16/. Д.М.Ломсадзе, В.И.Лендъел, И.Д.Кривский. Известия ВУЗ"ов., Физика, 4, 123, 1959.
- /17/. Д.М.Ломсадзе, В.И.Лендъел, Б.М.Эрнст. Укр.физ.журн., 5, 773, 1960.
- /18/. В.И.Лендъел, Б.М.Эрнст. Яд.физ., 6, 614, 1967.
- /19/. В.И.Лендъел, Д.М.Марина. Препринт ИТФ-69-90, Киев, 1969. См.также сб. ХУ Международная конференция по физике высоких энергий, том.2, стр.492, Киев, 1970.
- /20/. В.И.Лендъел, Д.М.Марина. Яд.физ., 12, 862, 1970.
- /21/. J.J.Sakurai. Phys.Rev.Lett., 17, 1021, 1966.
- /22/. V.I.Lendyel, E.V.Tovtin. Nucl.Phys., B5, 346, 1968.
- /23/. В.И.Лендъел, Е.В.Товтин. В сб. "Четвертова наукова конференція молодих математиків України", стр.218, Киев, АН УССР, Ин-т математики, 1968.
- /24/. J.S.Ball, A.Scotti, D.Wong. Phys.Rev., 142, 1000, 1966.
- /25/. В.И.Лендъел, В.В.Серебряков. Яд.физ., 7, 879, 1968.
- /26/. В.И.Лендъел, Е.В.Товтин, Б.М.Эрнст. В сб. "Нуклоны и пионы", материалы I Международного совещания по нуклон-нуклонным и пион-нуклонным взаимодействиям, стр.120; препринт ОИЯИ РІ-397І, Дубна, 1968.
- /27/. В.И.Лендъел, Е.В.Товтин. Укр.физ., журн., 15, 1761, 1970.
- /28/. В.И.Лендъел, Е.В.Товтин, Б.М.Эрнст. Препринт ИТФ-69-35, Киев, 1969.
- /29/. D.Amati, E.Leader, V.Vitale. Phys.Rev., 130, 750, 1963.
- /30/. J.Binstok, Phys.Rev., D, 3, 1139, 1971, См.также R.Brian et al. Phys.Rev.D, 4, 1341, 1971.

- /31/. В.И.Лендъел, Е.В.Товтин. Препринт ИТФ-71-115Е, Киев, 1971.
- /32/. З.Яноут, Д.М.Казаринов, Ф.Легар и др. В сб. "Нуклоны и пионы", Материалы I Международного совещания по нуклон-нуклонным и пион-нуклонным взаимодействиям, стр.40 ОИЯИ РІ-397І, Дубна, 1968.
- /33/. М.Макгрегор. В сб. "Нуклоны и пионы", Материалы I Международного совещания по нуклон-нуклонным и пион-нуклонным взаимодействиям, стр.95, ОИЯИ РІ-397І, Дубна, 1968. См.также Phys. Rev., 182, 1714, 1969.
- /34/. V.Barger, D.Cline. Phys.Rev., 155, 1792, 1967.
- /35/. А.И.Лендъел, В.И.Лендъел, Препринт ИТФ-72-180Е, Киев, 1972. См.также сб. "Comp. and dual models", стр.101, К., 1971.
- /36/. V.Kistiakovski, P.Triantis, R.Yamamoto et al. Phys.Rev. Lett., 26, 1498, 1971.
- /37/. И.Ф.Гинзбург. Яд.физ., 17, 1297, 1973.
- /38/. V.I.Lendyel, J.Mathews. Phys.Lett., 5, 286, 1963, См.также V.I.Lendyel, J.Mathews. CIT-preprint, Pasadena, Calif., 1963.
- /39/. K.Igi. Phys.Rev.Lett., 9, 76, 1962.
- /40/. A.A.Logunov, L.D.Soloviev, A.N.Tavkhelidze. Phys.Lett., 24B, 18, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 декабря 1973 года.