

объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

23/11-79

P4 - 12204

И-209

1536/2-79

С.П.Иванова, Я.Цейпек

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА
НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ
НА ЯДРАХ ПРИ МАЛЫХ ЭНЕРГИЯХ

1979

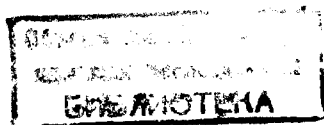
P4 - 12204

С.П.Иванова, Я.Цейпек*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА
НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ
НА ЯДРАХ ПРИ МАЛЫХ ЭНЕРГИЯХ

Направлено в ЯФ

* Институт ядерной физики Чехословацкой
академии наук, Ржеж.



Иванова С.П., Цейпек Я.

P4 - 12204

Исследование механизма неупругого рассеяния нейтронов на ядрах при малых энергиях

Исследуется механизм неупругого рассеяния нейтронов малых энергий на изотопах Sm. Изучение проводится с учетом как прямой части реакции, так и реакции через составное ядро. Рассчитываются сечения упругого рассеяния и возбуждения состояний 2^+ и 4^+ .

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Ivanova S.P., Tsejpek J.

P4 - 12204

Investigation of the Mechanism of Neutron Inelastic Scattering on Nuclei at Small Energies

The mechanism of neutron inelastic scattering at small energies on Sm isotopes is investigated. A direct part reaction, as well as the reaction via a compound nucleus are taken into account. Cross section of elastic scattering and those of the 2^+ and 4^+ state excitation are calculated.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

ВВЕДЕНИЕ

Изучение упругого и неупругого рассеяния нейтронов на ядрах позволяет получить информацию об оптическом потенциале ядерного взаимодействия, его форме, глубине, величинах силовых параметров. Поэтому такие исследования интенсивно проводятся в разных лабораториях. Разработка адекватного теоретического описания процесса рассеяния проведена в настоящее время в рамках обобщенной оптической модели ядра. Наиболее часто используются ^{1/}либо вибрационная модель /для изучения рассеяния нейтронов на сферических ядрах/, либо ротационная модель /для деформированных ядер/. Теоретические исследования сечений упругих и неупругих столкновений нейтронов с ядрами проводятся в течение длительного времени, но до сих пор они не потеряли актуальности, так как появление новых экспериментальных данных /см., например, ^{3,4/ / требует уточненного описания. Особенно интересны в этом смысле эксперименты по рассеянию частиц на ядрах, находящихся в переходной области между сферическими и деформированными.}

Данная работа посвящена изучению механизма процесса неупругого рассеяния нейтронов малых энергий на изотопах Sm.

§1. Исследование реакции (n, n') проводится в рамках метода связанных каналов ^{1/} и модели Хаузера-Фешбаха ^{5/}.

Обсудим сначала вклад прямых процессов в неупругое рассеяние.

Потенциал выбирается обычным образом:

$$V(r, \theta, \phi) = -(V + iW) \frac{1}{1 + \exp[(r-R)/a]} \quad /1/$$

$$- 2iW \frac{\exp[(r-\bar{R})/a]}{\{1 + \exp[(r-\bar{R})/a]\}^2} - V_{s.o.} (\sigma^2) \lambda^2 \frac{1}{\pi a r} \frac{\exp[(r-R)/a]}{\{1 + \exp[(r-R)/a]\}^2},$$

где R и \bar{R} имеют вид

$$R = R_0 \left(1 + \sum_{\lambda\mu} a_{\lambda\mu} Y_{\lambda\mu}(\theta, \phi)\right), \quad /2/$$

$$\bar{R} = \bar{R}_0 \left(1 + \sum_{\lambda\mu} a_{\lambda\mu} Y_{\lambda\mu}(\theta, \phi)\right)$$

в случае сферических ядер или

$$R = R_0 \left(1 + \sum_{\lambda} \beta_{\lambda} Y_{\lambda 0}(\theta)\right), \quad /3/$$

$$\bar{R} = \bar{R}_0 \left(1 + \sum_{\lambda} \beta_{\lambda} Y_{\lambda 0}(\theta)\right)$$

для деформированных ядер, где $a_{\lambda\mu}$, $\beta_{\lambda 0}$ - соответствующие параметры.

Мы будем считать изучаемые ядра деформированными /хотя изотоп ^{150}Sm относится к переходным/ и в дальнейшем использовать формулы ротационной модели.

Дальнейшее упрощение может быть связано с выбором адиабатического приближения (ACC - adiabatic couple channel calculation).

В этом случае предполагают, что процесс столкновения идет гораздо быстрее, чем характерное внутриядерное движение. Вычисления для случая ACC требуют существенно меньше времени на ЭВМ по сравнению с расчетами по NACC (nonadiabatic couple channel calculation).

Мы провели сравнение расчетов в ACC и NACC, результаты этого сравнения обсудим несколько позже.

Теоретические угловые распределения и полные сечения были получены с помощью программ JUPITER^{/2/} и ECIS^{/6/}.

Обсудим полученные результаты.

В работе^{/3/} экспериментально наблюдаемое сечение возбуждения состояния 4^+ больше аналогичной величины для 2^+ .

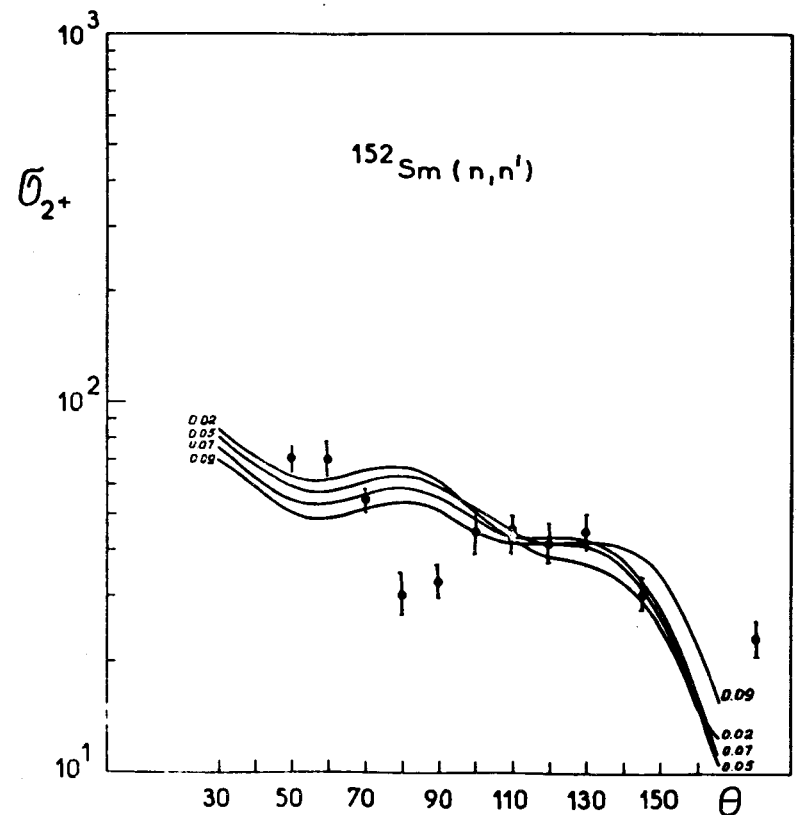


Рис.1. $\sigma_{2^+}(\theta)$ в зависимости от β_{40} ; $E_n = 2,47 \text{ МэВ}$, $\beta_{20} = 0,27$.

Чтобы обсудить такую возможность мы провели ряд методических расчетов величин сечений σ_{2^+} и σ_{4^+} в зависимости от значений β_{20} и β_{40} . При исследовании зависимости σ от параметров оптического потенциала и $\beta_{\lambda 0}$ мы использовали как исходные параметры работы^{/4/}. Экспериментальные данные взяты из той же работы. Результаты приведены на рис. 1 и 2. Эти методические расчеты проведены в рамках ACC. Видно, что изменение β_{40} от 0,02 до 0,09 мало меняет форму углового распределения для состояния 2^+ . В случае состояния 4^+ изменения существенны только при больших углах, однако для этой области углов важными являются и другие факторы

/см. ниже/. Абсолютное значение сечения для 4^+ - σ_{4^+} не превышает величину σ_{2^+} ни при каком из выбранных β_{40} . Заметим, что равновесные значения параметров деформации β_{20} и β_{40} извлекаются при обработке данных неупругого рассеяния частиц на ядрах методом связанных каналов, поэтому точность получения таких "экспериментальных" величин зависит от использованной схемы расчетов. Сечение упругого рассеяния в зависимости от β_{40} представлено на рис. 3.

Как подчеркивалось выше, величины $\sigma(\theta)$ при больших углах очень чувствительны к выбранной схеме расчетов. Мы

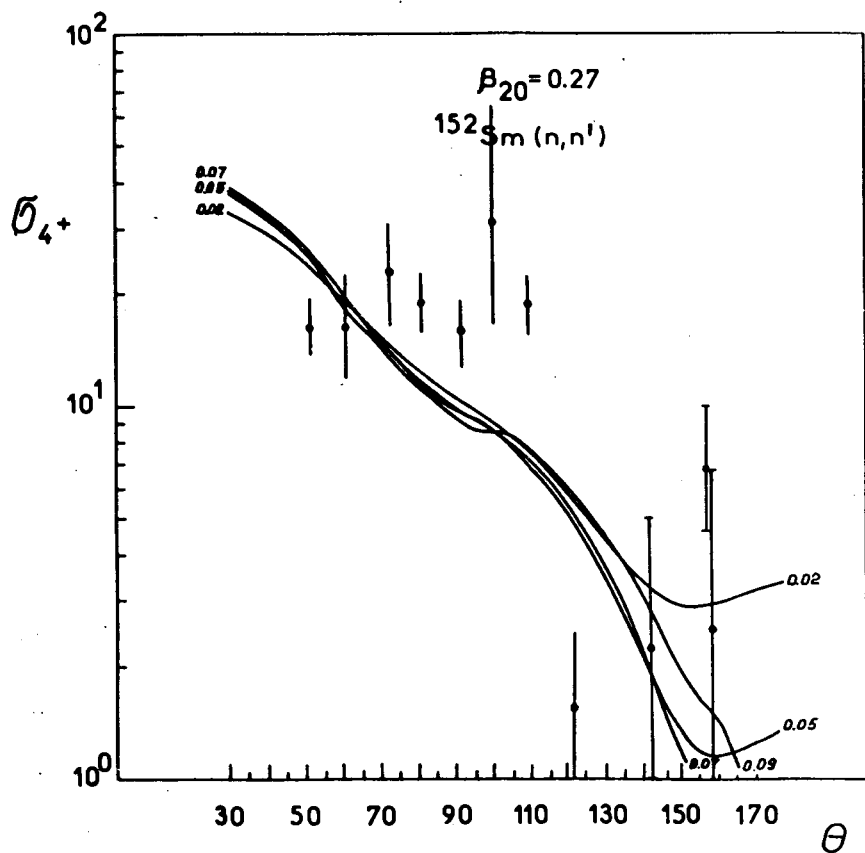


Рис.2. $\sigma_{4^+}(\theta)$ в зависимости от β_{40} ; $E_n = 2,47$ МэВ, $\beta_{20} = 0,27$.

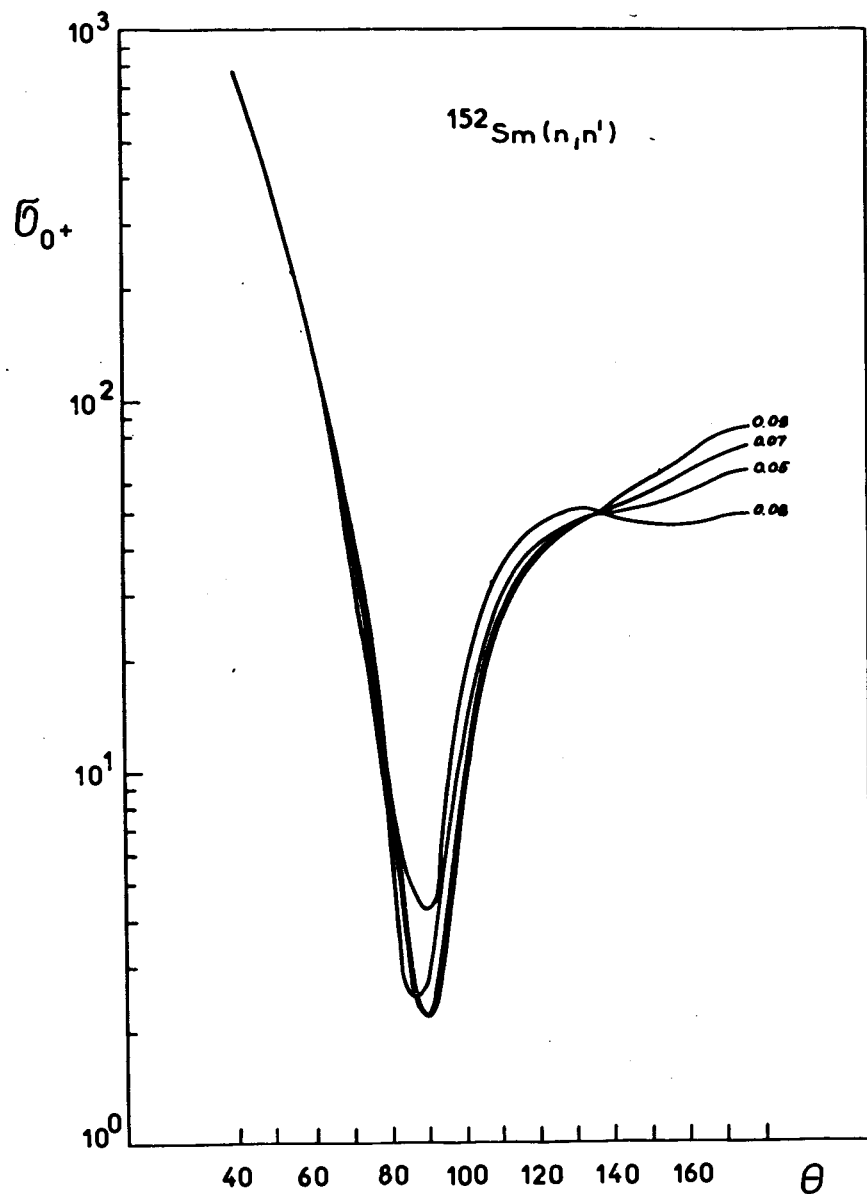


Рис.3. Сечение упругого рассеяния нейтронов на ^{152}Sm как функция β_{40} ; $E_n = 2,47$; $\beta_{20} = 0,27$.

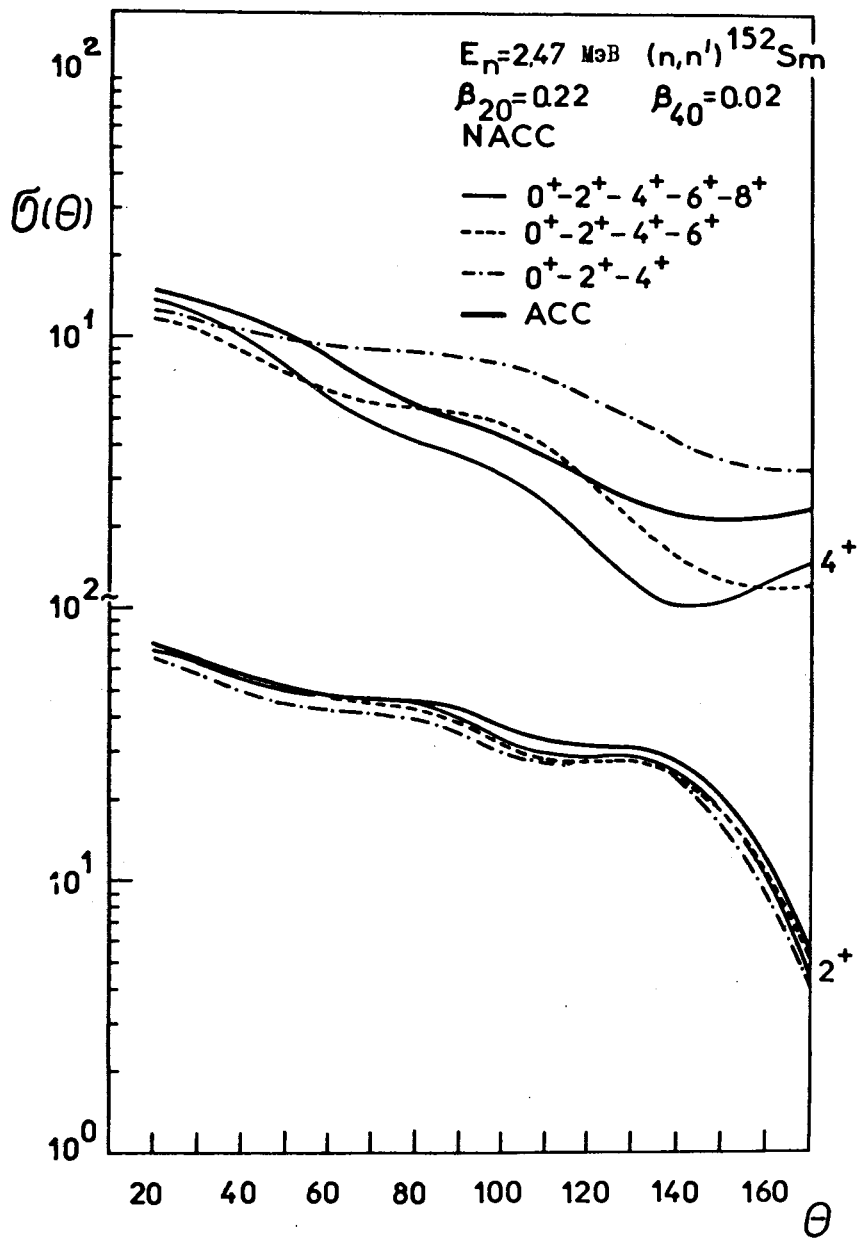


Рис. 4. σ_{2^+} и σ_{4^+} для ACC и NACC и для разных схем связи.

провели вычисления для случая учета виртуальных возбуждений состояний $0^+ - 2^+ - 4^+ - 6^+$ и $0^+ - 2^+ - 4^+ - 6^+ - 8^+$ в NACC и ACC /где учитываются автоматически все наблюдаемые состояния основной полосы/. Результаты приведены на рис. 4, где для разных схем связи при одинаковых параметрах оптического потенциала и деформации сравниваются величины σ_{2^+} и σ_{4^+} в ACC и NACC. Видно, что σ_{2^+} и σ_{4^+} крайне чувствительны к схеме связи и методу расчета, особенно при $\theta \geq 140^\circ$. Наиболее заметны изменения для $\sigma_{4^+}(\theta)$. Все это требует осторожности в выводах, которые делают в некоторых работах, сравнивая теоретические и экспериментальные результаты для больших углов. Если сравнить теоретические сечения, полученные с использованием наиболее широко применяемых в мире программ ECIS^{6/} и JUPITER^{2/}, то рис. 5 демонстрирует хорошее соответствие результатов, особенно в области средних углов.

Если рассмотреть рассеяние нейтронов на других изотопах Sm, то оказывается, что форма кривых углового распределения для рассеяния на состоянии 2^+ совпадает для разных ядер с хорошей точностью. Параметры оптического потенциала для разных изотопов отличаются только на поправки, связанные с изотопической зависимостью, а β_{20} и β_{40} подбираются исходя из лучшего соответствия с экспериментом. Различия опять наступают в области больших углов.

Изменения в величине σ_{2^+} в зависимости от $V_{s.o.}$ и W демонстрируются на рис. 6. Как форма, так и абсолютная величина сечения зависят от величины $V_{s.o.}$, поэтому изучение $\sigma(\theta)$ без включения спин-орбитального взаимодействия не может претендовать на корректность. На рис. 6 показана зависимость σ_{2^+} для разных значений W . Как известно, необходимость уменьшения W по сравнению с теми значениями, которые были получены подгонкой по простой оптической модели, связана с включением новых каналов в методе CC. Как и ожидалось, уменьшение W приводит к появлению структуры в σ_{2^+} . Величина W чувствительна к значениям энергии падающего нейтрона. Мы провели расчеты сечения неупругого рассеяния нейтронов при $E_n = 7$ МэВ, пример $\sigma_{2^+}(\theta)$ приведен на рис. 7. Расчет проведен в ACC, что оправдано для σ_{2^+} , получено хорошее соответствие с экспериментальными результатами.

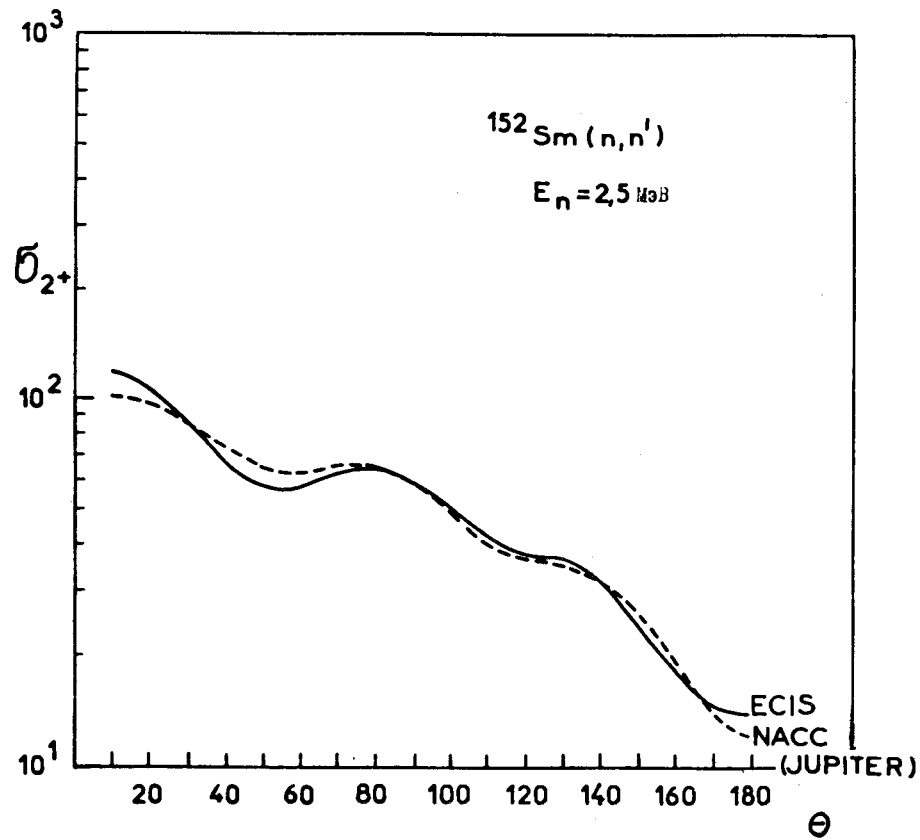


Рис.5. Расчет $\sigma_{2+}(\theta)$ по программам ECIS и JUPITER.

Важной характеристикой изучаемого процесса является сечение возбуждения как функция энергии налетающей частицы. На рис. 8 и 9 приведены зависимости σ_{2+} и σ_{4+} для фиксированных углов $\theta=50^\circ$ /рис. 8/ и $\theta=80^\circ$ /рис. 9/. На рисунках показаны отдельно вклады от прямого процесса (D.I.) и компаунд-состояний (c.s.). Для прямого процесса сечение σ_{4+} имеет структуру в области энергий $\sim 6,5$ МэВ. Эти расчеты были проведены с параметром W , меняющимся при изменении E_n в соответствии с феноменологическим приближением $W =$

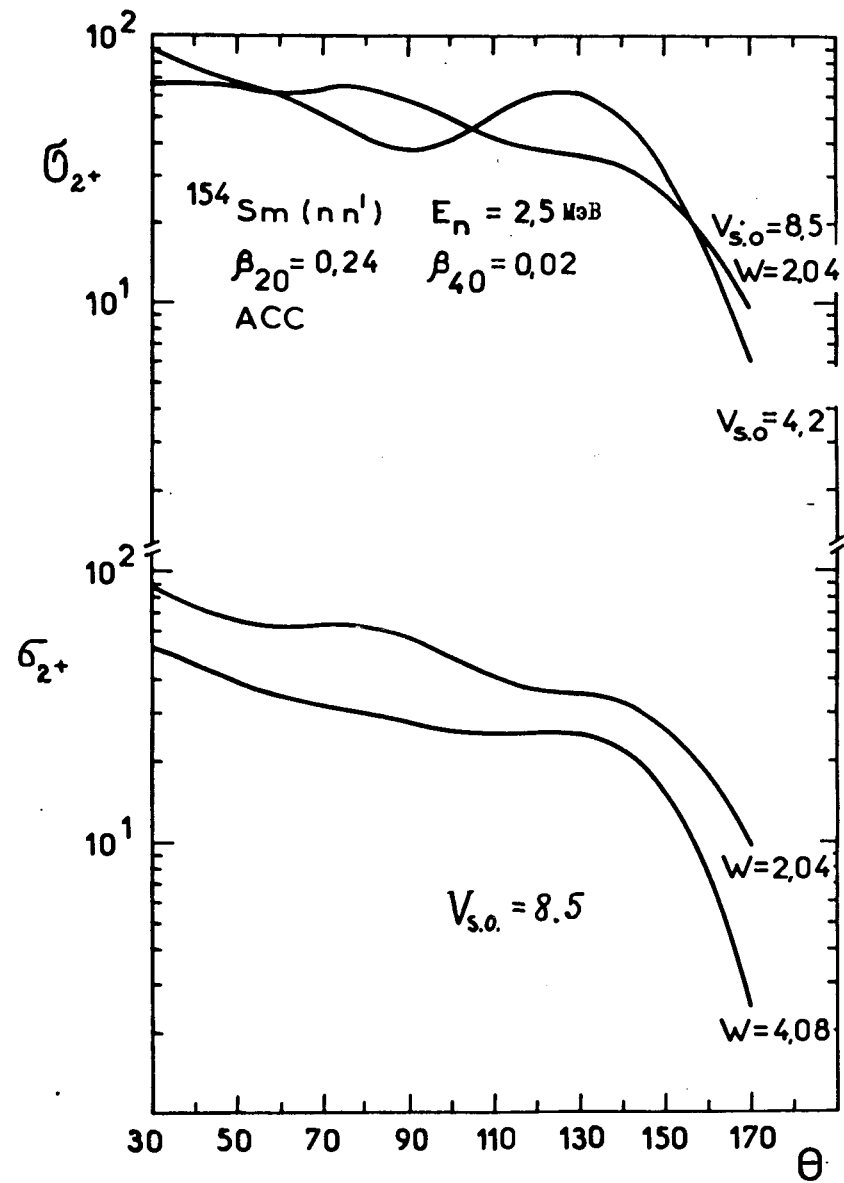


Рис.6. σ_{2+} как функция $V_{s.o.}$ и W .

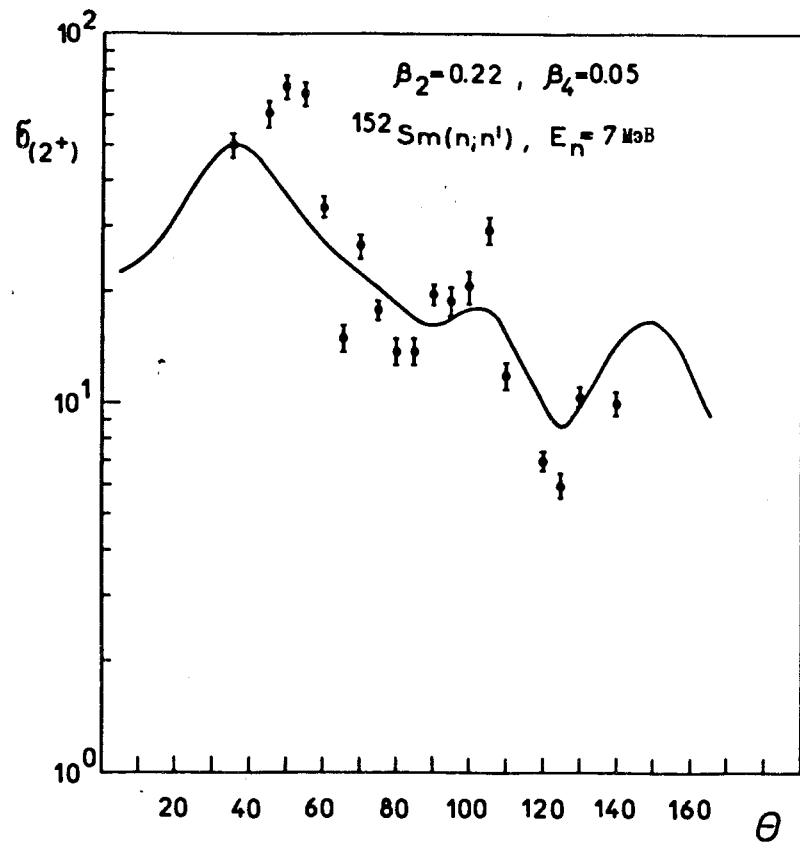


Рис.7. $\sigma_{(2+)}(\theta)$ для $^{152}\text{Sm}(n, n')$; $E_n = 7,0$ МэВ.

$=1,5 \pm 0,4$ E. Для сравнения теоретических расчетов с экспериментальными данными мы вычислили вклад в сечение (n, n') от статистических процессов. Для этой цели применялась программа LIANA^{7/}, основанная на формализме Хаузера-Фешбаха^{5/} с поправками Молдауэра^{8/}. Для состояния 4^+ вклад от компанд-системы существенен для всего диапазона рассматриваемых энергий.

В таблице сравниваются сечения возбуждения σ_{2+} и σ_{4+} для ^{152}Sm с экспериментальными значениями при $E_n = 2,47$ МэВ.

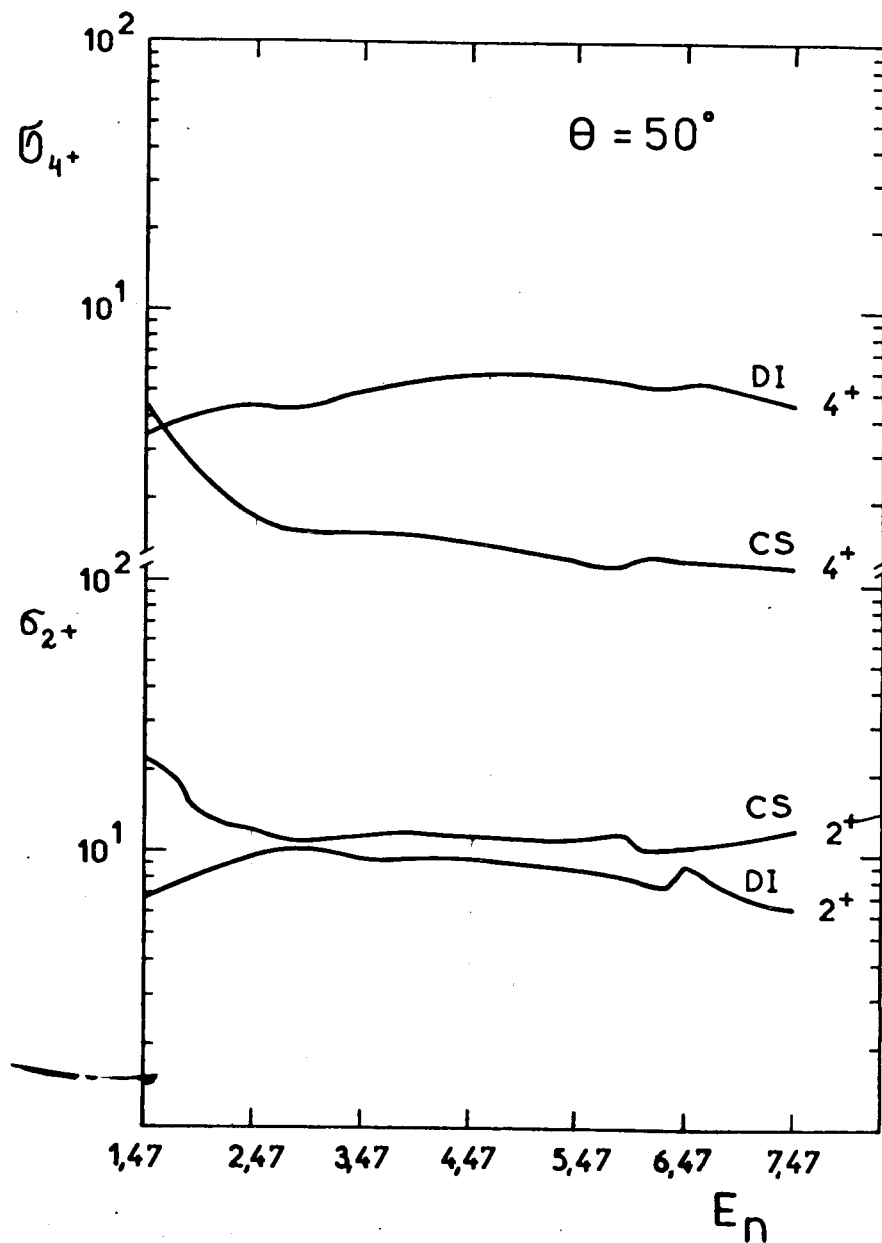


Рис.8. σ_{2+} и σ_{4+} как функция E_n при $\theta = 50^\circ$. Вклады прямого процесса (D.I.) и компанд-системы (c.s.) приведены отдельно.

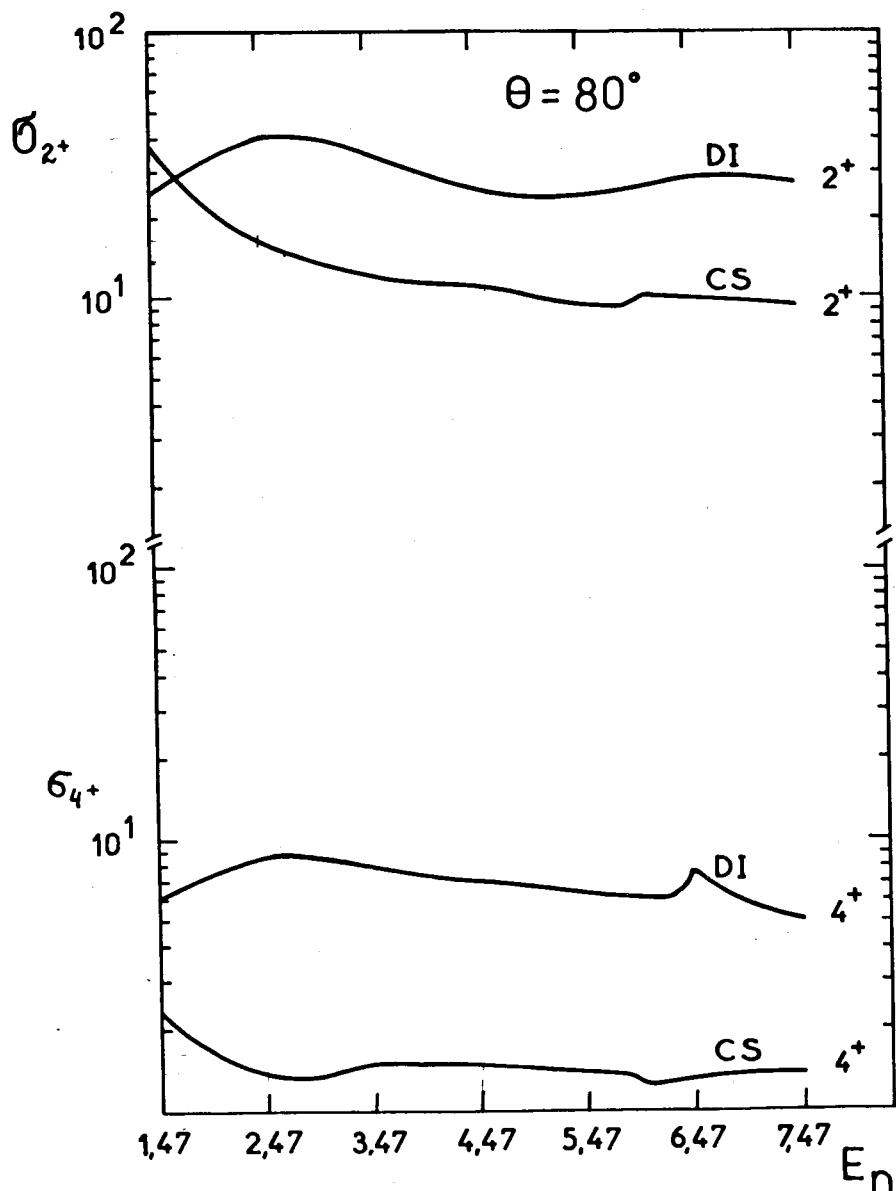


Рис.9. То же, что и на рис. 8; $\theta = 80^\circ$.

Таблица

состояние	σ экспер. /4/	$\sigma_{D.I.}$	$\sigma_{c.s.}$	$\sigma_{tot.}$
2^+	600±40	447	217	664
4^+	271±30	98	153	251

Сравнение σ_{tot} и $\sigma_{эксп.}$ показывает, что при корректном выборе схемы расчета и параметров задачи получается хорошее соответствие теоретических и экспериментальных результатов: $\sigma_{tot}(4^+) < \sigma_{эксп.}(4^+)$, такое соотношение оставляет возможность для существования интерференционных процессов, однако вклад их невелик по сравнению с вкладом как от компаунд-состояния, так и от прямого процесса.

Авторы признательны Ф.А.Гарееву за обсуждения и С.А.Гончарову за помощь в численных расчетах. Большая часть работы была выполнена во время пребывания Я.Цейпека в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ, и Я.Цейпек благодарен дирекции лаборатории за предоставленную возможность проведения этих исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tamura T. *Rev.Mod.Phys.*, 1965, 37, p. 679.
2. Tamura T. ORNL-4152, 1967.
3. Силько С.Л., Андреев Е.А., Басенко В.К. *ЯФ*, 1977, 25, с. 1119; Андреев Е.А. и др. *Украинский физический журнал*, 1977, 22, с. 161.
4. Coope D.F. et al. *Phys.Rev.*, 1977, C16, p. 2223.
5. Raynal J. *Physics ICTP, Trieste*, 1971.
6. Hauser W., Feshbach H. *Phys.Rev.*, 1952, 87, p. 366.
7. Smith W.R. *CPC* 1, 1969, p. 181.
8. Moldauer P. *Phys.Rev.*, 1965, 123, p. 968.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 января 1979 года.