

Н-632

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

7 - 6379

В.М. Николаев

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИОНОВ Ne^{20} И C^{12}
С ЯДРАМИ ПРИ ЭНЕРГИЯХ 10-17 МЭВ/НУКЛОН

Специальность 01.055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель - академик Г.Н.Флеров

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук М.И.Подгорецкий,
кандидат физико-математических наук Д.П.Попов

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Харьковский физико-технический институт АН УССР
/ г.Харьков /

Автореферат разослан " " 1972 г.

Защита диссертации состоится " " 1972 г.

на заседании Объединенного Ученого совета Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Отзывы и замечания просим направлять по адресу:

г. Дубна, Московской области, Объединенный институт ядерных исследований, Ученому секретарю Объединенного Ученого совета ДЯР и ЛДФ.

Ученый секретарь Совета -

Э.Н.КАРЖАВИНА

7. - 6379

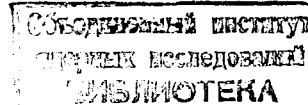
В.М. Николаев

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИОНОВ Ne^{20} И C^{12}
С ЯДРАМИ ПРИ ЭНЕРГИЯХ 10-17 МЭВ/НУКЛОН

Специальность 01.055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Исследование реакций между сложными ядрами с испусканием нейтронов, т.е. реакций типа (HI, xn) , показали, что значительная часть экспериментальных данных может быть описана на основе статистической модели. Однако в литературе имеются указания на то, что в ряде случаев наблюдается существенное несоответствие теоретических и экспериментальных данных. В частности, при измерениях функций возбуждения реакций (HI, xn) замечено, что для фиксированного значения x с увеличением энергии бомбардирующих ионов появляется возрастающее различие между теоретическими и экспериментальными кривыми. Это различие, по предварительным данным, достигает значения, по крайней мере, 10^3 . В эксперименте наблюдаются так называемые "хвосты" функций возбуждения, простирающиеся в сторону высоких энергий.

Существенное несоответствие теоретических и экспериментальных результатов дает основание говорить о недостаточно точном представлении о процессах образования и распада составного ядра при взаимодействии тяжелых ионов с ядрами.

Специально вопрос об отклонениях в функциях возбуждения реакций (HI, xn) не рассматривался; все данные получены лишь для узких областей энергий, что в значительной степени связано с невысокой энергией тяжелых ионов, не более $10,5$ Мэв/нуклон.

В 1968 году в ЛЯР ОИЯИ был запущен изохронный циклотрон У-200, ускоряющий тяжелые ионы вплоть до энергий ~ 20 Мэв/нуклон /1/. Это позволило начать эксперименты по измерению функций возбуждения реакций с тяжелыми ионами в широком диапазоне энергий.

Целью настоящей работы было получение достоверных результатов о вероятности реакций с вылетом нейтронов при энергиях,

существенно превышающих значения, соответствующие максимуму поперечного сечения, а также изучение механизма взаимодействия ионов с ядрами в указанной области энергий.

Эксперименты были выполнены на циклотронах У-300 и У-200 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Диссертация состоит из 4-х глав.

В первой главе представлен обзор экспериментальных данных, указывающих на возможность значительных отклонений функций возбуждения реакций (α, xn) и (pn, xn) от "испарительной" формы /2-4/.

Отмечено, что в области высоких энергий сечения реакций составляют $1+10\%$ от максимальных значений, что находится в существенном противоречии с расчетами, выполненными в рамках статистической модели, которые дают значения сечений, по крайней мере, в 10^3 раз меньше экспериментальных. Таким образом, механизм взаимодействия ионов с ядрами, ответственный за появление "хвостов" функций возбуждения, по-видимому, отличен от обычного процесса образования и распада составного ядра.

Разные авторы делают те или иные предположения для объяснения поведения функций возбуждения в области высоких энергий. В частности, в работе /2/ предполагается, что при взаимодействии α -частиц с ядрами первоначально происходит выбивание одного нейтрона и поглощение ядром мишени α -частицы. В дальнейшем возбуждение ядра осуществляется путем эмиссии нескольких нейтронов.

При таком взаимодействии нейтрону может быть передана значительная часть энергии налетающей α -частицы, что эффективно снижает возбуждение остаточного ядра. Таким образом, даже при

высоких энергиях бомбардирующих частиц (100-150 Мэв) возбуждение ядра может сниматься путем эмиссии небольшого числа нейтронов, что приведет к появлению высокоэнергетических "хвостов" в функциях возбуждения.

Предположение о прямом выбивании нейтрона менее эффективно в случае реакций с тяжелыми ионами, поскольку последние могут передать покоящемуся нейтрону лишь незначительную часть своей энергии.

Бете /5/, рассматривая вопрос об отклонениях от статистической модели в "испарительных" процессах, полагал, что при энергии иона, сравнимой с энергией диссоциации ядра, он будет терять большую часть своей энергии в поверхностном слое ядра. Этот процесс вызовет "локальный нагрев" части ядерного объема. Из области "локального нагрева" будут вылетать частицы с энергиями, значительно превышающими средние значения энергий частиц, испаряющихся из равновесного ядра, т.е. при высоких энергиях ионов реакции с испусканием небольшого числа частиц могут идти с достаточно большой вероятностью. Авторы работы /6/ рассматривали "локальное испарение" как один из возможных механизмов взаимодействия ионов с ядрами, ответственных за поведение функций возбуждения в области высоких энергий.

Сиккеланд с сотрудниками /4/, исследуя испарительные реакции при взаимодействии ионов C^{12} с ураном, указывает, что отклонения функций возбуждения можно, по-видимому, объяснить на основе модели предравновесной эмиссии, разработанной Гриффином /7,8/ и модифицированной Бланном /9/. Основное положение модели заключается в том, что первоначально энергия налетающей частицы

распределяется между небольшим числом частиц и дырок (экситонов). В дальнейшем система через серию двухчастичных взаимодействий движется к равновесному частично-дырочному распределению. Состояние ядра характеризуется числом частиц и дырок, возбуждаемых из основного состояния. Предполагается, что всякий раз, когда нуклон переходит на одночастичное состояние, в котором один экситон имеет энергию E_0 , а оставшаяся часть экситонов - энергии $E - (E_0 + B)$, где B - энергия связи нуклона в ядре, может осуществиться эмиссия этого нуклона. Рассматривая все возможные переходы в ядре при его движении к равновесному распределению частиц и дырок, можно найти полную вероятность распада ядра в предравновесной фазе. Спектр частиц, испускаемых предравновесным ядром, существенно зависит от начального числа экситонов n_i и для малых n_i оказывается более жестким, чем это следует из обычной статистической модели.

Применение модели предравновесной эмиссии к реакциям (α, xn) дало удовлетворительные результаты /10/.

Из анализа имеющихся экспериментальных и теоретических данных в конце первой главы сделан вывод о необходимости исследований реакций с тяжелыми ионами в широком энергетическом диапазоне.

Эти исследования могут дать сведения о степени соответствия различных модельных представлений реальному механизму взаимодействия между сложными ядрами.

Для проведения таких исследований необходимы интенсивные пучки тяжелых ионов по возможности больших энергий. Действительно, все предыдущие работы, в которых содержатся указания на

отклонения функций возбуждения, были выполнены с ионами, энергии которых не превышала 10,5 Мэв/нуклон. Это значительно ограничивало возможности изучения функций возбуждения в области предполагаемых высокоэнергетических "хвостов". Такие исследования стали возможны лишь после запуска в ДЯР ОИЯИ изохронного циклотрона У-200, способного ускорять тяжелые ионы вплоть до энергий ~ 20 Мэв/нуклон. Существенным требованием при проведении экспериментов являлась монохроматичность пучка ионов. Это обусловлено тем, что предполагаемые "хвосты" функций возбуждения могли быть результатом реакций, вызванных низкоэнергетической компонентой пучка. Поэтому все эксперименты необходимо было выполнять на внешних пучках циклотрона, поскольку разброс по энергии в этом случае не превышал 0,5%.

Необходимость использования выведенных пучков тяжелых ионов высокой энергии определила методическую часть настоящей работы, описанную во второй главе. Здесь излагаются результаты опытов и расчетов по исследованию движения ионов в начальной области циклотрона У-200, по измерению пучков ионов и их выводу из ускорителя.

Исследование динамики частиц в центре ускорителя является одной из основных задач при создании любого циклотрона, поскольку движение ионов на первых оборотах целиком определяет качество пучка частиц, ускоренных до конечной энергии.

Распределения электрического поля в начальной области циклотрона У-200 были измерены на моделях центра с помощью электролитической ванны /11/. По данным измерений электрического и магнитных полей были рассчитаны траектории движения частиц в центре

циклотрона и выбрана оптимальная начальная геометрия, обеспечивающая хорошее качество пучка в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Поскольку для проведения экспериментов по изучению функций возбуждения необходимы внешние пучки, особое внимание было уделено измерениям распределений пучков внутри циклотрона и опытам по выводу /I2, I3/. Вывод пучков ионов с $A/Z = 3$ осуществлялся с помощью комбинированной системы, состоящей из электростатического дефлектора и фокусирующего магнитного канала.

В результате опытов были получены интенсивные внешние пучки тяжелых ионов с энергией ~ 20 Мэв/нуклон, которые, в дальнейшем, были использованы для исследования функций возбуждения реакций (HI, χn) в широком диапазоне энергий.

Третья глава содержит данные по экспериментальному изучению механизма реакций (HI, χn) в области энергий, где наблюдаются существенные отклонения от предсказаний статистической модели. Особое внимание уделено тщательному измерению функций возбуждения, которые являются одной из важных характеристик при установлении механизма взаимодействия /I4/.

В работе измерялись функции возбуждения следующих реакций:

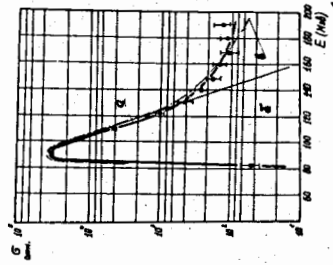
$Sr^{133}(N^{20}, 4n) Tb^{149g}$
 $Pr^{141}(C^{12}, 4n) Tb^{149g}$
 $Hg^{202, 204}(C^{12}, 3, 5n) Rn^{211}$
 $Pt^{198}(N^{15}, 2n) At^{211}$

Выбор этих реакций обусловлен следующими причинами.

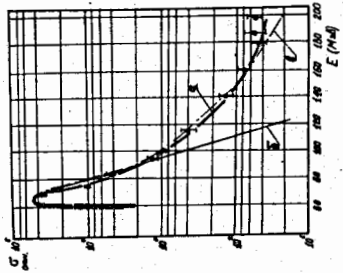
Во-первых, конечные продукты реакций α -активны, что позволило

с большой эффективностью регистрировать малые эффекты в области предполагаемых высокоэнергетических "хвостов". Во-вторых, из-за малого эффекта, который ожидался в области высоких энергий, примеси соседних элементов и изотопов должны быть минимальными, поскольку реакции на примесях могут привести к образованию основного продукта и к искажению истинной формы функций возбуждений реакций (HI, χn). Поэтому примеси не должны превышать по оценкам $\sim 0,5\%$. В качестве мишеней лучше всего было использовать моноизотопные элементы, так как чистота разделенных изотопов не удовлетворяла жестким требованиям экспериментов. Так как выбор моноизотопных элементов ограничен, мы облучали и другие элементы, учитывая возможность образования одного и того же продукта в различных реакциях. В результате облучений были получены функции возбуждения указанных реакций в диапазоне энергий ионов 50-200 Мэв, представленные на рис. 1-3. Видно, что при низких энергиях бомбардирующих ионов функции возбуждения имеют типичную форму с характерным для испарительных реакций максимумом. Вслед за максимумом наблюдается быстрый спад сечения, связанный с конкуренцией реакции с испусканием $\chi + I$ нейтрона. Однако в области высоких энергий появляется тенденция к постоянству сечения, которая составляет $\sim 0,3-0,5\%$ от максимального. Эту величину нельзя объяснить реакциями на примесях, поскольку, по данным активационного анализа, примеси в мишенях не превышали $\sim 0,2\%$. Облучения мишеней более легкими ионами, в результате которых могли образоваться основные продукты на тяжелых примесях, показали, что вклад реакций на примесях не превышает 10-15% от наблюдаемого эффекта в области высоких энергий. Таким образом,

Cs¹³³(Ne²⁰, 4n) Tb^{149G}



Fr¹⁴¹(C¹², 4n) Tb^{149G}



Hg^{202, 204}(C¹², 3, 5n) Rn²¹¹

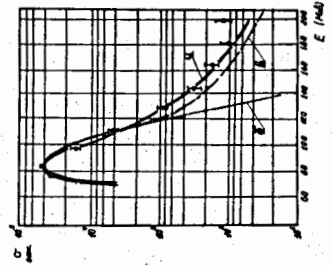


Рис. 1-3. Функции возбуждения.

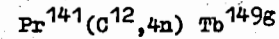
а - экспериментальная кривая,

б - расчет по модифицированной формуле Джексона,

в - расчет по модифицированной формуле Джексона с примесью предравновесной эмиссии ($n_i = 7, f = 3-5\%$).

было экспериментально установлено, что в области высоких энергий (~ 200 Мэв) сечения реакций (НI, $\chi\gamma$) достигают величины $\sim 0,3-0,5\%$ от максимальных значений.

С целью изучения механизма взаимодействия ионов с ядрами, ответственного за поведение функций возбуждения, были измерены распределения пробегов ядер отдачи в реакции:



при двух значениях энергии ионов. Первое значение соответствовало максимальному сечению реакции; второе - максимальной энергии бомбардирующих ионов. Измерения показали, что при энергии ионов $E=200$ Мэв в распределении нет пиков ярко выраженной гауссовской формы. Для сравнения пробегов ядер отдачи при различных энергиях были рассчитаны средние экспериментальные пробеги и получены следующие значения:

$$E = 65 \text{ Мэв}$$

$$\bar{R}_{\text{экс}} = 412 \pm 82 \text{ мкг/см}^2$$

$$E = 200 \text{ Мэв}$$

$$\bar{R}_{\text{экс}} = 702 \pm 140 \text{ мкг/см}^2.$$

При расчете теоретических пробегов ядер отдачи в предположении полной передачи импульса иона остаточному ядру получены следующие значения:

$$E = 63 \text{ Мэв}$$

$$\bar{R} = 460 \text{ мкг/см}^2$$

$$E = 200 \text{ Мэв}$$

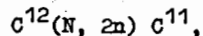
$$\bar{R} = 1065 \text{ мкг/см}^2.$$

Сравнение теоретических и экспериментальных данных показывает, что при энергии 63 Мэв в пределах погрешности результаты совпадают, однако при энергии 200 Мэв наблюдается уменьшение пробегов примерно на 30% по сравнению с пробегами, полученными в предположении о полной передаче импульса иона остаточному ядру.

Измерения функций возбуждения показали, что величина сечения реакций ($NI, \chi n$) в области энергий ~ 200 Мэв составляет $\sim 0,3 + 0,5\%$ от максимальных значений. Если предположить, что основную долю энергии возбуждения уносят нейтроны, то средняя энергия их в области высокоэнергетических "хвостов" должна составлять 30–35 Мэв.

Из статистической модели известно, что пик сечения испарительных реакций соответствует энергии вылетающих нейтронов, близкой к температуре ядра (для $x = 4,5$ $T \sim 1,3-1,5$ Мэв). Следовательно, выход нейтронов с энергией 30–35 Мэв должен составлять 10^{-3} от выхода нейтронов с энергией $\sim 1,5$ Мэв. Имеющиеся экспериментальные данные по энергетическим спектрам нейтронов в реакциях с тяжелыми ионами ограничены диапазоном $1 + 10$ Мэв /15,16/. Исключение составляет лишь работа Симона /17/

в которой спектр нейтронов измерен до энергий 20–25 Мэв. Данные этой работы позволили надеяться, что можно наблюдать нейтроны и более высоких энергий. Для проверки предположения о возможности эмиссии нейтронов с энергиями $\sim 30-35$ Мэв мы провели измерения выходов нейтронов с энергиями выше 20,3 и 50 Мэв при бомбардировке ядер тяжелыми ионами. Для этой цели были использованы пороговые детекторы. Нейтроны с энергией выше 20,3 Мэв регистрировались по реакции:



а нейтроны с энергией выше 50 Мэв — по реакции деления висмута.

При облучении мишени из вольфрама ионами ^{20}Ne с энергией 10 Мэв/нуклон было обнаружено, что полный выход нейтронов составлял $\sim 5 \cdot 10^9$ нейтрон/сек., выход нейтронов с энергией выше

20,3 Мэв не превышал $2 \cdot 10^7$ нейтрон/сек, а выше 50 Мэв — 10^5 нейтрон/сек.

Из анализа этих данных было получено, что выход нейтронов с энергиями 30–35 Мэв составлял $\sim 5 \cdot 10^6$ нейтрон/сек, т.е. примерно 10^{-3} от полного выхода нейтронов. По порядку величины это значение согласуется с данными измерений функций возбуждения, т.е. предположение о вылете высокоэнергетичных нейтронов в реакциях с тяжелыми ионами подтверждается.

Совокупность полученных экспериментальных данных обсуждается с точки зрения различных механизмов взаимодействия в четвертой главе.

Прежде всего, выполнены расчеты функций возбуждения в рамках статистической модели по модифицированной формуле Джексона /18/. Результаты расчетов представлены на рис. 1–3.

Из сравнения теоретических и экспериментальных кривых видно, что согласие наблюдается лишь при низких энергиях ионов. В области энергий, на 80–100 Мэв превышающих значения, соответствующие максимумам сечений, отношение $\sigma_{\text{эксп}} / \sigma_{\text{теор}}$ достигает 10^3-10^4 . Значения пробегов ядер отдачи и выходов нейтронов с энергиями 30–35 Мэв также не согласуются с результатами, полученными в рамках статистической модели образования и распада составного ядра.

Полученные экспериментальные данные были проанализированы с точки зрения механизма прямого выбивания одного нейтрона. Данные по пробегам не противоречат представлениям механизма прямого выбивания. Однако указанный механизм взаимодействия предполагает присутствие в спектре частиц с энергиями, превышающими 80–100 Мэв,

в количестве 10^{-3} от числа нейтронов с энергией 1,5 Мэв. Экспериментально обнаружено, что выход нейтронов с энергией выше 50 Мэв составляет не более $0,2 \cdot 10^{-4}$ от выхода нейтронов с энергией $E_n \sim 1,5$ Мэв. Следовательно, механизм прямого выбивания одного нейтрона не может полностью объяснить поведения функций возбуждения в высокоэнергетической области.

Далее приводятся результаты оценок, выполненных в рамках модели "локального испарения". Поскольку математический аппарат этой модели не разработан, мы производили расчет в предположении, что основная часть ядра имеет температуру

$$T = \sqrt{u/A} ,$$

а температура в области концентрации энергии достигает ~ 8 Мэв. Получено удовлетворительное согласие с экспериментом. Однако данные по пробегам не согласуются с представлениями модели. Частицы высокой энергии, по-видимому, должны вылетать в заднюю полусферу, что приведет к увеличению, а не уменьшению пробегов ядер отдачи.

Наиболее точно экспериментальные данные могут быть описаны с помощью модели предравновесной эмиссии. Расчеты функций возбуждения были выполнены в предположении, что сечение реакции с испусканием x нейтронов равно:

$$\sigma(xn) = \sigma_p(xn)(1-f) + f\sigma_{np}(xn) ,$$

где: $\sigma_p(xn)$ - сечение реакции для равновесного ядра,
 $\sigma_{np}(xn)$ - сечение реакции для предравновесного ядра,
 f - доля предравновесной эмиссии.

Оптимальные результаты были получены при выборе начального

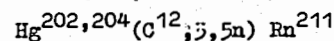
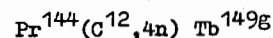
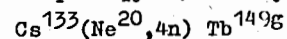
числа экситонов $n_i = 7$ и доли предравновесной эмиссии $f \approx 3,5\%$ (рис. I-3).

Согласно модели предравновесной эмиссии, первый нуклон может вылететь из ядра за время порядка 10^{-22} сек, т.е. направление его вылета будет примерно совпадать с направлением пучка. Это приведет к уменьшению пробегов ядер отдачи. В предравновесной фазе распада нейтроны, по-видимому, будут вылетать с приблизительно равной энергией, что находится в соответствии с данными измерений выходов нейтронов. Таким образом, модель предравновесной эмиссии удовлетворительно описывает поведение функций возбуждения реакций (Ni, xn) в области высоких энергий.

Однако из анализа совокупности полученных экспериментальных данных нельзя отдать окончательного предпочтения одному из рассмотренных механизмов взаимодействия. Не исключена возможность суперпозиции нескольких механизмов - прямое выбивание нейтрона с последующей предравновесной и равновесной эмиссией. Для выяснения реального механизма взаимодействия необходимы дальнейшие исследования в этом направлении.

Основные выводы, которые можно сделать из настоящей работы, следующие:

1. Измерены функции возбуждения реакций:



в диапазоне энергий бомбардирующих ионов 50-200 Мэв.

2. Обнаружено, что при энергиях ионов около 200 Мэв поперечные сечения этих реакций составляли $\sim 0,3-0,5\%$ от максимальных.

Эти величины превышают значения, полученные из расчета в рамках статистической модели, примерно в 10^4 раз.

3. Для выяснения механизма взаимодействия ионов с ядрами при высоких энергиях были измерены распределения пробегов ядер отдачи. Средние экспериментальные пробеги в области высокоэнергетических "хвостов" оказались приблизительно на 30% меньше значений, полученных в предположении о полной передаче импульса иона остаточному ядру.

4. Экспериментально исследованы выходы нейтронов с энергиями $\epsilon_n > 20,3$ Мэв и $\epsilon_n > 50$ Мэв при бомбардировке ядер тяжелыми ионами. Значения выходов нейтронов с энергиями 30-35 Мэв согласуются с данными по функциям возбуждения, что подтверждает предположение о возможности девозбуждения ядра путем эмиссии незначительного числа нейтронов высокой энергии.

5. Выполнены приближенные расчеты функций возбуждения в рамках модели предравновесной эмиссии. Получено удовлетворительное согласие теоретических и экспериментальных кривых. Данные по пробегам ядер отдачи и выходам нейтронов с энергиями 30-35 Мэв не противоречат представлениям модели предравновесной эмиссии.

6. Сделан анализ функций возбуждения на основе механизма прямого выбивания одного нейтрона. Качественные оценки показали, что при учете импульсного распределения нуклонов в ядре можно объяснить поведение функций возбуждения реакций (HI, xn) при высоких энергиях вкладом процесса прямого выбивания одного нейтрона с последующим испарением $x-1$ нейтрона. Однако данные по выходам нейтронов не согласуются с механизмом прямого выбивания нейтрона.

7. Основная часть экспериментальных результатов была получена благодаря запуску циклотрона У-200, способного ускорять тяжелые ионы до энергий ~ 20 Мэв/нуклон. При реконструкции циклотрона У-150 в У-200 была исследована начальная геометрия нового циклотрона. Измерены распределения электрического поля на моделях в электролитической ванне. Проведены эксперименты по измерению внутренних пучков ионов, а также опыты по выводу их из циклотрона.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах /II, I2, I3, I4/.

Л и т е р а т у р а

1. И.А.Шелаев, С.И.Козлов, Р.Ц.Оганесян, Ю.Ц.Оганесян, В.А.Чугреев. Препринт ОИЯИ, 9-3688, Дубна (1968).
2. В.Bimbot, H.Jaffezeic, Y.Le Beyeс, M.Lefort, et A.Vignysimon. Jour.de Phys. 30, N 7, 513 (1968).
3. M.Blann, F.M.Lanzefame. Nucl.Phys. A142, N 3, 545 (1970).
4. T.Sikkeland, I.Maly, D.Lebeck.Phys.Rev. 169, N 4, 1000,(1968).
5. H.A.Bethe.Phys.Rev. 53, 675, (1938).
6. Ю.Б.Герлит, А.С.Карамян, Б.Ф.Мясоедов. В сборн."Ядерные реакции при малых и средних энергиях", стр.503,1958 г. Изд-во АН СССР, Москва.

7. J.J.Griffin. Phys.Rev.Lett. 17, N 9, 488, (1966).
8. J.J.Griffin. Phys.Rev.Lett. 24B, 5, (1967).
9. M.Blann. Phys.Rev.Lett. 21, 1357, (1968).
10. M.Blann, F.M.Lanzefame. Nucl.Phys. A142, N3, 559, (1970).
11. И.А.Шелаев, С.И.Козлов, В.М.Николаев. Сообщения ОИЯИ, Р9-5032, Дубна, (1970).
12. И.А.Шелаев, В.С.Алфеев, С.И.Козлов, В.М.Николаев, Р.Ц. Оганесян. Сообщения ОИЯИ, Р9-5043, Дубна, (1970).
13. И.А.Шелаев, В.С.Алфеев, В.И.Козлов, В.М.Николаев, Р.Ц.Оганесян. Сообщения ОИЯИ, Р9-5037, Дубна, (1970).
14. В.М.Николаев, В.А.Щёголев. Препринт ОИЯИ, Р7-6338, Дубна (1972)
15. Г.Кумпф, Л.Кумпф, Ши Шуан-уй. ЯФ, I, № 2, 264, (1965).
16. H.W.Broek. Phys.Rev. 124, 233, (1961).
17. M.Simon. Phys.Rev.C, 2, N 4, 1292, (1970).
18. Г.Кумпф, В.А.Карнаухов. ЖЭТФ, 46, 1546, (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел
13 апреля 1972 года.