

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ИЗОБАРАНАЛОГОВЫХ СОСТОЯНИЙ В РЕАКЦИИ $^{208}\text{Pb}(n\text{p})$

Г.Е. Беловицкий, А.Н. Барышников, Ю.Г. Паниткин,  
О.С. Пресняк

Эксперимент выполнялся активационным методом для нейтронов с энергией 16,5 — 19,5 МэВ. Получено резонансное сечение возбуждения ИАС  $\leq 0,2$  мбн, а упругая нейтронная ширина  $\Gamma_n^\dagger \leq 3,0$  кэВ. Результаты сравниваются с расчетом и экспериментальными данными других авторов.

Настоящая работа является продолжением цикла работ по исследованию возможности возбуждения изобараналоговых состояний (ИАС) в реакциях ( $n\text{p}$ ) на изотопах свинца в области энергии нейтронов 12 — 20 МэВ. Ранее нами наблюдалось возбуждение ИАС в реакции  $^{206}\text{Pb}(n\text{p})$  [1] при  $E_n = 14,0$  и 14,4 МэВ и исследовалась возможность их возбуждения в реакции  $^{207}\text{Pb}(n\text{p})$  [2]. В реакции  $^{207}\text{Pb}(n\text{p})$  возбуждения ИАС не обнаружено и получена лишь верхняя граница сечения возможных резонансов  $\sigma_{n\text{p}}^R \leq 0,6$  мбн.

В настоящей работе исследовалось возбуждение ИАС нейтронами в составном ядре  $^{209}\text{Pb}$  в реакции  $^{208}\text{Pb}(n\text{p})$ . В [3] в аналогичной работе возбуждение ИАС в том же ядре  $^{209}\text{Pb}$  не наблюдалось. Однако, в [3] ход сечения ( $n\text{p}$ ) реакции сильно расходился с расчетом [4] и последующим экспериментом [5]. Это побудило нас повторить измерения.

Энергия, необходимая для возбуждения ИАС нейтронами, вычислялась по аналогии с [1] и для ИАС основного состояния  $^{209}\text{Tl}$  ( $J^\pi = \frac{1}{2}^+$ ) равна 18 МэВ, а первого возбужденного состояния — 18,32 МэВ. Точность определения энергии нейтронов  $\pm 100$  кэВ.

Реакция  $^{208}\text{Pb}(n\text{p})$   $^{208}\text{Tl}$  идентифицировалась по наведенной  $\gamma$ -активности. Остаточное ядро  $^{208}\text{Tl}$  является  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучателем с  $T_{1/2} = 3,1$  мин, так как все  $\beta$ -переходы идут на 5 первых возбужденных уровней ядра  $^{208}\text{Pb}$ , что приводит к большому количеству  $\gamma$ -линий.

Обогащенные образцы  $^{208}\text{Pb}$  содержали  $^{208}\text{Pb} - 97,8\%$ ,  $^{207}\text{Pb} - 1,4\%$ ,  $^{206}\text{Pb} - 0,7\%$ ,  $^{204}\text{Pb} - 0,1\%$ . Продукты реакций на изотопах  $^{207}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}$  являются  $\beta$ -излучателями и помех не создают.

Нейтроны с энергией 16,5 — 19,5 МэВ получались в реакции  $\text{T}(d, n)$  на электростатическом ускорителе ЭГ-5 ИЯИ АН СССР изменением энергии дейтонов от 0,8 до 3 МэВ. Использовались  $\text{Tl} - \text{T}$  мишени толщиной 0,6 — 0,8 мг/см<sup>2</sup>. Калибровка ускорителя и толщина мишеней контролировалась по порогу ( $n\text{p}$ ) реакции. Энергетическое размытие пучка около 200 кэВ, а энергетический шаг 40 — 70 кэВ.

Образцы  $^{208}\text{Pb}$  — пластины размером 25 × 30 × 1,6 мм<sup>3</sup>. При облучении образцы устанавливались в держателе плоскостью перпендикулярно пучку дейтонов. Расстояние от образцов до мишени 8 см, время облучения 6 мин.  $\gamma$ -активность образцов измерялась на  $\text{Ge} - \text{Li}$

или сцинтилляционном NaJ спектрометре с обрезанием  $\gamma$ -спектра ниже 200 кэВ.

Мониторирование нейтронного потока осуществлялось измерением  $\gamma$ -активности изомера  $^{137m}\text{Ba}$ , образующегося в результате реакции  $^{138}\text{Ba}(n, 2n)$ . Характеристики реакции и изомера:  $Q = -8,61$  МэВ,  $\sigma = 1020$  мбн,  $T_{1/2} = 2,56$  мин и  $E_\gamma = 0,66$  МэВ. Образцы  $^{138}\text{Ba}$  (обогащение 99,8%) в полиэтиленовых капсулах  $\phi$  25 мм, в виде порошка  $\text{BaCO}_3$  устанавливались под углом  $120^\circ$  к пучку дейтронов на расстоянии 10 см от мишени. Для этого угла энергия нейтронов почти не зависит от энергии дейтронов.

Функция возбуждения реакции  $^{208}\text{Pb}(np)$  измерялась в нескольких сериях. Результаты измерений представлены на рисунке (там же приведены компоненты  $\chi^2$ -гистограмма). Экспериментальные результаты приведены с полной среднеквадратичной ошибкой, составляющей для доверительной вероятности 0,7 величину около 2,5%. Через все экспериментальные точки по методу наименьших квадратов (МНК) была проведена кривая и оценены отклонения экспериментальных точек от нее по методу  $\chi^2$ .

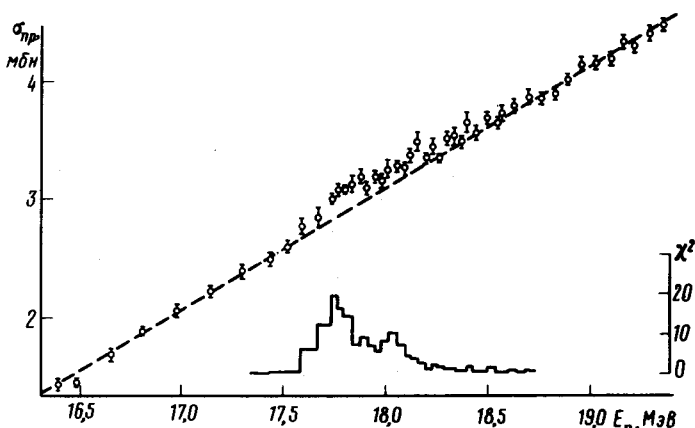
Экспериментальные данные плохо описываются полиномами малых степеней ( $n = 3, 4$ ). Только при степени полинома  $n = 7$  удается получить удовлетворительное описание ( $\chi^2 = 1,5$  против  $\chi^2 = 2,5$  при  $n = 4$ ). Наибольший вклад в сумму  $\chi^2$  дают точки интервала 17,5 – 18,3 МэВ. При исключении этого интервала оставшиеся данные описывались хорошо уже полиномом с  $n = 2$ . При интерполяции этого полинома в область 17,5 – 18,3 МэВ наблюдается систематическое превышение точек этого интервала над интерполированной кривой. Отклонения экспериментальных данных от этой кривой, оцененные по методу  $\chi^2$  и усредненные для сглаживания выбросов по скользящему интервалу из трех точек, показали наличие двух размазанных (распределенных) максимумов при энергии нейтронов 17,8 и 18,1 МэВ. Эти аномалии могут быть связаны с возбуждением двух ИАС –  $g.s.$  и 1-го возбужденного уровней ядра  $^{209}\text{Tl}$ .

Максимальная амплитуда отклонения составляет для доверительной вероятности 0,7 величину  $7 \pm 2,5\%$  для первого и  $3,5 \pm 2,0\%$  для второго максимумов (в процентах к величине подложки). Из-за большого энергетического размытия максимумы не разделены, что не позволяет определить более корректно характеристики этих резонансов.

Во втором варианте обработки использовались данные расчета  $\sigma_{np}^R$  по экситонной модели, отнормированные по эксперименту при 16,4 МэВ. Компоненты  $\chi^2$ , вычисленные относительно расчетных точек, имеют структуру, сходную с описанной выше.

Из этих данных можно сделать оценку ширины  $\Gamma_n^\dagger$ . Из [5] сечение реакции  $(np)$  при  $E_n = 18$  МэВ равно 3 мбн. Тогда резонансное сечение  $\sigma_{np}^R = 0,07 \sigma_{np}^{\text{фон}} = 0,21$  мбн. Из распределения компонент  $\chi^2$  видно, что суммарная ширина двух максимумов 450 кэВ, т. е. для одного максимума можно положить  $\Gamma = 200$  кэВ, что типично для ИАС в области тяжелых ядер. Используя  $0,1 < \Gamma_p/\Gamma < 0,7$  и формулу Брейта – Вигнера для одиночного резонанса:  $\sigma_{np}^R = 4\pi \chi^2 \frac{\Gamma_p \Gamma_n}{\Gamma^2}$ , получим  $\Gamma_n^\dagger$ , лежа-

шее в пределах  $0,4 < \Gamma_n^\uparrow < 3$  кэВ. Теоретический расчет [6] дает для этой величины заметно меньшее значение  $\Gamma_n^\uparrow = 0,02$  кэВ.



Теперь сопоставим экспериментальные данные и теоретические расчеты по возбуждению ИАС в реакциях ( $np$ ) для трех изотопов свинца. Из экспериментальных данных следует, что в четных изотопах-мишенях наблюдается возбуждение ИАС, тогда как в нечетном — не наблюдается. Это отчасти может быть связано с меньшей величиной эффекта в нечетном изотопе, что следует из теоретического расчета, а также с большим числом возбуждаемых уровней материнского ядра аналога  $^{209}\text{Tl}$  и недостаточным энергетическим разрешением. По этим причинам ИАС могут не наблюдаться или наблюдаться со значительно меньшей величиной  $\sigma_{np}^R$ . Экспериментальные и теоретические ширины  $\Gamma_n^\uparrow$  для исследованных ИАС представлены в таблице.

Изотоп-мишень	$J^\pi$ ядра мишени	$J^\pi$ ИАС	$E_n$ для возб. ИАС, МэВ	$\Gamma_n^\uparrow$ эксп., кэВ	$\Gamma_n^\uparrow$ расч. кэВ
$^{206}\text{Pb}$	$0^+$	$11/2^-$	13,9	0,46	0,2
		$5/2^+$	14,3		
$^{207}\text{Pb}$	$1/2^-$	$1^-$	16,9	< 10,0	0,002
$^{208}\text{Pb}$	$0^+$	$1/2^+$	17,9	2,9	0,02
		$3/2^+$	18,2		

В столбце " $\Gamma_n^\uparrow$  эксп." приведены результаты, полученные в предположении, что  $\Gamma_p/\Gamma = 0,1$  [7]. Для  $^{207}\text{Pb}$  возбуждения ИАС в реакции ( $np$ ) не наблюдалось, поэтому в качестве верхней границы резонансного сечения взята двойная квадратичная ошибка, которая к тому же вдвое больше, чем двух других экспериментов.

Несмотря на недостаточную точность эксперимента сравнение экспериментальных и теоретических значений  $\Gamma_n^\uparrow$  указывает на заметное расхождение теории и эксперимента. Для выяснения этих расхождений и понимания механизма возбуждения ИАС в запрещенных по изоспину ре-

акциях под действием нейтронов необходимы дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования.

Институт ядерных исследований  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
28 августа 1980 г.

### Литература

- [1] Г.Е. Беловицкий, О.С.Пресняк. Письма в ЖЭТФ, 29, 791, 1979.
  - [2] Г.Е.Беловицкий, Ю.А.Преображенский, О.С.Пресняк. Письма в ЖЭТФ, 32, 78, 1980.
  - [3] D. Long, S. Onega. Can. J. Phys., 52, №7, 1974.
  - [4] Г.Е.Беловицкий, ЯФ, 25, вып. 3, 1977. Краткие сообщения по физике ФИ АН СССР, №10, 19, 1975.
  - [5] Г.Е.Беловицкий, О.С.Пресняк, Л.В.Сухов. Краткие сообщения по физике ФИ АН СССР, №2, 1978.
  - [6] В.Г.Губа, М.Г.Урин. Нейтронная физика, ч. 1, стр. 151 (IV Конференция по нейтронной физике, Киев, 1977).
  - [7] Von Brentano P. Cramer J.G. In Nuclear. Spectroscopy and Reactions Part B, Acad. Press N.Y., 1974, p. 89.
-