

T-35

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

2 - 6959

ТЕР-АНТОНЯН  
Валерий Мкртычевич

ДВУХФОТОННЫЕ ПРОЦЕССЫ  
ОБРАЗОВАНИЯ АДРОНОВ

Специальность 01.04.02 - теоретическая  
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1973

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики  
Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:  
член-корреспондент АН СССР Д.И. Блохинцев,  
доктор физико-математических наук Р.М. Мурадян

Официальные оппоненты:  
доктор физико-математических наук Б.А. Арбузов,  
доктор физико-математических наук П.С. Исаев

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт  
теоретической физики АН УССР, г. Киев.

Автореферат разослан " " 1973 года.  
Защита диссертации состоится " " 1973 года  
на заседании Ученого совета Лаборатории теоретической фи-  
зики.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Р.А. Асанов

2 - 6959

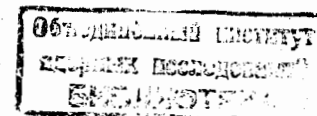
ТЕР-АНТОНЯН  
Валерий Мкртычевич

ДВУХФОТОННЫЕ ПРОЦЕССЫ  
ОБРАЗОВАНИЯ АДРОНОВ

Специальность 01.04.02 - теоретическая  
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



1. После ввода в строй нового поколения установок со встречными  $e^-e^-$  и  $e^+e^-$  пучками произошел огромный скачок по энергии в системе центра масс. Это позволило выполнить ряд фундаментальных экспериментов по проверке квантовой электродинамики: рассеяние Меллера и Баба, аннигиляция  $e^+e^-$  -пары в мюонную и фотонную пары, рождение двух и трехпионных, а также двухкаонных систем в окрестности векторных мезонов.

Однако основная цель, которую преследовали при создании этих машин, состояла в изучении процесса аннигиляции  $e^+e^-$  -пары в  $C$  -нечетную систему адронов в далекой времениподобной области

$$e^- + e^+ \longrightarrow \text{адроны} . \quad /1/$$

Сечение такого однофотонного процесса при больших энергиях встречных пучков ведет себя как сечение аннигиляции  $e^+e^-$  -пары в пару точечных частиц, т.е. падает обратно пропорционально квадрату энергии в с.ц.м. Поэтому до последнего времени при конструировании электронных накопительных колец, в основном, заботились о повышении светимости при энергиях 6 Гэв и ниже, а увеличение энергии в с.ц.м. казалось второстепенным.

Положение радикально изменилось после того, как обнаружилось, что в процессах рождения на встречных пучках высоких энергий доминирующую роль играет двухфотонный механизм, т.е. схема

$$e + e \longrightarrow \gamma^* + \gamma^* + e + e \longrightarrow e + e + \text{адроны} . \quad /2/$$

Примечательность этой схемы в том, что она дает уникальную возможность экспериментального исследования процессов двухфотонного рождения  $C$ -четных /в частности, сильно взаимодействующих/ систем

$$\gamma^*(q_1) + \gamma^*(q_2) \rightarrow \text{адроны} \quad /3/$$

в области  $q_1^2, q_2^2 \leq 0$ . В свою очередь, процесс /3/ можно

отнести к разряду наиболее фундаментальных процессов в физике адронов. Действительно, его исследование позволит выяснить необычайно широкий круг вопросов, /1/ а именно: аномалия Адлера и низкоэнергетические теоремы алгебры токов; фундаментальное  $\pi\pi$ -взаимодействие и проверка результатов алгебры токов относительно разности масс заряженного и нейтрального пиона; проверка  $CP$ -инвариантности, унитарности и поиски  $C$ -четных резонансов; фундаментальное  $\gamma\gamma$ -взаимодействие, вклад  $C$ -четных адронных состояний в квантовую электродинамику и проверка гипотезы РСАС при высоких энергиях и т.д.

Наиболее интенсивно процесс /2/ исследовался тремя группами /3/. Вычисление полных сечений для конечных состояний, содержащих  $\mu^-$ ,  $\pi^-$  и  $K^-$ -пары при энергиях 2 и 3 Гэв, показало, что они сравнительно велики /т.е. больше или порядка полного сечения однофотонного процесса /1/ при тех же значенных энергий/ и растут с ростом энергии пучков. Была развита кинематика процесса, установлена связь наблюдаемых сечений с амплитудами  $\gamma\gamma$ -рассеяния вперед в представлении спиральных амплитуд и через инвариантные амплитуды и оценена возможность измерения этих величин в зависимости от эффективной массы рождающейся адронной системы и от квадратов масс виртуальных фотонов. Вместе с тем были подробно разобраны такие детали, как угловое распределение и угловая корреляция, что может оказаться существенным для выделения событий, обусловленных двухфотонным механизмом на фоне однофотонного процесса /1/.

Почти одновременно с работами /3/ появились статьи /4-6/, в которых обсуждались еще два способа исследования процесса /3/. Первый из них предлагает использовать обобщенный эффект Примакова /4/, т.е. процесс, в котором пучок фотонов сталкивается с виртуальным фотоном кулоновского поля заряженной мишени  $Z$  и образует систему адронов

$$\gamma + Z \rightarrow Z + \text{адроны} \quad /4/$$

Если энергия налетающих фотонов много больше эффективной массы рождающейся адронной системы, то процесс проходит с очень малой передачей импульса, и виртуальный фотон может рассматриваться как реальный. Хотя, в общем случае, амплитуда процесса /4/ включает в себя как кулоновскую часть, так и ядерную, тем не менее, при больших энергиях вклад кулоновской части становится доминирующим, несмотря на добавочный фактор  $\alpha = 1/137$  по сравнению с вкладом от ядерной части амплитуды. Основной результат анализа эффекта Примакова сводится к утверждению, что при малых переданных импульсах по отдаче мишени можно судить о величине полного сечения двухфотонного рождения адронов /3/.

Второе направление, в котором могут быть получены экспериментальные данные относительно процесса /3/, - это исследование электронно-позитронной аннигиляции в адроны с выделенным  $\gamma$ -квантом /5,6/:

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \text{адроны} \quad /5/$$

Последний процесс характеризуется третьим порядком по постоянной тонкой структуры, и поэтому, хотя его сечение при энергиях пучков в несколько Гэв значительно меньше полного сечения процесса /3/, в области умеренных энергий процесс /5/ более существенен.

II. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения.

Во введении кратко обсуждаются: принцип автомодельности /7/ в лептон-адронных и сильных взаимодействиях; теоретические и экспериментальные результаты, полученные в области исследования основных нелинейных эффектов квантовой электродинамики - рассеянии света на свете /2/; распад одного фотона на два и слияние двух фотонов в один в электромагнитном поле ядра; когерентное рассеяние в кулоновском поле ядра; современные направления исследования двухфотонных глубоконеупругих процессов.

Первая глава /§§ 1-3/ содержит: кинематический анализ процесса /5/; исследование вкладов диаграмм, соответствующих конечным состояниям с противоположными зарядовыми четностями; обсуждение возможности экспериментального измерения структурных функций, описывающих абсорбционную часть амплитуды рассеяния света на свете вперед; обзор простейшей партонной модели на примере процесса глубоконеупругого электророжения на протоне; краткое обсуждение результатов, относящихся к проблеме аналитического продолжения масштабно-инвариантных функций процесса аннигиляции  $e^+e^-$

пары в адроны с выделенным протоном в область глубоконеупругого электророждения на протоне в рамках различных моделей; оценка сечения процесса /5/ в автомодельном пределе.

Во второй главе /§§ 4-7/ рассматриваются: резонансные эффекты в процессе рассеяния света на свете, обусловленные образованием и последующим распадом некоторых  $C$ -четных систем; процесс аннигиляции  $e^+e^-$ -пары в псевдоскалярный мезон и фотон при полной энергии начальных пучков, близкой к массам векторных мезонов; образование  $\epsilon$ -мезона в процессе аннигиляции  $e^+e^-$ -пары в систему  $\pi^+\pi^-$  и фотон вблизи массы  $\phi$ -мезона; резонансный эффект аннигиляции двух фотонов в  $f$ -мезон с последующим рождением  $\pi^+\pi^-$ -системы.

В главу III /§§ 8-10/ вошли: изложение метода эквивалентных фотонов на примере процесса глубоконеупругого электророждения на протоне и его применение к выводу связи между полными сечениями процессов /2/ и /3/; обсуждение вопроса о принципиальной возможности наблюдения на встречных  $e^+e^-$ -пучках дискутирующегося в последнее время процесса глубоконеупругого рассеяния электрона на фотонной мишени; формулировка условия положительной полуопределенности в высокоэнергетическом  $\gamma\gamma$ -рассеянии вперед и вывод ограничений /в виде неравенств/, накладываемых этим условием на структурные функции процесса /3/.

В заключении приведены основные результаты, полученные в диссертации.

III. Материал, изложенный в диссертации, распределен по параграфам следующим образом.

§1. В низшем порядке по электромагнитному взаимодействию процессу /5/ соответствуют два типа диаграмм. Две диаграммы первого типа описывают внешнее излучение

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma^* + \gamma \rightarrow \gamma + \text{адроны}, \quad /6/$$

при котором конечный фотон рождается в результате чисто электромагнитного взаимодействия между начальными электроном и позитроном, а адронная система образуется в процессе распада виртуального фотона  $\gamma^*$ . Диаграмма второго типа характеризует внутреннее рождение

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma^* \rightarrow \gamma + \text{адроны}, \quad /7/$$

т.е. процесс, в котором начальная  $e^+e^-$ -пара аннигилирует в виртуальный фотон  $\gamma^*$ , распадающийся на систему адронов и реальный фотон. В зарядово-симметричном эксперименте интерференция между этими типами диаграмм отсутствует, так

что  $d\sigma / e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \text{адроны} / = d\sigma / e^-e^+ \rightarrow \gamma^* + \gamma \rightarrow \gamma + \text{адроны} / + d\sigma / e^- + e^+ \rightarrow \gamma^* \rightarrow \gamma + \text{адроны} /$ . Сечение процесса /6/ выражается через полное сечение аннигиляции  $e^+e^-$ -пары в адроны /1/. Это, в свою очередь, означает, что фон внешнего тормозного излучения в процессе /5/ может быть выделен.

§2. Показано, что дифференциальное сечение процесса /7/, просуммированное по всем допускаемым законами сохранения адронным состояниям, выражается через абсорбционную часть  $\rho_{\mu\nu\lambda\sigma}$  амплитуды рассеяния света виртуальным фотоном вперед. Величина  $\rho_{\mu\nu\lambda\sigma}$  зависит от 4-импульсов виртуального ( $q$ ) и реального ( $q'$ ) фотонов. Из условий градиентной инвариантности, эрмитовости и  $PT$ -инвариантности следует, что тензор  $\rho_{\mu\nu\lambda\sigma}$  выражается через четыре вещественные функции  $\rho_i(q^2)$ , зависящие от двух инвариантов - квадрата массы виртуального фотона  $q^2$  и переменной  $\nu = qq'$ , определяющей энергию реального фотона в с.ц.м. начальной пары. Обсуждаются эксперименты, в которых могут быть измерены эти функции, а также вопрос о выделении сечения внутреннего рождения /7/ на фоне внешнего тормозного излучения /6/ и образования фотонов в результате распада рождающихся в процессе /1/  $\pi^0$ -мезонов.

§3 посвящен более детальному анализу процесса /7/. Из модели векторной доминантности следует, что между сечениями процесса /7/ и процесса, отличающегося от него заменой конечного фотона векторным мезоном

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma^* \rightarrow V + \text{адроны}, \quad /8/$$

существует простая связь. После усреднения по поляризациям начальных и конечных частиц процесс /8/ описывается двумя

структурными функциями  $\bar{W}_1^{(V)}(q^2, \nu)$  и  $\bar{W}_2^{(V)}(q^2, \nu)$ . В пределе  $q^2 \rightarrow \infty$ ,  $x = q^2/2\nu$ , фикс., который в с.ц.м. электронно-позитронной пары соответствует большим энергиям и достаточно жестким конечным фотонам, безразмерные структурные функции

$$\bar{W}_1^{(\rho)}(q^2, \nu) \quad \text{и} \quad \frac{\nu}{m_\rho^2} \bar{W}_2^{(\rho)}(q^2, \nu) \quad \text{зависят, согласно прин-}$$

ципу автомодельности, лишь от переменной  $x$  ( $1 < x < \infty$ ). В предположении справедливости аналитического продолжения в область глубоконеупругого электророждения на векторном мезоне

$$e^- + V \rightarrow e^- + \text{адроны} \quad /9/$$

получена связь сечения процесса /7/ с масштабно-инвариантными функциями  $F_i^{(\rho)}(x)$  процесса /9/

$$\frac{d\sigma}{dx} = \frac{2\pi a^3}{q^2 x^3} \frac{1}{4\gamma^2 \rho} [F_1^{(\rho)}(x) + \frac{1}{6x} F_2^{(\rho)}(x)] \quad /10/$$

В рамках простейшей партонной модели

$$F_2^{(\rho)}(x) = \frac{2}{9} \frac{x}{1 - \log x} \left[ \frac{(1-x)^2}{x(2-x)} - \frac{1}{2} \frac{1}{(1-x)^2} \frac{\ln x(2-x) + (1+x)^2}{2} \right]$$

$$F_1^{(\rho)}(x) = \frac{1}{2x} F_2^{(\rho)}(x).$$

Для сечения  $\Delta\sigma$ , соответствующего интегрированию /10/ в интервале /1,1 - 1,3/, найдено значение  $10^{-35} - 10^{-36} \text{см}^2$ .

§4. При энергиях, превышающих порог рождения частиц, масса которых больше массы электрона, результаты квантовой электродинамики нуждаются в модификации, учитывающей, что фотон может взаимодействовать с любой частицей, имеющей заряд или магнитный момент, и что некоторые нейтральные частицы /  $\pi^0, \eta, f$  и т.д./ распадаются на два фотона. В §4 вычисляются вклады низших адронных состояний  $\pi^0$  и  $\eta$  в рассеяние света на свете /9/. С точки зрения учета адронных поправок процесс  $\gamma\gamma$ -рассеяния особенно интересен тем, что эти поправки имеют тот же порядок по постоянной тонкой структуры  $\alpha$ , что и низший член теории возмущений для процесса  $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$  в квантовой электродинамике. Вклады одночастичных адронных состояний существенны при энергиях, близких к массам соответствующих частиц. Сам процесс при этом становится резонансным, т.е. два фотона аннигилируют в нейтральную сильно взаимодействующую частицу, а последняя распадается на два фотона.

Показано, что хотя в схеме резонансного рассеяния максимальное сечение соответствует процессу, идущему через образование паразитрония /  $\sigma_{\text{рез}} \approx 2 \cdot 10^{-20} \text{см}^2$  /, дифференциальное сечение при усреднении по 2% немонахроматичности пучка становится порядка  $6 \cdot 10^{-31} \text{см}^2 / \text{стерад}$ , т.е. немногим

больше вклада от электронной петли /  $1,7 \cdot 10^{-32} \text{см}^2 / \text{стерад}$  / при той же энергии. Вблизи масс  $\pi^0$  и  $\eta$ -мезонов  $\sigma_{\pi^0} = 1,1 \cdot 10^{-24} \text{см}^2$  и  $\sigma_{\eta} = 0,7 \cdot 10^{-26} \text{см}^2$ . При усреднении по 2% немонахроматичности фотонного пучка  $\bar{\sigma}_{\pi^0} = 1,2 \cdot 10^{-30} \text{см}^2$ ,  $\bar{\sigma}_{\eta} = 2,5 \cdot 10^{-30} \text{см}^2$ , что на шесть порядков превосходит чисто электромагнитный вклад при той же энергии.

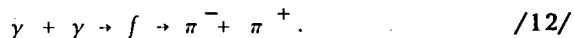
В §5 рассматриваются конкретные каналы процесса /5/, в которых в конечном состоянии вместе с фотоном рождается псевдоскалярный мезон. Сечения таких процессов достигают максимальных значений при энергиях встречных пучков, близких к массам векторных мезонов, т.е. в режиме, удобном для экспериментальной проверки предсказаний  $SU(3)$ -симметричных теорий и моделей со смешиванием относительно ширины радиационных распадов векторных мезонов на псевдоскалярные /11-13/.

§6. Существует большое количество экспериментальных данных и теоретических аргументов в пользу существования скалярного резонанса в системе двух пионов, обычно называемого  $S-, \eta_{0+}$  или  $\epsilon$ -мезоном. Прямое исследование  $\pi\pi$ -взаимодействия в реакциях рассеяния  $\pi$ -мезонов на  $\pi$ -мезонах сопряжено со значительными трудностями. Среди косвенных методов наиболее обильные данные относятся к реакции  $\pi N \rightarrow \pi N$ . Такой подход базируется на гипотезе одномезонного обмена и законности экстраполяции вершинной функции  $f_{N\pi\pi}$  соответствующей константой связи. Обсуждается процесс /6,7/

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \pi^- + \pi^+, \quad /11/$$

который более удобен для решения вопроса о существовании  $\epsilon$ -мезона. Преимущество использования процесса /11/ диктуется как простотой динамического и кинематического анализа, так и тем обстоятельством, что он по существу является единственным процессом, в котором можно наблюдать распад  $\epsilon \rightarrow \pi^- \pi^+$ . Процесс /11/ описывается двумя типами диаграмм: двумя диаграммами, соответствующими внешнему тормозному излучению, и одной диаграммой, соответствующей внутреннему рождению. В отличие от диаграмм внутреннего рождения диаграммы внешнего тормозного излучения получают вклад только от изовекторных фотонов. В качестве такового наиболее удобен  $\phi$ -мезон, так как в распаде  $\phi \rightarrow \epsilon + \gamma$  фотон уносит в зависимости от массы  $\epsilon$ -мезона /700-1000 Мэв/ энергию от 200 до 300 Мэв, т.е. является достаточно жестким, так что можно воспользоваться рецептом, описанным в §2, и ликвидировать фон внешнего тормозного излучения. Показано, что в простейшей кварковой модели, где  $\phi$  и  $\epsilon$ -мезоны описываются осцилляторным потенциалом, сечение процесса  $e^- + e^+ \rightarrow \epsilon + \gamma$  равно  $10^{-2} - 10^{-3} \mu\text{в}$ .

§7. Сечения процессов рождения адронов на встречных пучках /2/ велики в области малых эффективных масс адронных систем. Поэтому вслед за одиночным рождением адронов наиболее доступным в ближайшем будущем будет процесс аннигиляции двух фотонов в пионную пару /10/. Этот процесс, в частности, удобен для исследования некоторых  $C$ -четных резонансов, например  $f$  и  $f'$ -мезонов. Рассматривается резонансный процесс



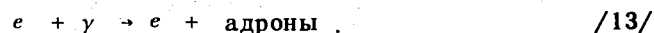
Согласно гипотезе векторной доминантности, матричные элементы распадов  $f \rightarrow 2\gamma$  и  $f \rightarrow 2\rho^0$  связаны простым соотношением. Принимается гипотеза универсальности, согласно которой константы распадов  $f \rightarrow 2\rho^0$  и  $f \rightarrow 2\pi^0$  совпадают. Вместе с изотопической инвариантностью это приводит к выводу, что  $g_{f \rightarrow 2\rho^0} = g_{f \rightarrow \pi^+ \pi^-}$ , т.е. неизвестная константа

$g_{f \rightarrow 2\gamma}$  выражается через постоянную  $g_{f \rightarrow \pi^+ \pi^-}$ .

Константа  $g_{f \rightarrow \pi^+ \pi^-}$  определяется по экспериментально известной ширине /150 Мэв/ распада  $f \rightarrow \pi^+ \pi^-$ . Показано, что  $\Gamma(f \rightarrow 2\gamma) = 8$  кэв,  $\sigma(E \approx m_f) = 3.10^{-29}$  см.<sup>2</sup>

В §8 обсуждается приближение Вейзеккера-Вильямса в применении к двухфотонным процессам рождения адронов /3/.

§9. Здесь обсуждается возможность исследования глубоко-неупругого электророждения на фотонной мишени



Процесс /13/ является  $t$ -каналом процесса /5/ и вместе с ним полностью описывает абсорбционную часть амплитуды рассеяния вперед реального фотона на виртуальном. Получена оценка на сечение /13/ в случае  $C$ -нечетных адронных систем. В рамках приближения эквивалентных фотонов найдена связь дифференциального сечения процесса /2/ в режиме, когда один из рассеянных электронов регистрируется под большим углом к начальному пучку, с соответствующим дифференциальным сечением процесса /13/. В предположении справедливости модели векторной доминантности и принципа автомодельности показано, что при  $E = 3$  Гэв и  $|q_{min}^2| = 1$  Гэв<sup>2</sup> /  $q^2$  - масса виртуального

фотона /  $\sigma_{tot}(ee \rightarrow ee + \text{адр.}) = 10^{-35}$  см.<sup>2</sup>

§10. Сформулировано так называемое условие положительной полуопределенности /15/ в высокоэнергетическом  $\gamma\gamma$ -рассеянии вперед и найдены ограничения, накладываемые этим условием на структурные функции. Показано, что имеют место следующие и только следующие неравенства

$$W_{TT} \geq \frac{1}{2} (W_{TT} + W_{TT}^a) \geq \frac{1}{2} |W_{TT}^r|, \quad /14a/$$

$$\epsilon W_{SS} (W_{TT} + W_{TT}^r + W_{TT}^a) > \epsilon (W_{TT}^r + W_{TS}^r)^2, \quad /14б/$$

$$\epsilon W_{TS} W_{ST} > \epsilon (W_{TS}^r - W_{TS}^r)^2, \quad /14в/$$

$$\text{Sign } q_1^2 W_{ST} \leq 0, \quad \text{Sign } q_2^2 W_{TS} \leq 0, \quad /14г/$$

где  $q_i^2$  - массы виртуальных фотонов,  $W_{TT}$ ,  $W_{TS}$  и т.д. - структурные функции процесса  $\gamma\gamma$ -рассеяния вперед, а

$$\epsilon = \text{Sign } q_1^2 \cdot \text{Sign } q_2^2.$$

Эксперименты с неполяризованными пучками "не реагируют" на структурные функции  $W_{TT}^a$  и  $W_{TT}^r$  и поэтому для определения порядка этих функций полезны неравенства

$$W_{TT} \geq \frac{1}{2} |W_{TT}^r|$$

$$(W_{SS} W_{TT} + \frac{1}{2} W_{TS} W_{ST})^2 \geq (W_{TS}^r)^2.$$

Основные результаты, использованные в диссертации, опубликованы в работах /6, 8, 9, 14, 15/.

#### Литература

1. Л.Д. Соловьев. Материалы XV Международной конференции по физике высоких энергий, Киев, 1970. Изд. ОИЯИ, 5454, п. 1-2, Дубна, 1970.
2. V.M. Harutyunian, F.R. Harutyunian, K.A. Jspirian, V.A. Tumanian. Phys.Lett., 6, 175 (1969).

3. N.A.Romero, A.Taccarini, P.Kessler. *Nuovo Cim.*, 4, 933 (1970).  
В.М.Буднев, И.Ф.Гинзбург. *Препринт ТФ-56, Новосибирск /1970/.*  
S.T.Brodsky, T.Kinoshita, H.Tarazawa. *Phys.Rev.*, D3, 356 (1971).
4. L.Stodolsky. *Phys.Rev.Lett.*, 26, 404 (1971).
5. M.J.Creutz, M.B.Einhorn. *Phys.Rev.*, D1, 2537 (1970).
6. Z.Kunszt, R.M.Muradyan, V.M.Ter-Antonyan. *Preprint JINR, E2-5347, Dubna, 1970.*
7. В.А.Маввеев, Р.М.Мурадян, А.Н.Тавхелидзе. *ЭЧАЯ*, т. 2, вып. 1, стр. 1-32 /1970/.
8. Z.Kunszt, R.M.Muradyan, V.M.Ter-Antonyan. *Acta Physica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 31, 1-3 (1972).
9. Z.Kunszt, R.M.Muradyan, V.M.Ter-Antonyan. *Preprint JINR, E2-5224, Dubna, 1970.*
10. P.S.Isaev, V.I.Khleskov. *Preprint JINR, E2-6160, Dubna, 1970.*
11. A.N.Tavkhelidze. *High Energy Physics and Elementary Particles*, p. 763, Vienna (1965).
12. L.D.Soloviev. *Phys.Lett.*, 16, 345 (1965).
13. S.B.Gerasimov. *Proceedings of the 1970 CERN School of Physics, Loma-Koli, Finland*, pp 181-285.
14. Z.Kunszt, V.M.Ter-Antonyan. *Preprint JINR E2-6036, Dubna, 1971.*
15. Z.Kunszt, V.M.Ter-Antonyan. *Nuovo Cimento Letters*, 4, No. 7, (1972).

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 февраля 1973 года.