

РЕЗОНАНСНЫЙ ХАРАКТЕР ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ УПРУТОГО
РАССЯНИЯ НЕЙТРОНОВ НА ^{207}Pb В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 16-18 МЭВ

Б. А. Бенешкий, А. В. Клячко, В. В. Нефедов,
И. М. Франк, И. В. Штрах

УДК 539.172.4

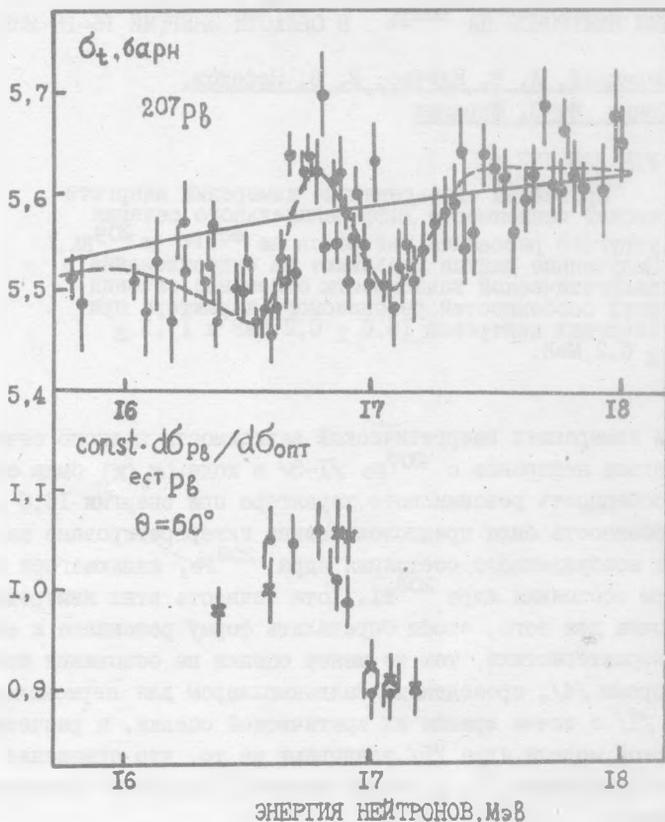
Проведены одновременные измерения энергетической зависимости дифференциального сечения упругого рассеяния нейтронов на ^{207}Pb и ^{209}Bi . Полученные данные указывают на существование в энергетической зависимости отношения сечений двух особенностей резонансного характера при энергиях нейтронов $16,6 \pm 0,2$ МэВ и $17,3 \pm 0,2$ МэВ.

При измерениях энергетической зависимости полного сечения взаимодействия нейтронов с ^{207}Pb /1-3/ в ходе $\sigma_{\text{с}}(E)$ была обнаружена особенность резонансного характера при энергии $16,8 \pm 0,2$ МэВ. Эта особенность была предположительно интерпретирована как проявление возбужденного состояния ядра ^{208}Pb , являющегося изобар-аналогом состояния ядра ^{208}Tl . Хотя точность этих измерений недостаточна для того, чтобы определить форму резонанса и его квантовые характеристики, тем не менее оценки на основании оптической теоремы /4/, проведенные Вайденомиллером для первоначальных данных /1/ с точки зрения их критической оценки, и расчеты по оптической модели ядра /5/ указывают на то, что отношение ширины упругого рассеяния $\Gamma_{\text{е}}$ к полной ширине Γ для этого резонанса весьма велико.

В связи с этим представляют интерес измерения дифференциального сечения упругого рассеяния нейтронов на ядрах свинца в той же области энергий. Данные, полученные в работе /2/ для $d\sigma/d\Omega$ при $\theta = 60^\circ$ на естественной смеси изотопов свинца, также указывают на существование в энергетической зависимости $d\sigma/d\Omega$ резонансной особенности при энергии нейтронов около 16,8 МэВ. Эти данные, нормированные на вычисленные по оптической модели без уче-

та вклада резонансной части амплитуды рассеяния дифференциальные сечения $d\sigma/d\Omega(E)$, представлены на рис. I, внизу.

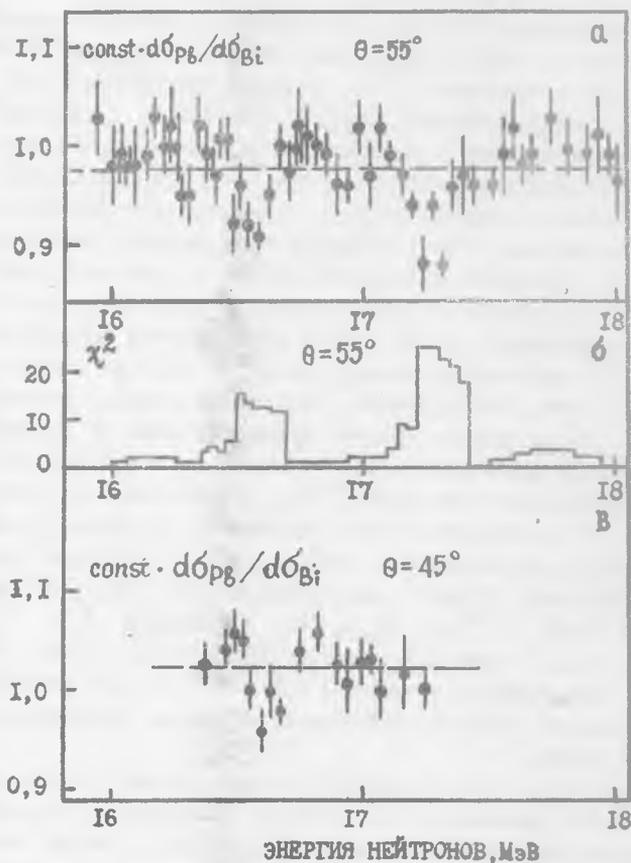
С целью исключения возможных методических погрешностей нами проведены одновременные измерения дифференциальных сечений



Р и с. I. Полное сечение рассеяния нейтронов на ядрах ^{207}Pb . Кривые - расчет по оптической модели ядра (сплошная - без учета резонансной части амплитуды рассеяния, пунктирная - в предположении о возбуждении двух резонансов I^-). Внизу - дифференциальное сечение упругого рассеяния нейтронов на ^{207}Pb для углов рассеяния $60^\circ \pm 5^\circ$, нормированное на расчет по оптической модели ядра

упругого рассеяния нейтронов на естественной смеси изотопов свинца и на висмуте. Измерения проведены в более широком, чем в работе /2/ интервале энергий нейтронов и для других углов рассеяния θ , но в той же кольцевой геометрии и с применением той же экспериментальной техники. Рассеиватели, изготовленные из свинца и висмута, имели форму колец внешним диаметром 180 мм, внутренним 110 мм и толщиной 34 мм. Их масса составляла 6,051 кг и 5,207 кг соответственно. Упруго рассеянные в образце нейтроны регистрировались с помощью сцинтиляционного спектрометра с дискриминацией гамма-фона по форме импульса. Измерения проводились мелкими сериями поочередно с висмутом, с пустым контейнером и со свинцом. Смена образцов производилась автоматически. Один цикл измерений проводился за время порядка 10 мин. Энергетическое разрешение в этих измерениях составляло около 200 кэВ, угловое разрешение $\pm 15^\circ$. Из-за особенностей угловой зависимости дифференциального сечения рассеяния быстрых нейтронов, характеризующегося, как известно, резкими (с угловым размером порядка 15°) экстремумами, средний геометрический (в предположении изотропного рассеяния) угол θ_T может не совпадать со средним эффективным углом рассеяния. Так, для углового распределения, даваемого расчетом по оптической модели, в нашем случае основной вклад в интенсивность регистрируемых нейтронов должны давать нейтроны, упруго рассеянные на углы $39^\circ \pm 6^\circ$ при $\theta_T = 45^\circ$ и на углы $42^\circ \pm 6^\circ$ при $\theta_T = 55^\circ$, причем при $\theta_T = 55^\circ$ существенный вклад (около 10% общей интенсивности) должны дать и нейтроны, рассеянные в интервале $55^\circ - 70^\circ$. В дальнейшем под углом рассеяния мы будем подразумевать, с учетом сделанных выше оговорок, угол θ_T .

Полученные нами экспериментальные данные представлены на рис. 2. На графиках а и в показано измеренное в эксперименте отношение интенсивности упруго рассеянных в свинце нейтронов к интенсивности нейтронов, рассеянных в висмуте, как функция энергии первичных нейтронов. С точностью до постоянного множителя это отношение равно отношению сечений упругого рассеяния на этих элементах в интервал углов, определяемый геометрией эксперимента. Это отношение в меньшей, чем абсолютные значения дифференциальных сечений, степени чувствительно к возможным аппаратурным погрешностям, связанным с нестабильностью регистрирующего оборудо-



Р и с. 2. Энергетическая зависимость отношения дифференциальных сечений упругого рассеяния нейтронов на $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ и ^{209}Bi (а - для угла рассеяния 55° , в - 45°), б - гистограмма χ^2 для угла рассеяния 55°

вания, к энергетической зависимости параметров первичного пучка, фона и т.п., если такие погрешности имеют место.

Представленная на рис. 2а энергетическая зависимость $d\sigma_{Pb}/d\sigma_{Bi}$ имеет в интервале энергий 16,0 - 18,0 МэВ две особенности резонансного характера - при энергиях нейтронов около 16,6 МэВ и 17,3 МэВ. Данные о резонансном ходе $d\sigma_{Pb}/d\sigma_{Bi}$ при энергии 16,6 МэВ подтверждаются проведенными в более узком интервале энергий измерениями для угла $\theta = 45^\circ$ (рис. 2в).

Поскольку амплитуда резонансных особенностей в энергетической зависимости $d\sigma_{Pb}/d\sigma_{Bi}$ не превышает трех - пяти средних экспериментальных ошибок, нами был проведен статистический анализ экспериментальных данных. Для групп из $2n + 1$ соседних экспериментальных точек вычислялась величина

$$\chi^2_i = (2n + 1)^{-1} \sum_{k=i-n}^{i+n} \Delta_k^{-2} [(d\sigma_{Pb}/d\sigma_{Bi})_k - (d\sigma_{Pb}/d\sigma_{Bi})_{cp}]^2,$$

описывающая среднее отклонение входящих в данную группу точек, измеренных с экспериментальной ошибкой Δ_k , от гладкой кривой $[d\sigma_{Pb}/d\sigma_{Bi}]_{cp}$ - усредненной энергетической зависимости отношения сечений на свинце и на висмуте. Эти элементы расположены рядом в периодической системе и близки по свойствам. Расчет по оптической модели показывает, что отношение сечений упругого потенциального рассеяния на свинце и на висмуте в определенный интервал углов слабо зависит от энергии, а в сравнительно узком энергетическом интервале 16 - 18 МэВ практически постоянно. Поэтому в качестве $[d\sigma_{Pb}/d\sigma_{Bi}]_{cp}$ для случая $\theta = 55^\circ$ взята найденная методом наименьших квадратов горизонтальная прямая $(d\sigma_{Pb}/d\sigma_{Bi})_{cp} = 0,974$. Гистограмма χ^2 для последовательно расположенных по энергии точек с номерами i от 3 до 50 при $n = 2$ представлена на рис. 2б. Во всем интервале энергий значения χ^2 невелики, за исключением двух максимумов при энергиях 16,5 - 16,7 МэВ и 17,2 - 17,4 МэВ, которые указывают на нестатистический характер отклонения $d\sigma_{Pb}/d\sigma_{Bi}$ от гладкой зависимости при этих энергиях.

Как указано выше, при измерениях полного нейтронного сечения на ядрах ^{207}Pb /I-3/ в той же, что и в данной работе области энергий обнаружено отклонение его энергетической зависимости от монотонного хода. В дальнейшем мы будем исходить из предположения о

том, что наблюдаемые в ходе $(d\sigma_{Pb}/d\sigma_{Bi})(E)$ нерегулярности связаны со взаимодействием нейтронов с ядрами ^{207}Pb , содержащимися в естественной смеси изотопов свинца, хотя, по существу, из-за недостатка данных о сечениях ^{208}Pb и ^{209}Bi достаточных экспериментальных доказательств этого нет.

Ранее было выдвинуто предположение о том, что наблюдаемая в ходе $\sigma_t(E)$ нерегулярность связана с возбуждением нейтронами уровня I^- в компаунд-ядре ^{208}Pb , являющегося изобар-аналогом состояния ядра ^{208}Pb . Расчеты /6/ системы уровней ^{208}Tl предсказывают наличие в ней двух уровней I^- , изотопические аналоги которых в ядре ^{208}Pb должны находиться при энергиях возбуждения 24,4 и 25,0 МэВ. Один из этих уровней (по-видимому, второй) наблюдался в реакциях (γp) , (γ, np) и (e, ep) на ^{208}Pb в работе /7/. Нами проведены расчеты энергетической зависимости σ_t в предположении о возбуждении двух резонансов I^- при захвате нейтрона ядром ^{207}Pb . Методика расчетов аналогична описанной в работе /5/ для случая одного резонанса. Значения параметров оптического потенциала и резонансов использованы те же, что и в работе /5/, за исключением резонансной энергии E_0 , равной 16,7 МэВ для одного и 17,2 МэВ для второго резонанса, и фазы между потенциальным и резонансным рассеянием, равной соответственно нулю и $-0,25$. Экспериментальные данные по полному нейтронному сечению для ^{207}Pb /3/ и результаты расчетов представлены на рис. 1 вверху. Расчетная кривая удовлетворительно описывает экспериментальные данные. По-видимому, подбором индивидуальных параметров резонансов можно добиться и значительно лучшего согласия с экспериментом. Положение рассчитанных таким образом резонансов в ходе σ_t в пределах экспериментальных погрешностей совпадает с положением резонансных особенностей в измеренной зависимости $d\sigma_{Pb}/d\sigma_{Bi}$. Значения E_0 , полученные из сопоставления результатов расчетов с экспериментальными данными о σ_t и $d\sigma_{Pb}/d\sigma_{Bi}$, соответствуют энергиям возбуждения составного ядра ^{208}Pb , равным 24,0 МэВ для первого резонанса и 24,6 МэВ для второго. В пределах точности расчетов /6/ и экспериментальной погрешности эти значения хорошо согласуются с данными о положении в ядре ^{208}Pb изотопических аналогов уровней I^- ядра ^{208}Tl .

Поступила в редакцию
27 января 1978 г.

Л и т е р а т у р а

1. Б. А. Бенецкий, В. В. Нефедов, И. М. Франк, И. В. Штраних, Краткие сообщения по физике ФИАН, № 3, 75 (1972).
2. Б. А. Бенецкий, В. В. Нефедов, И. М. Франк, И. В. Штраних, Ядерная физика, 17, 21 (1973).
3. Б. А. Бенецкий, А. В. Клячко, В. В. Нефедов, И. М. Франк, И. В. Штраних, Сообщение ОИЯИ РЗ - 9047 (1975).
4. H. A. Weidenmuller. Nucl. Struct. Study With Neutrons, p.407. Akademiai Kiado, Budapest (1974).
5. Б. А. Бенецкий, А. В. Клячко, Краткие сообщения по физике ФИАН, № 10, 24 (1974).
6. C. V. Dover, K. Dietrich, Nucl. Phys., A135, 48 (1969),
7. C. V. Dover, J. Hufner, Phys. Lett., 32B, 253 (1970).