

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ РЕАКЦИИ  $(n,p)$  НА ИЗОТОПАХ  $^{206,208}\text{Pb}$  ДЛЯ  $E_n = 13,4 \div 20,3$  МэВ

Г. Е. Беловицкий, О. С. Пресняк, Л. В. Сухов

УДК 539.125

Выполнены измерения энергетической зависимости сечения реакций  $(n,p)$  для изотопов  $^{206,208}\text{Pb}$  в интервале  $E_n = 13,4 \div 20,3$  МэВ.

Экспериментальные данные сопоставлены с расчетами по экситонной модели. Вплоть до  $E_n = 18$  МэВ наблюдается хорошее согласие между расчетом и экспериментом. При больших энергиях согласие достигается при учете реакции  $(n, pn)$ .

Статистическая теория ядерных реакций не в состоянии корректно описать реакции, вызываемые частицами с энергией  $> 10$  МэВ на ядрах с  $A > 100$ , и совершенно не пригодна для описания реакций, сопровождаемых вылетом заряженных частиц. Это стимулировало развитие новых теоретических моделей, в которых учитывается важная роль предравновесных процессов /1,2,3/.

Изучение реакций  $(n,p)$  под действием быстрых нейтронов  $E_n > 10$  МэВ на тяжелых ядрах ( $A > 200$ ) позволяет наиболее корректно проверить различные модели предравновесного распада (МНР), так как испускание протонов из компаунд-ядра подавлено кулоновским барьером.

В /4/ были выполнены измерения и расчеты функции возбуждения реакции  $(n,p)$  на изотопах свинца и висмута для  $E_n = 13,4 \div 14,8$  МэВ. Наблюдалось хорошее согласие между расчетом по экситонной модели /2/ и экспериментом.

Для проверки применимости этой модели в более широком интервале массовых чисел и энергий нейтронов в /5/ были проведены расчеты функции возбуждения реакций  $(n,p)$  для восьми ядер с  $Z \geq 48$  и  $E_n \approx 10 \div 20$  МэВ. Согласие между расчетом и экспериментом оказалось вполне удовлетворительным. Исключением явилось ядро  $^{208}\text{Pb}$ .

Для этого ядра в /6/ исследовалось возбуждение изобар-аналоговых состояний (ИАС) в реакции  $(n,p)$ . Несмотря на тщательные и детальные измерения, возбуждение ИАС не обнаружено. Сечение  $(n,p)$  в /6/ для интервала  $E_n = 16,3 + 19$  МэВ растет приблизительно в 10 раз, тогда как согласно нашим расчетам /5/ должно возрастать в 3 раза.

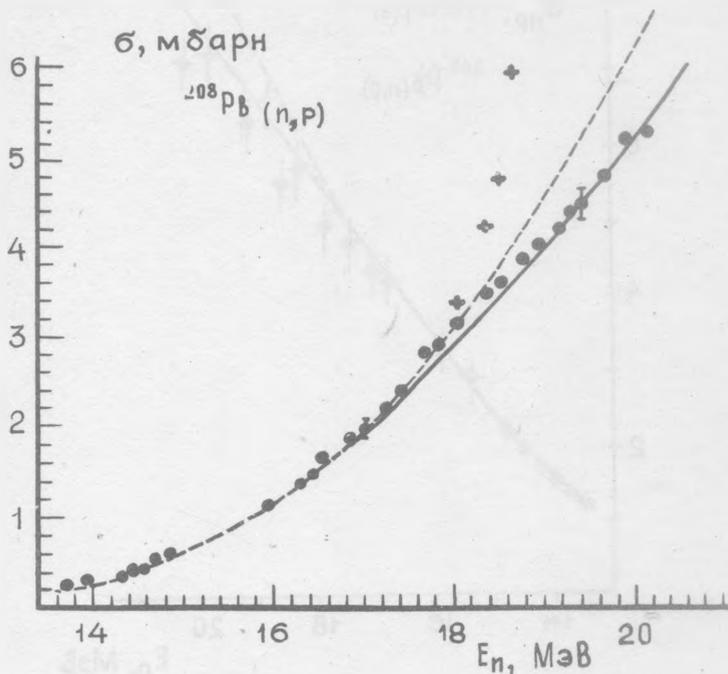
В связи с этим в настоящей работе выполнены измерения  $\sigma_{np}$  на изотопах свинца для  $E_n = 15 + 20$  МэВ с целью выяснения применимости МПР для описания энергетической зависимости реакции  $(n,p)$  на тяжелых магических ядрах.

Нейтроны получались на электростатическом генераторе ЭГ-5 в реакции  $T(d,n)^4He$  при облучении мишени  $(Ti + T)$  толщиной  $\sim 0,9$  мг/см<sup>2</sup>. Энергия нейтронов изменялась как посредством изменения энергии дейтронов, так и установкой образцов под разными углами относительно пучка дейтронов. Использовались образцы высокого обогащения (<sup>206</sup>Pb-90%, <sup>208</sup>Pb-98%) и химической чистоты /4/. В реакции <sup>208</sup>Pb(n,p) остаточное ядро обладает  $\gamma$ - и  $\beta$ -активностью с  $T_{1/2} = 3,1$  мин, а в реакции <sup>206</sup>Pb(n,p) остаточное ядро - чистый  $\beta$ -излучатель с  $T_{1/2} = 4,2$  мин. Гамма-активность образцов измерялась на NaJ спектрометре (4 $\pi$ -геометрия) с кристаллами 40 x 40 мм, а также на GeLi-детекторе с энергетическим разрешением  $\sim 5$  кэВ ( $E_\gamma \approx 1,0$  МэВ). Порог регистрации  $\sim 170$  кэВ. Бета-активность образцов измерялась на модернизированных нами серийных установках УМФ-1500 М, представлявших 2 торцевых счетчика СБТ-10 (4 $\pi$ -геометрия) /4/.

С ростом  $E_n$  открываются новые каналы реакций и возможно появление  $\beta$ - и  $\gamma$ -активностей, не связанных с реакцией  $(n,p)$ . Поэтому при нескольких энергиях нейтронов для обоих изотопов были сняты и проанализированы кривые радиоактивного распада.

Для <sup>208</sup>Pb в наших экспериментальных условиях четко наблюдались линии от реакции  $(n,p)$ . Гамма-активность различных примесей  $\sim 1\%$ . У <sup>206</sup>Pb при  $E_n > 17$  МэВ обнаружены  $\beta$ - и  $\gamma$ -активности с  $T_{1/2} = 67$  мин, связанные с реакцией <sup>206</sup>Pb(n, $\beta n$ )<sup>204m</sup>Pb. Эта реакция не создавала серьезных помех для наблюдения реакции  $(n,p)$  из-за большого различия в периодах полураспада. Активность, обусловленная реакцией  $(n,p)$ , получалась вычитанием активности  $(n,\beta n)$  из полной.

Измерение энергетического хода  $\sigma_{np}$  производилось относительным методом /4/. В качестве опорного был взят угол  $120^\circ$ , соответствующий  $E_n = 13,4$  МэВ. Абсолютные значения  $\sigma_{np}$  при  $E_n = 13,4$  МэВ были определены ранее и опубликованы в /4/.

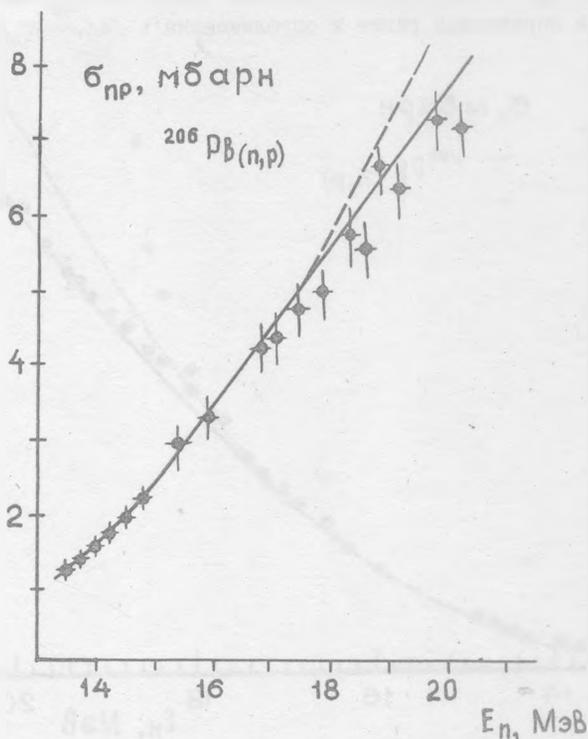


Р и с. 1. Энергетическая зависимость  $\sigma_{np}$  для ядра  $^{208}\text{Pb}$ :  $\bullet$  - наши экспериментальные данные (с экспериментальной ошибкой  $\sim 5\%$ ),  $+$  - данные работы /6/. Пунктирная кривая - расчет без учета вылета нейтрона после вылета протона. Сплошная кривая - расчет с учетом вылета нейтрона

При обработке результатов эксперимента учитывалась угловая анизотропия и поглощение нейтронов в мишенном устройстве.

На рис. 1 приведены результаты измерений и расчетов  $\sigma_{np}$  для  $^{208}\text{Pb}$ , а также экспериментальные данные работы /6/, которые были

отнормированы при  $E_n = 16,3$  МэВ. При  $E_n = 19$  МэВ  $\sigma_{пр}$  двух работ различаются приблизительно в 3 раза. Как видно из рис. 1, вплоть до  $E_n = 18$  МэВ согласие между расчетом и нашим экспериментом хо-



Р и с. 2. Энергетическая зависимость  $\sigma_{пр}$  для ядра  $^{206}\text{Pb}$ . Точки - эксперимент, пунктирная и сплошная кривые - расчет, аналогичный рис. 1

рошее. Лишь при  $E_n = 20$  МэВ экспериментальные точки ложатся ниже теоретических (пунктирная кривая). Причина расхождения расчета с экспериментом, по-видимому, связана с тем, что в этих расчетах не учитывалась возможность последовательного испускания двух частиц, т.е. реакций  $(n, pn)$ . Учет этой реакции в рамках экситон-

ной модели (сплошная кривая) улучшает согласие расчета с экспериментом.

На рис. 2 приведены экспериментальные и теоретические результаты для реакции  $^{206}\text{Pb}(n,p)$ . Согласие между расчетом и экспериментом во всем интервале  $E_n$  вполне удовлетворительное и улучшается при учете реакции  $(n, pn)$ .

В заключение отметим, что все имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные по  $\sigma_{np}$  для ядер с  $Z \geq 48$  и  $E_n = 10 + 20$  МэВ при учете возможности вылета нейтрона после вылета протона хорошо описываются с помощью экситонной модели /5/. Интересно проверить применимость этой модели при большой энергии нейтронов, особенно для околomagических ядер.

Авторы выражают благодарность И. Я. Бариту за помощь в работе и полезные обсуждения.

Институт ядерных исследований АН СССР.

Поступила в редакцию  
7 декабря 1977 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. J. Griffin, Phys. Rev. Lett. 19, 57 (1966); C. K. Cline, M. Blann, Nucl. Phys., A172, 225 (1971).
2. G. Braga-Marcazzan et al., Phys. Rev., C6, 1938 (1972).
3. К. Зайдель, Д. Зелигер, Р. Райф, В. Д. Тонеев, ЭЧАЯ, 7, вып. 2, 499 (1976).
4. Г. Е. Беловицкий, О. С. Пресняк, Л. В. Сухов, И. И. Мамонтов, Краткие сообщения по физике ФИАН, № 6, 16 (1974); Нейтронная физика, часть 4, 209, 1976 г. (Материалы 3-й Всесоюзной конференции по нейтронной физике, Киев, 1975 г.).
5. Г. Е. Беловицкий, Краткие сообщения по физике ФИАН, № 10, 13 (1975); Ядерная физика, 25, вып. 3, 527 (1977).
6. D. Long, R. Omega, S. Lee, Canad. J. Phys., 52, 599 (1974).