

Д-569

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

2 - 9908

ДОГОТАРЬ
Григорий Ефимович

ЗАХВАТ МЮОНОВ ЛЕГКИМИ АТОМНЫМИ ЯДРАМИ

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1976

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук Р.А. Эрамбян.

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук В.Б. Беляев,
кандидат физико-математических наук Г.Я. Коренман.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: ФИАН СССР,
Москва.

Автореферат разослан " " _____ 1976 года.

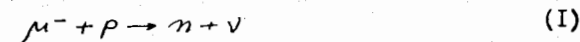
Защита диссертации состоится " " _____ 1976 года
на заседании специализированного Ученого совета К-56 Лаборатории
теоретической физики Объединенного института ядерных исследований,
г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук В.И. Дуралев.

Процессы захвата мюонов атомными ядрами являются важным источником информации как о природе слабого взаимодействия, так и о структуре атомных ядер. Современное описание этих процессов базируется на гамильтониане мюон-ядерного взаимодействия. При построении гамильтониана использован целый ряд гипотез из физики элементарных частиц: гипотеза об универсальном взаимодействии Ферми^{/1/}, о сохранении векторного^{/2/} и частичного сохранения аксиального токов^{/3/}. Все эти гипотезы нашли свое отражение в различных членах эффективного мюон-ядерного гамильтониана^{/4/}. Поэтому задача получения информации о природе слабого взаимодействия сводится к детальному изучению структуры эффективного гамильтониана взаимодействия, т.е. практически - к установлению численных значений констант взаимодействия.

Одних экспериментальных данных о скорости захвата мюонов свободным протоном



недостаточно для детального анализа структуры гамильтониана, и поэтому возникает необходимость использовать для этой цели переходы в сложных ядрах. В последнем случае открываются возможности для измерения большего числа характеристик процесса. При интерпретации результатов измерения различных характеристик захвата мюонов сложными ядрами положение осложняется незнанием точных значений ядерных матричных элементов. Они обычно вычисляются в рамках тех или иных моделей, базирующихся на конкретных представлениях о структуре ядра. Поэтому с точки зрения опре-

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

деления констант взаимодействия наибольший интерес представляет изучение мю-захвата в легких ядрах, структура которых лучше исследована.

С другой стороны, процессы захвата мюонов атомными ядрами могут быть источником информации и о структуре ядра. Хорошо известным примером такого рода является выявление доминирующей роли коллективных состояний ядра в процессе мю-захвата^{/5/}.

Вопросы, рассмотренные в настоящей диссертации, можно условно разделить на три группы. К первой относятся вопросы, связанные с чисто ядерной задачей - исследованием характеристик нейтрон-нейтронной системы, образующейся в результате поглощения мюонов дейтроном. Исследование характеристик быстрых частиц (нейтронов, протонов) в процессе захвата мюонов сложными ядрами относится ко второй группе. В этом случае основной вопрос связан с исследованием эффектов, обусловленных несохранением четности в слабых взаимодействиях. Наконец, третья группа вопросов относится к физике элементарных частиц и связана с исследованием различных характеристик парциальных переходов при захвате мюонов. Главная проблема в этом случае - проверка основных положений теории слабых взаимодействий. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

В первой главе кратко излагается теория взаимодействия μ^- -мезонов с атомными ядрами. Процессы поглощения мюонов атомными ядрами описываются в рамках мюон-ядерного гамильтониана взаимодействия^{/4/}

$$H_{\mu} = \frac{1}{2} G G_0 \theta_c (1 - \vec{\sigma}_\mu \vec{\nu}) \sum_{i=1}^A \tau_c(i) \{ G_V + \tau_i + G_A \vec{\sigma}_i \vec{\nu}_i + G_P \vec{\sigma}_i \vec{\nu}_i + h_{vel}(i) \}, \quad (2)$$

где в отдельную группу выделены релятивистские члены, пропорциональные импульсу нуклонов \vec{P}_i в ядре

$$h_{vel}(i) = g_A \vec{\sigma}_i \frac{\vec{P}_i}{M_N} + g_V \vec{\sigma}_i \frac{\vec{P}_i}{M_N} \quad (3)$$

Константы G_V , G_A и G_P определены следующим образом:

$$G_V = g_V \left(1 + \frac{E_\nu}{2M_N} \right),$$

$$G_A = g_A - (g_V + g_M) \frac{E_\nu}{2M_N},$$

$$G_P = [(g_P - g_A) - (g_V + g_M)] \frac{E_\nu}{2M_N},$$

где E_ν - энергия нейтрино. Константы g_V и g_M фиксируются согласно гипотезе сохранения векторного тока^{/2/}, а g_P и g_A варьируются.

Во второй главе на основе гамильтониана (2) рассмотрен процесс поглощения мюонов дейтроном

$$\mu^- + d \rightarrow n + n + \nu. \quad (4)$$

Характерным для этого процесса является присутствие как в начальном, так и в конечном состоянии только двух сильновзаимодействующих частиц, что позволяет сконцентрировать внимание на изучении системы двух нейтронов.

Одной из фундаментальных величин, характеризующих двух-нуклонную систему, является длина рассеяния и эффективный радиус взаимодействия. В случае $(p-p)$ и $(n-p)$ систем длина рассеяния извлекается непосредственно из экспериментальных данных по рассеянию протонов и нейтронов на протонах. В случае $(n-n)$ системы эта информация обычно извлекается из ядерных реакций типа

$$a + A \rightarrow B + 2n,$$

а, в самое последнее время, также и из процесса $\bar{\pi}^- + d \rightarrow \gamma + 2n$.

Однако в перечисленных случаях для определения длины рассеяния необходимо использовать дополнительные теоретические соображения, что вносит определенную погрешность в конечный результат. Поэтому изучение реакции (4), которое не связано с такой проблемой, представляет значительный интерес. В ряде ведущих лабораторий мира уже запланированы соответствующие экспериментальные исследования, а, следовательно, возникает необходимость детального теоретического анализа этой реакции.

Исследование процесса (4) показало, что под малыми углами разлета нейтронов взаимодействие в конечном состоянии сильно сказывается на дифференциальных энергетических спектрах нейтронов

$\frac{dN_F}{dP_1 d\Omega_1}$. На рис. 1 приведены результаты расчета^[6-8] дифференциальных скоростей $\frac{dN_F}{dP_1 d\Omega_1}$ процесса (4) при угле разлета нейтронов, равном $\Theta = 0^\circ$. Значению $a_{nn} = -16,7 \Phi_M$ соответствует взаимодействие в конечном состоянии, описываемое потенциалом Рейда^[9]. Другие значения a_{nn} соответствуют приближению, учитывающему взаимодействие только в S'-волне относительного движения нейтронов. Взаимодействие между нейтронами сильнее сказывается на спектрах нейтронов при $P_1 = 50$ МэВ/с, что соответствует минимальным энергиям их относительного движения.

С ростом угла Θ взаимодействие в конечном состоянии ослабевает. Это можно проследить на рис. 2, где приведены выходы нейтронов при фиксированном значении импульса $P_1 = 50$ МэВ/с как функции угла разлета Θ . Здесь же показана зависимость $\frac{dN_F}{dP_1 d\Omega_1}$ от величины константы индуцированного псевдоскалярного взаимодействия g_p . Абсолютные значения дифференциальной скорости зависят от конкретного выбора констант взаимодействия.

Рис. 1. Дифференциальный спектр нейтронов $\frac{dN_F}{dP_1 d\Omega_1}$ [сек⁻¹.стерад⁻¹.(МэВ/с)⁻¹], разлетающихся под углом $\Theta = 0^\circ$, при различных значениях величины a_{nn} ;

$$g_p/g_s = \frac{2m_p M_N}{q^2 + m_\pi^2}$$

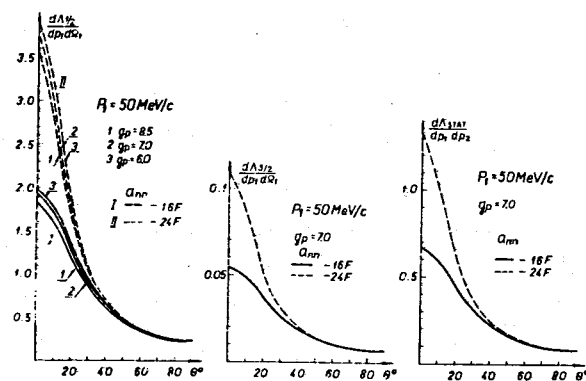
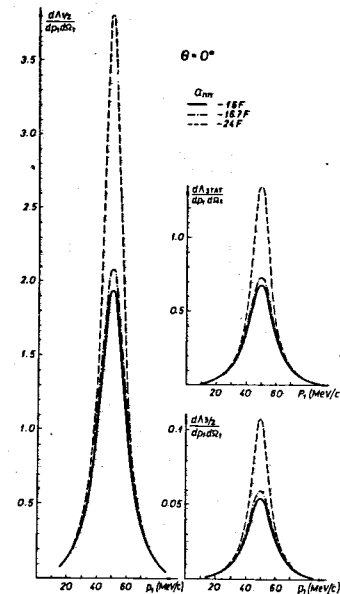


Рис. 2. Дифференциальная вероятность процесса $\frac{dN_F}{dP_1 d\Omega_1}$ [сек⁻¹.стерад⁻¹.(МэВ/с)⁻¹] как функция угла Θ . Импульс нейтрона фиксирован, $P_1 = 50$ МэВ/с.

Относительные значения дифференциальных скоростей

$$\chi_{\theta, \kappa}^F(a_{nn}) = \frac{(d\Lambda_F/dp, d\Omega_1)_{\theta, \kappa}}{(d\Lambda_F/dp, d\Omega_1)_{\theta, \kappa = \kappa_{\min}}} \quad (5)$$

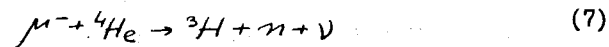
практически не зависят от детальной структуры гамильтониана слабого взаимодействия. Резко ослабевает зависимость и от характера заселения уровней сверхтонкой структуры мезодейтерия. Величина $\chi_{\theta, \kappa}^F(a_{nn})$ тем сильнее зависит от длины рассеяния a_{nn} , чем больше импульс $\vec{\kappa}$ относительного движения двух нейтронов. С увеличением угла влияние взаимодействия в конечном состоянии на $\chi_{\theta, \kappa}^F(a_{nn})$ также уменьшается. Таким образом, задача определения длины $(n-n)$ -рассеяния при захвате мюонов дейтроном связана с прецизионным измерением величины $\chi_{\theta, \kappa}^F(a_{nn})$ в области малых углов и малых относительных импульсов.

Аналогичную информацию можно извлечь из спектров нейтронов, проинтегрированных по импульсу при фиксированном значении угла θ . Зависимость отношения

$$\zeta_{\theta}(a_{nn}) = \frac{(d\Lambda_F/d\Omega_1)_{\theta}}{(d\Lambda_F/d\Omega_1)_{\theta=0^\circ}} \quad (6)$$

от a_{nn} слабее, чем аналогичная зависимость величины $\chi_{\theta, \kappa}^F(a_{nn})$, однако преимущество ζ_{θ} заключается в том, что ее измерение не связано с измерением импульса нейтронов. В принципе, этот факт может упростить постановку соответствующего эксперимента.

Третья глава посвящена исследованию характеристик нейтронного канала при захвате мюонов сложными атомными ядрами. На примере процессов (4) и



исследованы^{/10-13/} энергетические спектры нейтронов, их угловые распределения

$$\frac{d\Lambda}{dE} \sim 1 + \alpha(E) P_{\mu} \cos \theta, \quad (8)$$

а также полная скорость процесса. В формуле (8) $\alpha(E)$ — коэффициент асимметрии углового распределения нейтронов, P_{μ} — степень поляризации мюонов, а θ — угол между направлением вылета нейтрона и спина мюона.

Прогресс в описании нейтронного канала связан с учетом следующих факторов:

- 1) взаимодействия в конечном состоянии;
- 2) релятивистских членов (3) мюон-ядерного гамильтониана (2);
- 3) корректного описания ядерной стороны процесса.

Исследование влияния этих факторов на характеристики нейтронного канала в случае процесса (7) показало^{/10-12/}, что энергетический спектр нейтронов становится более мягким, при этом доля высокоэнергетических нейтронов уменьшается. Коэффициент асимметрии углового распределения нейтронов $\alpha(E)$ имеет весьма сложную зависимость как от характера взаимодействия в конечном состоянии, так и от деталей структуры мюон-ядерного гамильтониана (2).

Все эти выводы могут быть проверены с высокой степенью точности при рассмотрении захвата мюонов дейтроном (4). В этом случае удастся избежать многих приближений, неизбежных при исследовании более сложных ядер. Результаты расчета^{/11,13/} энергетической зависимости коэффициента углового распределения нейтронов в случае захвата мюонов из дублетного состояния мезодейтерия приведены на рис.3. Учет взаимодействия в конечном

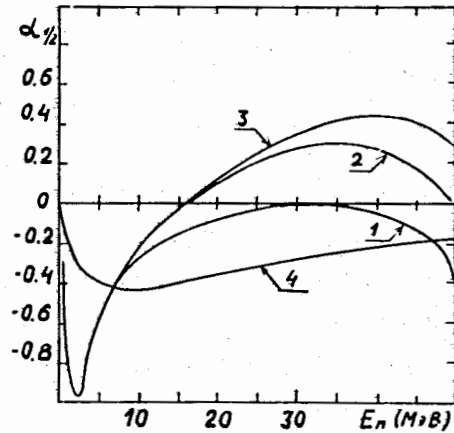
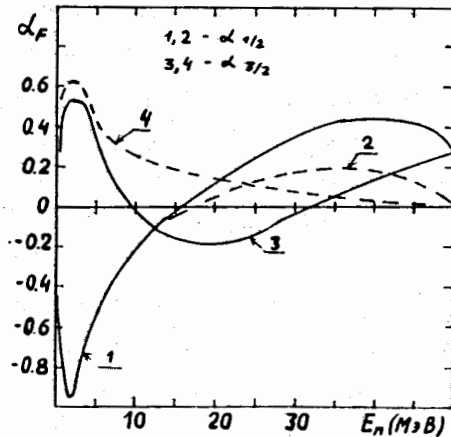


Рис. 3. Энергетическая зависимость коэффициента асимметрии углового распределения нейтронов $\alpha_{1/2}(E)$. Кривая 1 - скоростные члены опущены, 2 - учтены скоростные члены, пропорциональные \vec{p}_i , 3 - учтены все скоростные члены, 4 - учтены скоростные члены, плосковолновое приближение.

Рис. 4. Энергетическая зависимость коэффициента асимметрии углового распределения нейтронов $\alpha_F(E)$. Скоростные члены учтены. Кривая 1 и 2 получены с учетом \mathcal{D} -компоненты в волновой функции дейтрона; 3 и 4 - без учета \mathcal{D} -компоненты.



состоянии (кривые 1, 2 и 3) нарушает плавную энергетическую зависимость $\alpha_{1/2}(E)$, характерную для плосковолнового приближения (кривая 4).

Анализ вклада различных членов гамильтониана (2) в формирование энергетической зависимости асимметрии $\alpha_{1/2}(E)$ указывает на существование трех характерных областей (рис. 3, кривые 1, 2, 3). При энергиях до 10 МэВ асимметрия обусловлена главными членами мюон-ядерного гамильтониана и в той же области отрицательна. В области энергий от 10 МэВ до 20 МэВ величина $\alpha_{1/2}(E)$ положительна и основной вклад обусловлен интерференцией между релятивистскими и главными членами, а при $E > 20$ МэВ - квадратами релятивистских членов (3).

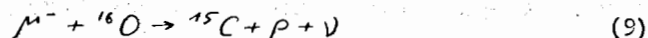
В диссертации показано, что даже малые компоненты основного состояния ядра-мишени, но содержащие высокие орбитальные моменты очень существенны при описании асимметрии высокоэнергетических нейтронов. Так, учет \mathcal{D} -компоненты основного состояния дейтрона ($S_D = 6,50\%$) трансформирует величину $\alpha_{1/2}(E)$ в области энергий выше 10 МэВ (рис. 4, кривые 1 и 3), а $\alpha_{3/2}(E)$ - во всей области энергий (рис. 4, кривые 2 и 4). При этом выход медленных нейтронов $\frac{dN_{3/2}}{dE}$ уменьшается, а быстрых - увеличивается.

При исследовании интегральной характеристики - полной скорости процесса Λ_F -установлено, что учет взаимодействия в конечном состоянии увеличивает скорость $\Lambda_{1/2}$ на 14%, а $\Lambda_{3/2}$ - на 21% для случая поглощения мюонов дейтроном. В случае ядра ${}^4\text{He}$ соответствующий вклад в Λ в зависимости от характера взаимодействия в конечном состоянии составляет 16 - 124%. Вклад релятивистских членов мюон-ядерного гамильтониана равен 2% для $\Lambda_{1/2}$ и 6% для $\Lambda_{3/2}$ в случае дейтрона и $\sim 30\%$ в случае ${}^4\text{He}$.

Полная скорость процесса зависит также от деталей структуры волновых функций. Малая \mathcal{D} -компонента в волновой функции дейтрона уменьшает на 7% скорость процесса $\Lambda_{1/2}$ и увеличивает настолько же $\Lambda_{3/2}$.

Окончательные значения полной скорости захвата $-\Lambda_{\text{He}}^{4\text{He}} = 449 \text{сек}^{-1}$, $\Lambda_{1/2}^d = 380 \text{сек}^{-1}$ и $\Lambda_{3/2}^d = 11 \text{сек}^{-1}$ находятся в хорошем согласии с имеющимися экспериментальными данными $\Lambda_{\text{He}}^{4\text{He}} = 363 \pm 75 \text{сек}^{-1}$ /14/ и $\Lambda_{1/2}^d = 445 \pm 60 \text{сек}^{-1}$ /15/, а также другими теоретическими расчетами /16/.

В четвертой главе на примере процесса



рассмотрен протонный канал в мю-захвате. В простейших предположениях рассчитывается энергетический спектр и асимметрия углового распределения протонов /17/. В диссертации показано, что и в случае вылета протонов при захвате поляризованных мюонов возникает асимметрия углового распределения. Однако в отличие от случая нейтронов /18/ коэффициент асимметрии оказывается малым по абсолютной величине и противоположным по знаку. Поэтому наблюдение асимметрии протонов на эксперименте представляет очень сложную задачу. Асимметрия протонов обусловлена главными членами мюон-ядерного гамильтониана (2).

Пятая глава диссертации посвящена исследованию констант взаимодействия мюон-ядерного гамильтониана.

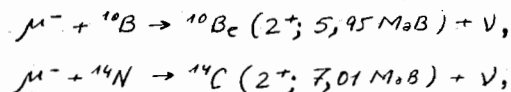
Проведен /19/ совместный анализ теоретических и экспериментальных данных по полной скорости захвата мюонов свободным протоном (1) и дейтроном (4) и установлена область допустимых значений для константы индуцированного псевдоскалярного взаимодействия g_p . Так, при $g_{\nu}^{(0)}/g_{\nu}^{(0)} = -1,24$

$$\begin{aligned} -8 > g_p/g_{\nu}^{(0)} > -9, & \text{ если } G_{\text{Co}} \theta_c = 1,41, \\ \text{и } -9 > g_p/g_{\nu}^{(0)} > -10, & \text{ если } G_{\text{Co}} \theta_c = 1,43, \end{aligned}$$

что находится в очень хорошем согласии с величинами, предсказываемыми общей теорией. Это означает, что гипотезы, положенные в основу построения теории лептон-адронного взаимодействия, в целом правильны.

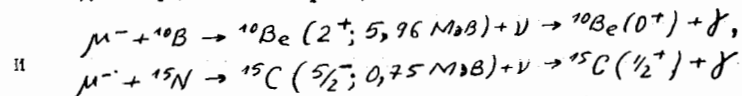
В диссертации показано, что большой интерес представляет измерение отношения скоростей Λ^+/Λ^- в случае мезодейтерия. Оно зависит в основном только от отношения g_p/g_A и дает уникальную возможность зафиксировать это значение.

Независимую информацию о константах слабого взаимодействия можно получить, исследуя характеристики парциальных переходов при захвате мюонов сложными ядрами. Проведенный в диссертации анализ парциальных переходов в ядрах Ir-оболочки /20,21/ выявил только два перехода:



для которых влияние ядерной структуры оказывается минимальным. Установлено, что отношение скоростей Λ^+/Λ^- в этих процессах практически зависит только от величин констант взаимодействия, в частности, g_p .

Для парциальных переходов



рассмотрены коэффициенты γ - γ -корреляции^{/22/}. Однако малость по абсолютной величине этих характеристик, а также слабая чувствительность к величине γ_p , по всей вероятности, не могут дать новую информацию о константах мюон-ядерного гамильтониана.

В заключении приведена краткая сводка основных, полученных результатов. При этом подчеркивается важность дальнейших экспериментальных исследований процесса ядерного мю-захвата малонуклонными ядерными системами.

Основные результаты диссертации докладывались на XXI и XXV Всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре ядра (Москва, 1971 и Ленинград, 1975), на IV Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра (Дубна, 1971), на Международной конференции по малонуклонным проблемам в физике ядра и элементарных частиц (Канада, 1974), на Международной конференции по теории легчайших ядер (ЧССР, 1974) и были опубликованы в следующих работах:

- А.П.Бухвостов, В.А.Вартанян, Г.Е.Доготарь, Н.П.Попов, А.М.Чатрчян, Р.А.Эрамжян. Acta Physica Polonica, В3, 375 (1972).
Программа и тезисы докладов XXI Всесоюзного совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра, стр.270, Москва, 1971;
IV Международная конференция по физике высоких энергий и структуре ядра, стр.110, ОИЯИ Д1-5988, Дубна, 1971.
В.А.Вартанян, Г.Е.Доготарь, Р.А.Эрамжян. В сборнике статей "Исследования по квантовой теории многочастичных систем", стр. 32, "Штиинца", Кишинев, 1971.

А.П.Бухвостов, S.Ciechanowicz, G.E.Dogotar, R.A.Eramzhyan, N.P.Popov, V.A.Vartanyan. Acta Phys. Polonica, В4, 495 (1973).

Г.Е.Доготарь, Ю.А.Салганик, Р.А.Эрамжян. В сборнике статей "Статистические методы исследования систем многих частиц", стр. 73, "Штиинца", Кишинев, 1973.

R.A.Eramzhyan, G.E.Dogotar, Yu.A.Salganic. Proc. Int. Conf. on Few Body Problems in Nuclear and Particle Physics, p. 412, Canada, 1975.

G.E.Dogotar, R.A.Eramzhyan, Yu.A.Salganic, Czechoslovak J. Phys., В25, 276 (1975).

Г.Е.Доготарь, Ю.А.Салганик, Р.А.Эрамжян. ЯФ, 22, 472 (1975).

Г.Е.Доготарь, Ю.А.Салганик, Р.А.Эрамжян. Программа и тезисы докладов XXV Всесоюзного совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра, стр. 261, Ленинград, 1975.

Г.Е.Доготарь, Р.А.Эрамжян. В сборнике статей "Образование и распад возбужденных ядер", стр. 3, "Штиинца", Кишинев, 1976.

Г.Е.Доготарь, Р.А.Эрамжян. Препринт ОИЯИ P2-9582, Дубна, 1976.

Г.Е.Доготарь, Р.А.Эрамжян. Сообщения ОИЯИ P2-9469, Дубна, 1976.

Г.Е.Доготарь, Ю.А.Салганик, Р.А.Сакаев. Сообщение ОИЯИ, P2-9753, Дубна, 1976.

Литература

- I. R.P.Feynman, M.Gell-Mann. Phys.Rev., 109, 193 (1958);
E.C.G.Sudarshan, R.E.Marshak. Phys.Rev., 109, 1860 (1958).
2. С.С.Герштейн, Я.Б.Зельдович. ЖЭТФ, 29, 698 (1955).
3. M.L.Goldberger, S.B.Treiman. Phys.Rev., 110, 1478 (1958).
4. A.Fujii, H.Primakoff. Nuovo Cimento, 12, 327 (1959);
M.Morita, A.Fujii. Phys.Rev., 118, 606 (1960).
5. V.V.Balachov, R.A.Eramzhyan. Atomic Energy Rev.Vienna, v.5, 3(1967).
6. Г.Е.Доготарь, Ю.А.Салганик, Р.А.Эрамжян. Программа и тезисы докладов XXV Всесоюзного совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра, стр. 261, Ленинград, 1975.
7. Г.Е.Доготарь, Р.А.Эрамжян. В сборнике "Образование и распад возбужденных ядер", стр. 3. Изд-во "Штиинца", Кишинев, 1976.
8. Г.Е.Доготарь, Р.А.Эрамжян. Препринт ОИЯИ P2-9582, Дубна, 1976.
9. R.V.Reid. Annals of Phys., 50, 411 (1968).
10. R.A.Eramzhyan, G.E.Dogotar, Yu.A.Salganic. Proc. Int. Conf. on Few Body Problems in Nuclear and Particle Physics, p. 412, Canada, 1975.
11. G.E.Dogotar, R.A.Eramzhyan, Yu.A.Salganic, Czechoslovak J. Phys., B25, 276 (1975).
12. Г.Е.Доготарь, Ю.А.Салганик, Р.А.Эрамжян. В сборнике "Статистические методы исследования систем многих частиц", стр. 73. Изд-во "Штиинца", Кишинев, 1974.
13. Г.Е.Доготарь, Ю.А.Салганик, Р.А.Эрамжян. ЯФ, 22, 472 (1975).
14. A.Bizarry et al. Nuovo Cimento, 33, 1497 (1964).
15. A.Bertin, A.Vitale, A.Placci, E.Zavattin. Phys.Rev., 8D, 3974 (1973).

16. E.Trublik. Nucl.Phys., B45, 303 (1973);
M.Sotana, E.Trublik. Phys.Lett., 43B, 362 (1973).
17. Г.Е.Доготарь, Ю.А.Салганик, Р.А.Сакаев. ОИЯИ P2-9753, Дубна, 1976.
18. P.A.Eramzhyan, Yu.A.Salganic. Nucl.Phys., A207, 609 (1973).
19. Г.Е.Доготарь, Р.А.Эрамжян. Препринт ОИЯИ P2-9469, Дубна, 1976.
20. В.А.Вартанян, Г.Е.Доготарь, Р.А.Эрамжян. В сборнике "Исследования по квантовой теории многочастичных систем", стр. 32. Изд-во "Штиинца", Кишинев, 1971.
21. А.П.Бухвостов, В.А.Вартанян, Г.Е.Доготарь, Н.П.Попов, А.М.Чатрчан, Р.А.Эрамжян. Acta Physica Polonica, B3, 375 (1972);
Программа и тезисы докладов XXI Всесоюзного совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра, стр.270, М., Наука, 1974;
IV Межд. конференция по физике высоких энергий и структуре ядра, стр. 110, ОИЯИ Д1-5988, Дубна, 1971.
22. A.P.Bukhvostov, S.Ciechanowicz, G.E.Dogotar, R.A.Eramzhyan, N.P.Popov, V.A.Vartanyan. Acta Physica Polonica, B4, 495 (1973).

Рукопись поступила в издательский отдел
28 июня 1976 года.