

образующихся при делении ядра, и т. д. В круг этих исследований можно включить поиски задержек (и измерение времени задержки) части γ -каскада, связанных с образованием изомерных состояний.

Одновременная спектрометрия многих величин (многомерные измерения) дает ценную информацию о всевозможных корреляциях при делении и радиационном захвате. На основе результатов таких измерений можно выделить и исследовать крайние случаи — редкие события, например, деление без вылета нейтрона, с вылетом большого числа нейтронов, большого (малого) числа γ -квантов и т. д. Изучение γ -каскада при радиационном захвате с измерением энергии квантов, соответствующих нижним переходам, позволит получить информацию о характеристиках нижних уровней и, может быть, выявить состояния, лежащие сколь угодно близко к основному или другому низколежащему состоянию.

Отметим, что как на имеющихся, так и на вновь создаваемых установках будут измеряться нейтронные сечения, необходимые для оптимизации всего цикла использования атомной энергии.

В настоящее время для реализации некоторых из перечисленных исследований создаются соответствующие установки на базе ЛЭУ-60 ИАЭ им. И. В. Курчатова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мурадян Г. В., Адамчук Ю. В., Щепкин Ю. Г. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Некоторые проблемы физики твердого тела. М., 1974, с. 52.
2. Pönitz W. — Z. Phys., 1966, v. 197, p. 262.
3. Мурадян Г. В. и др. Препринт ИАЭ-2634. М., 1976.
4. Адамчук Ю. В. и др. В кн.: Нейтронная физика. Материалы 4-й Всесоюз. конф. Изд. ЦНИИатоминформ, 1977, ч. 3, с. 113.
5. Адамчук Ю. В. и др. Там же, 1977, ч. 2, с. 192.
6. Мурадян Г. В. и др. Там же, 1977, ч. 3, с. 119.

УДК 539.172.4

Угловые распределения нейтронов энергией 5—7 МэВ, упруго- и неупругорассеянных изотопами никеля

ГОРЖ И. А., ЛУНЕВ В. П., МИЩЕНКО В. А., МОЖЖУХИН Э. Н., ПАСЕЧНИК М. В., ПРАВДИВЫЙ Н. М.

Рассеяние нейтронов в интересующей нас области энергии изотопами никеля мало изучено как экспериментально (из-за технических трудностей), так и теоретически (из-за сложности механизма взаимодействия), что и стимулировало постановку настоящей работы.

Результаты исследований дифференциальных сечений упругого и неупругого рассеяний нейтронов энергией 5,0 МэВ изотопами $^{58,60,62,64}\text{Ni}$ и теоретический анализ приведены в работе [1], а в настоящей статье — результаты исследований при энергии 6 и 7 МэВ для $^{58,60,64}\text{Ni}$.

Методика эксперимента. Измерения спектров рассеянных нейтронов проведены методом времени пролета под 11 углами в диапазоне 20—150° на импульсном ускорителе ЭГ-5 [2]. Нейтроны энергией $(5,0 \pm 0,17)$; $(6,0 \pm 0,14)$ и $(7,0 \pm 0,12)$ МэВ получены из Ti — D-мишени в реакции $\text{D}(d, n)^3\text{He}$. Методика эксперимента детально описана в работах [1, 3].

В измерениях использованы рассеиватели высококого (> 93%) изотопного обогащения в форме цилиндров: из порошков окислов в контейнерах при энергии 5,0 МэВ и из прессованных порошков металлов диаметром 2,0 см, высотой 2,0—3,0 см и массой 34—66 г при энергиях 6,0 и 7,0 МэВ.

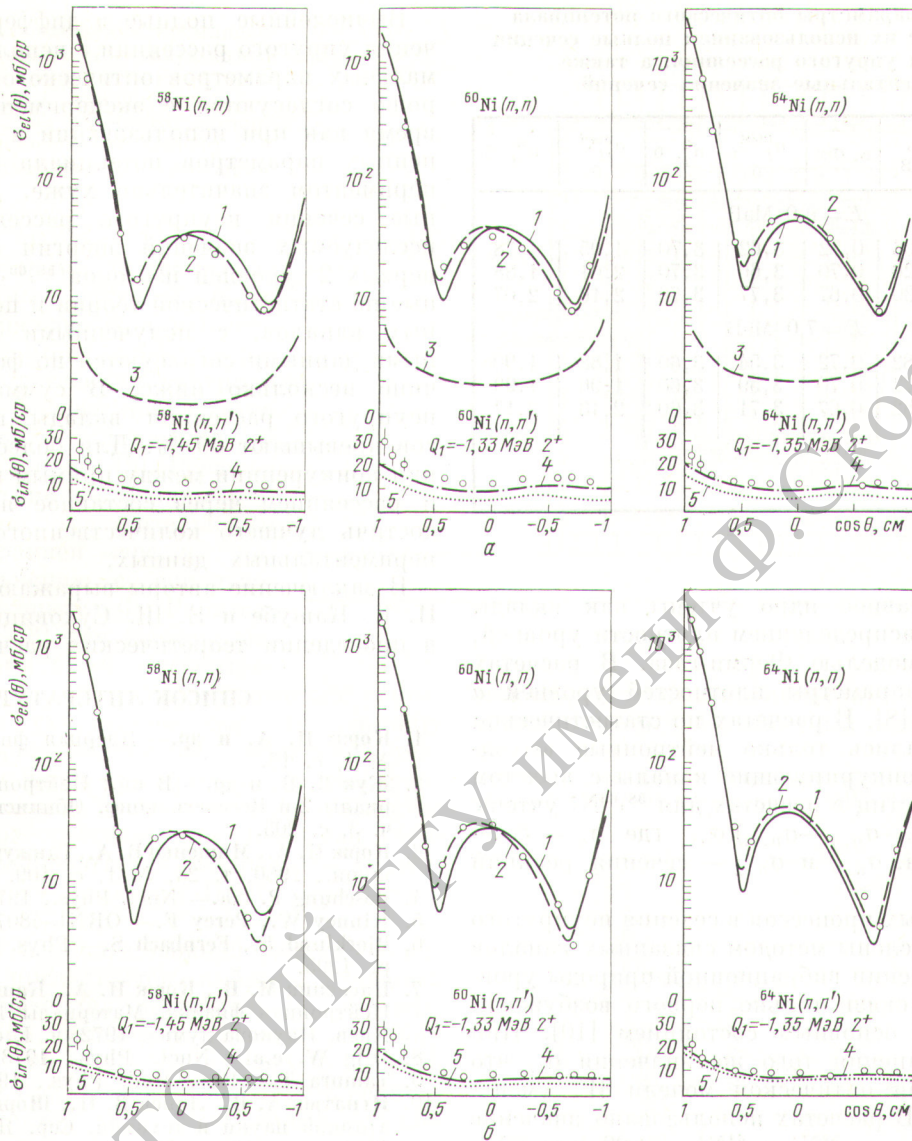
Результаты измерений. По измеренным время-пролетным спектрам определены дифференциальные сечения упругого рассеяния нормировкой к измерениям потоков нейтронов под 0° и неупругого рассеяния с возбуждением первых 2+-уровней исследуемых изотопов нормировкой к хорошо известным сечениям рассеяния нейтронов водородом.

В измеренные сечения рассеяний введены необходимые поправки на анизотропию выхода нейтронов из мишени (4—11%), на ослабление потока нейтронов в образце (10—33%), а в сечения упругого рассеяния поправки на многократное рассеяние нейтронов в образце и на угловое разрешение эксперимента (соответственно 34 и 27% в минимумах сечений).

Полученные экспериментальные результаты представлены на рисунке. Приведенные погрешности включают погрешности измерений, нормировок и введения поправок. Они составляют от 3 до 10% для сечений упругого рассеяния и от 4 до 9% (кроме трех передних углов) для сечений неупругого рассеяния.

Нет опубликованных данных измерений для исследуемых значений энергии на изотопах никеля. Однако результаты измерений при энергии 5,58 МэВ для ^{58}Ni и ^{60}Ni [4] и при 6,44 МэВ для ^{60}Ni [5] в общем коррелируют с нашими данными.

* Журнальный вариант доклада на 5-й Всесоюзной конференции по нейтронной физике (Киев, сентябрь 1980 г.).



Сравнение экспериментальных данных по дифференциальным сечениям упругого и неупругого рассеяний нейтронов энергией 6,0 (а) и 7,0 (б) МэВ четными изотопами никеля (○) с теоретическими расчетами (кривые): 1 — сечения упругого рассеяния, вычисленные по оптической модели с усредненными параметрами; 2 — то же, но с оптимальными параметрами; 3 — сечения упругого рассеяния через составное ядро ($\times 2$); 4 — суммарные сечения неупругого рассеяния, вычисленные по статистической теории и методу связанных каналов; 5 — сечения прямого неупругого рассеяния, вычисленные по методу связанных каналов

Теоретический анализ. На рисунке для сопоставления с экспериментальными результатами приведены результаты вычислений по оптико-статистической модели и методу связанных каналов.

Сечения потенциального упругого рассеяния и коэффициенты проницаемости для расчетов по статистической теории вычислены по оптической модели со сферическим потенциалом [6] и набором его усредненных параметров [7]. Проведены также подгонки к экспериментальным сечениям упругого рассеяния с вариацией параметров V_c ,

W_c и a , в результате которых получены значения оптимальных параметров потенциала (см. таблицу).

Сечения упругого и неупругого рассеяний через составное ядро вычислены по статистической теории. Вклады их в упругое рассеяние учтены только при энергии 6,0 МэВ, а при энергии 7,0 МэВ ими пренебрегли из-за малости.

Поскольку характеристики высоковозбужденных (выше 3,0—3,5 МэВ) состояний известны плохо, вклады этих состояний в сечения рассея-

Оптимальные параметры оптического потенциала и вычисленные с их использованием полные сечения и сечения упругого рассеяния, а также экспериментальные значения сечений

| Изотоп | V_c , МэВ | W_c , МэВ | a , ФМ | $\sigma_t^{в\text{ыч}}$, б | σ_t^a , б | $\sigma_{el}^{в\text{ыч}}$, б | σ_{el}^a , б |
|------------------|-------------|-------------|----------|-----------------------------|------------------|--------------------------------|---------------------|
| $E = 6,0$ МэВ | | | | | | | |
| ^{58}Ni | 47,92 | 13,06 | 0,72 | 3,62 | 3,70 | 1,95 | 1,78 |
| ^{60}Ni | 47,72 | 12,26 | 0,70 | 3,66 | 3,70 | 2,01 | 1,88 |
| ^{64}Ni | 47,32 | 10,36 | 0,67 | 3,77 | 3,70 | 2,16 | 2,07 |
| $E = 7,0$ МэВ | | | | | | | |
| ^{58}Ni | 47,69 | 13,82 | 0,72 | 3,54 | 3,60 | 1,88 | 1,90 |
| ^{60}Ni | 47,29 | 12,72 | 0,70 | 3,59 | 3,60 | 1,96 | 1,99 |
| ^{64}Ni | 46,79 | 10,82 | 0,67 | 3,71 | 3,60 | 2,13 | 2,17 |

* $1 \text{ б} = 10^{-28} \text{ м}^2$.

ний через составное ядро учтены как вклады континуума с распределением плотности уровней, определяемым моделью Ферми-газа. В расчетах использованы параметры плотностей уровней a и Δ из работы [8]. В расчетах по статистической теории учитывались только нейтронные выходные каналы. Конкурирующие каналы с вылетом протонов и α -частиц в расчетах для $^{58,60}\text{Ni}$ учтены множителем $(\sigma_a - \sigma_{n,p} - \sigma_{n,\alpha})/\sigma_a$, где σ_a — сечение поглощения, $\sigma_{n,p}$ и $\sigma_{n,\alpha}$ — сечения реакций (n, p) и (n, α).

Вклады прямых процессов в сечения неупругого рассеяния вычислены методом связанных каналов [9] в предположении вибрационной природы уровней и сильной связи только первого возбужденного уровня с основным состоянием [10]. При этом для сохранения того же значения σ_t , что и в сферической оптической модели W_c уменьшено на 20%. В расчетах использовано значение β_2 , равное 0,20 для ^{58}Ni и ^{64}Ni и 0,22 для ^{60}Ni .

Вычисленные полные и дифференциальные сечения упругого рассеяния с использованием оптимальных параметров оптического потенциала хорошо согласуются с экспериментальными, в то время как при использовании в расчетах усредненных параметров потенциала согласие с экспериментом значительно хуже. Дифференциальные сечения неупругого рассеяния нейтронов исследуемых значений энергии с возбуждением первых 2^+ -уровней изотопов $^{58,60,64}\text{Ni}$, рассчитанные по статистической теории и по методу связанных каналов, с полученными экспериментальными данными согласуются по форме, а по величине несколько ниже. В суммарных сечениях неупругого рассеяния вклады прямых процессов превышают 60%. Для более точного изучения конкуренции между прямым взаимодействием и рассеянием через составное ядро необходимо достичь лучшего количественного описания экспериментальных данных.

В заключение авторы выражают благодарность И. Е. Кашубе и Е. Ш. Суховицкому за помощь в проведении теоретических расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корж И. А. и др. — Ядерная физика, 1980, т. 31, № 4, с. 13.
2. Жук В. В. и др. — В кн.: Нейтронная физика. Материалы 2-й Всесоюз. конф. Обнинск, изд. ФЭИ, 1974, ч. 3, с. 203.
3. Корж И. А., Мищенко В. А., Санжур И. Е. — Укр. физ. журн., 1980, т. 25, № 1, с. 109.
4. Boschung P. e.a. — Nucl. Phys., 1971, v. A161, p. 593.
5. Kinney W., Percy F. — ORNL-4807. Oak-Ridge, 1974.
6. Bjorklund F., Fernbach S. — Phys. Rev., 1958, v. 109, p. 1295.
7. Пасечник М. В., Корж И. А., Кашуба И. Е. — В кн.: Нейтронная физика. Материалы 1-й Всесоюз. конф. Киев, Наукова думка, 1972, ч. I, с. 253.
8. Dilg W. e.ai — Nucl. Phys., 1973, v. A217, p. 269.
9. Tamura T. — Rev. Mod. Phys., 1965, v. 37, p. 679.
10. Игнатюк А. В., Лунев В. П., Шорин В. С. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1974, вып. 17, с. 59.

УДК 539.173

Проект нейтринных экспериментов на реакторе*

ДЕРБИН А. В., ПЕТРОВ Ю. В., ПОПЕКО Л. А.

Экспериментальное изучение нейтринных реакций при низкой энергии, начатое с детектирования свободного нейтрино в опытах Ф. Райнеса и др. [1, 2], до сих пор представляет значительный интерес, поскольку некоторые вопросы единой теории слабого и электромагнитного взаимодействий могут быть выяснены только при низкой

энергии. Эксперименты, выполненные группой Ф. Райнеса к настоящему времени, касаются почти всех возможных нейтринных реакций с реакторными антинейтрино. Однако в большинстве из них достигнута погрешность измерения сечений $\sim 20-50\%$ [3-5]. В различных лабораториях мира планируются нейтринные эксперименты в целях существенного повышения точности и надежности нейтринных данных [6-8].

При низкой энергии нейтрино экспериментально могут быть изучены явления, связанные с

* Журнальный вариант доклада на 5-й Всесоюзной конференции по нейтронной физике (Киев, сентябрь 1980 г.).