

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С3434

B-17

4/7-77

P15 - 10460

2502/2-77

Ван Сын Чан, Ю.В.Кангрополь, М.Мадея,
Г.М.Осетинский, А.А.Эль-Камхави

СПИН-ФЛИП ПРИ НЕУПРУГОМ РАССЕЯНИИ ПРОТОНОВ
НА ^{24}Mg В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 2,9-3,7 МэВ

1977

P15 - 10460

Ван Сын Чан, Ю.В.Кангрополь, М.Мадея,
Г.М.Осетинский, А.А.Эль-Камхави

СПИН-ФЛИП ПРИ НЕУПРУГОМ РАССЕЯНИИ ПРОТОНОВ
НА ^{24}Mg В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 2,9-3,7 МэВ

Советский институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Ван Сын Чан и др.

P15 - 10460

Спин-флип при неупругом рассеянии протонов на ^{24}Mg
в интервале энергий 2,9 - 3,7 МэВ

Измерены энергетическая и угловая зависимости вероятности спин-флипа и дифференциального сечения неупругого рассеяния протонов вблизи резонансных энергий 2,93; 2,98; 3,45; 3,64; 3,68 МэВ. Определены протонные парциальные ширины перехода на уровень 2^+ . Расчёты проводились по программе, учитывающей влияние соседних резонансов.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Van Syn Chan et al.

P15 - 10460

Spin-Flip at Inelastic Scattering
of Protons on ^{24}Mg Nucleus in the
Energy Range 2.9-3.7 MeV

The energy and angular dependences have been measured for the spin-flip probability and for the differential cross section of inelastic proton scattering near the resonance energies 2.93; 2.98; 3.45; 3.68 MeV. The proton partial widths of the transition to the level 2^+ have been determined. The calculations have been performed according to the programme taking into account the effect of the neighbouring resonances.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

ВВЕДЕНИЕ

При исследовании угловой и энергетической зависимостей сечения неупругого рассеяния и вероятности спин-флипа в реакции $^{24}\text{Mg}(pp',\gamma)^{24}\text{Mg}$ в районе резонансов при E_p , равном 2,41 и 4,02 МэВ, авторами работы^{/1/} был получен ряд интересных результатов. Показано, что вероятность спин-флипа в области изолированного брейт-вигнеровского резонанса, в отсутствие прямого процесса взаимодействия не зависит от энергии, а при наличии только S-волны в выходном канале /резонанс при $E_p = 2,41$ МэВ/ определяется кинематикой реакции. Для резонанса при $E_p = 4,02$ МэВ получены значения J^π и определены парциальные ширины^{/2/}. Указанные резонансы довольно узки, весьма удалены друг от друга, и проведенный анализ в рамках одноуровневого приближения вполне обоснован. Вместе с этим представляет определенный интерес продолжение начатых исследований в интервале энергий 2,8-3,75 МэВ, где существующие резонансы широки и расположены близко друг к другу. В этом случае, при определении J^π и парциальных ширин резонансов необходимо учитывать влияние близлежащих уровней и фона, под которым понимается прямой процесс взаимодействия. В настоящей работе из-за большого параметра деформации ядра ^{24}Mg / $\beta = 0,65$ / прямой процесс взаимодействия не может быть учтен методом искаженных волн, и при теоретическом рассмотрении мы вынуждены учитывать лишь влияние близлежащих уровней.

Согласно данным ряда работ^{/3-5/}, в интервале энергий 2,8-3,75 МэВ наблюдаются пять резонансов. В задачу

нашего исследования входило определение или уточнение J^π каждого из резонансов, а также определение их парциальных ширин. Эти величины получались из сравнения теоретических расчетов с экспериментальными данными, представляющими угловые и энергетические зависимости

сечения неупругого рассеяния $\left(\frac{d\sigma_p}{d\Omega}\right)$ и вероятности спин-флипа $S(\theta)$ в районе каждого из резонансов.

Расчеты $\frac{d\sigma_p}{d\Omega}$ и $S(\theta)$ проводились по программе, описанной в работе^{/6/}, на БЭСМ-6 в режиме автоматического поиска с использованием программы FUMILI^{/7/}. Входными параметрами при расчете являлись - энергия резонанса, полная ширина Γ и J^π . Необходимые при расчете по резонансной формуле фазы ϕ_{L_b, J_b} , где

L_b, J_b - соответственно орбитальный и полный моменты в выходном канале, определялись согласно^{/8,9/}, где показано, что в диапазоне энергий до 4 МэВ эти значения весьма близки к 0 или π .

Критерием оптимального согласия расчетных значений $\frac{d\sigma_p}{d\Omega}$ и $S(\theta)$ с экспериментальными являлась близость к единице $\frac{\chi^2}{m-n}$, где m - число точек, n - число параметров. Метод расчета аналогичен указанному ранее^{/10/}.

Из-за существующего в литературе расхождения в значении энергии ряда резонансов^{/3,4/} в задачу эксперимента входило также уточнение этих величин. Как видно из приведенных рисунков, исследование угло-

вой и энергетической зависимостей $\frac{d\sigma_p}{d\Omega}$ и $S(\theta)$ проводилось в районе резонансов при энергиях протонов $E_p = 2,93; 2,98; 3,45; 3,64$ и $3,68$ МэВ. Энергетическая шкала определена с погрешностью ± 2 кэВ.

Отметим, что полученные в настоящей работе значения E_p для резонансов при энергиях 2,41; 2,98; 3,45;

3,64 МэВ совпадают с данными работ^{/1-4/}. Для остальных резонансов /2,93 и 3,68 МэВ/ данные на 10 кэВ выше результатов работы^{/5/}.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Метод измерений угловой и энергетической зависимостей, вероятности спин-флипа и сечения неупругого рассеяния хорошо известен и достаточно подробно описан ранее в ряде работ^{/1,2,8/}. Он основан на измерении совпадений неупруго-рассеянных протонов, приводящих к образованию первого возбужденного состояния 2^+ с квантами E2 перехода $2^+ \rightarrow 0^+$ в направлении, перпендикулярном плоскости реакции. Работа проводилась на электростатическом генераторе ОИЯИ. Ускоренные ионы водорода с интенсивностью 0,1-0,2 мкА, пройдя участок ионопровода и коллиматор, попадают на мишень, находящуюся в центре камеры рассеяния. Используется мишень, полученная путем испарения изотопа ^{24}Mg с обогащением 99,1% на тонкую ~ 15 мкг/см² самоподдерживающуюся пленку углерода. Потери энергии протонов в мишени ~ 4 кэВ. Страглинг по энергии пучка после прохождения мишени ~ 2 кэВ. Число частиц, падающих на нее, определялось по измерению заряда с помощью цилиндра Фарадея, установленного за мишенью. В отличие от показанного в работе^{/10/}, рассеянные протоны детектируются тремя поверхностно-барьерными кремниевыми детекторами, установленными в плоскости реакции под выбранными углами по отношению к падающему пучку. Детекторы устанавливаются на подвижном кронштейне, который может вращаться вокруг оси, обеспечивая тем самым измерения угловых распределений с помощью этих детекторов. Использование трех детекторов обеспечивает экономию времени и большую надежность измерений.

γ -кванты измерялись γ -детектором, помещенным на свинцовый экран с коллиматором. Он построен на фотоэлектронном умножителе ФЭУ-30 с кристаллом NaI размером 50x60 мм. Эффективность регистрации γ -детектором определялась экспериментально^{/1,2/}. Погреш-

ность определения $\sim 10\%$. Энергетическое разрешение протонных детекторов, измеренное для α -частиц с энергией $5,5 \text{ МэВ}$, составляет $\sim 35 \text{ кэВ}$; для γ -детектора 9% /для $E_\gamma = 1,27 \text{ МэВ}$ /. Половинный угол из мишени на протонный и γ -детектор составляет $2,5^\circ$ и 10° соответственно. Экспериментально наблюдаемая вероятность спин-флипа определялась по известной формуле вида ^{1/}

$$S(\theta) = \frac{2}{5} \frac{N_{\text{совп.}}^{\text{ист.}}}{N_p' \cdot \epsilon},$$

где $N_{\text{совп.}}^{\text{ист.}}$ - число истинных совпадений в пике неупругого рассеяния спектра совпадений; N_p' - число неупругорассеянных протонов; ϵ - эффективность регистрации.

Электронная блок-схема быстро-медленных совпадений, с помощью которой проводились измерения $N_{\text{совп.}}^{\text{ист.}}$ и N_p' , представлена на *рис. 1*. Она собрана на основе ряда схем, описанных ранее для работы по одному каналу измерений ^{1/} и построена на стандартных блоках, разработанных в ОИЯИ. Согласно схеме, быстрый сигнал с ФЭУ-30 /фронт нарастания сигнала 4 нс /, пройдя схему формирования, подается на вход "Старт" трех время-амплитудных конверторов. Стоповые сигналы на эти конверторы поступают от временного выхода предусилителей /пройдя схему формирования/. Указанные конверторы служат элементом отбора быстрых совпадений. Сигналы с выхода время-амплитудного конвертора через формирователь подаются на вход медленной схемы совпадений /с разрешающим временем 100 нс /. Сигнал с выхода этой схемы совпадений открывает три линейные схемы пропускания, на входы которых, соответственно, подаются протонные спектры с амплитудных /медленных/ выходов предусилителей.

Импульсы от схем пропускания, пройдя пороговые усилители, направлялись на амплитудный анализатор АИ-4096, где через специальную кодирующую систему поступали в различные группы магнитно-запоминающего устройства /МЗУ/ анализатора, которое разбивалось на 8 групп по 512 каналов в каждой группе/. Измерение N_p'

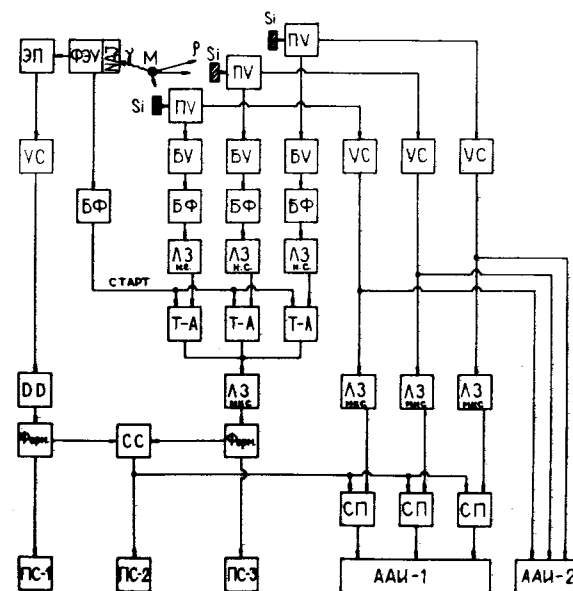


Рис. 1. Блок-схема быстро-медленных совпадений. ПУ - предварительный усилитель, БФ - быстрый формирователь, Т-А - время-амплитудный конвертор, ДД - дифференциальный дискриминатор, СП - схема пропускания, ПС - пересчетный прибор.

и учет вкладов в совпадение фона случайных совпадений проводились на основании измерений прямого спектра /без отбора схемой пропускания - см. *рис. 1*/, измеряемого одновременно с помощью другого анализатора. Экспериментальное временное разрешение схемы отбора быстрых совпадений составляло 6 нс . Измерения проводились при токе на мишень $0,1 \div 0,2 \text{ мкА}$. Поправки на вклады подтоков с $M = 0, \pm 2$ вводились так же, как в работе ^{11/}.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На *рис. 2,3,4* представлены результаты измерений угловых распределений сечения неупругого рассеяния

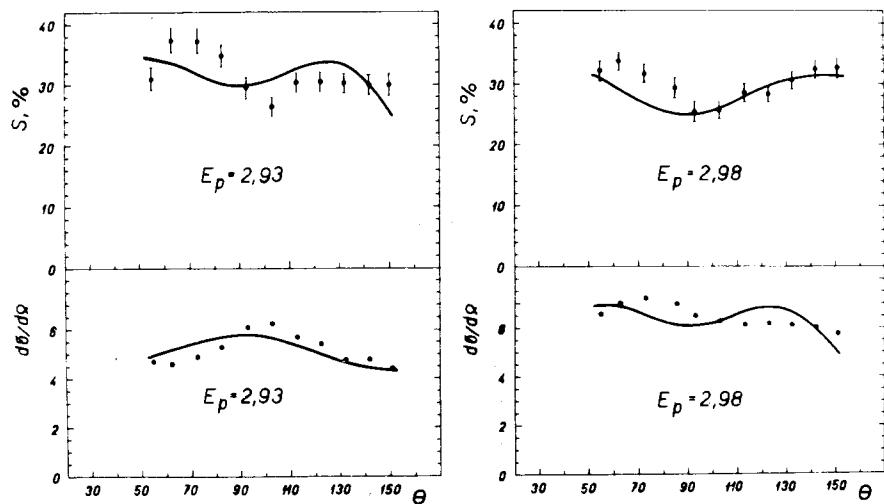


Рис. 2. Угловые распределения $\frac{d\sigma_p}{d\Omega}$ в мб/ср и $S(\theta)$ в %, измеренные в резонансах, при $E_p = 2,93$ МэВ и $E_p = 2,98$ МэВ. Здесь и на рисунках 3,4 точки на графиках - экспериментальные данные. Сплошные кривые - результаты расчета. Данные представлены в с.ц.м.

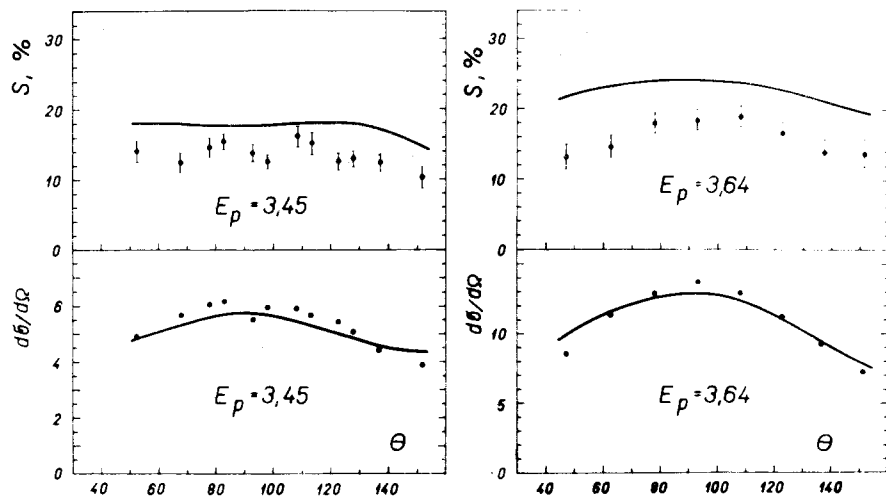


Рис. 3. Угловые распределения $\frac{d\sigma_p}{d\Omega}$ в мб/ср $S(\theta)$ в %, измеренные в резонансах, при $E_p = 3,45$ МэВ и $E_p = 3,64$ МэВ. Данные представлены в с.ц.м.

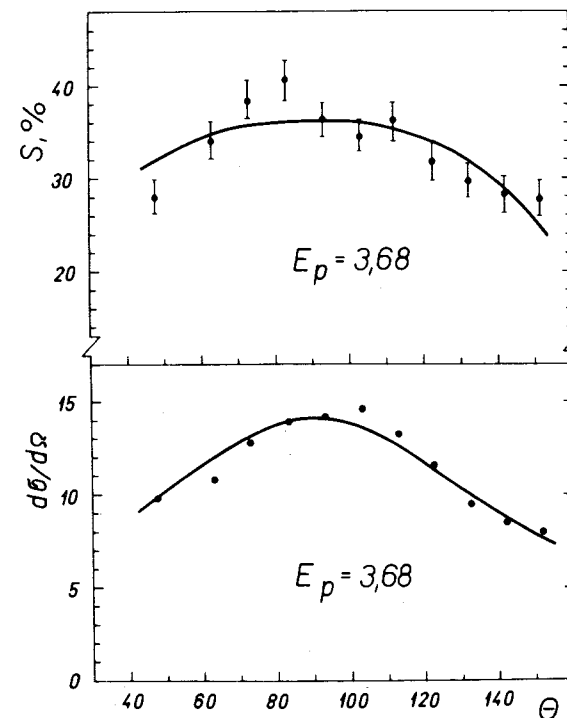


Рис. 4. Угловые распределения $\frac{d\sigma_p}{d\Omega}$ в мб/ср и $S(\theta)$ в %, измеренные в резонансе, при $E_p = 3,68$ МэВ. Данные представлены в с.ц.м.

и вероятности спин-флипа в резонансах при энергиях 2,93; 2,98; 3,45; 3,64 и 3,68 МэВ. Данные представлены в системе центра масс.

На рис. 5,6,7 показаны энергетические зависимости этих величин, измеренные в интервале энергий 2,9 - 3,75 МэВ под углами 93° , $122,6^\circ$, $151,5^\circ$ в этой же системе. В районе резонансов измерение энергетической зависимости проводилось с шагом по энергии 1,6-4 кэВ /для узких резонансов/ и 4-8 кэВ для широких. Вдали от резонансов измерения проводились с шагом 10-20 кэВ. В качестве контрольного опыта, для проверки методики одновременного измерения по трем спектрометрическим

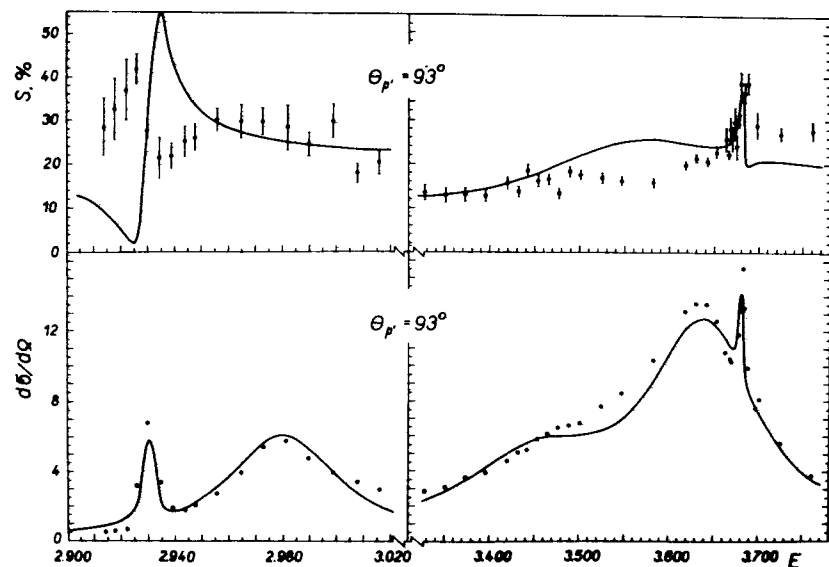


Рис. 5. Энергетическая зависимость $\frac{d\sigma_{p'}}{d\Omega}$ в мб/ср и $S(\theta)$

в %, измеренная под углом 93° в с.ц.м. Здесь и на рисунках 6,7 точки на графике - экспериментальные данные. Сплошные кривые - результаты расчета.

каналам, а также для дополнительной калибровки энергетической шкалы, проведено измерение угловой и энергетической

зависимостей $\frac{d\sigma_{p'}}{d\Omega}$ и $S(\theta)$ для реакции $^{24}\text{Mg}(pp'\gamma)^{24}\text{Mg}$ в районе резонанса $E_p = 2,41 \text{ МэВ}$, и проведено сравнение с результатами работы /1,2/. Данные настоящей работы полностью совпали с опубликованными. Это подтвердило тот факт, что используемая нами методика измерений приводит к правильным экспериментальным результатам. Представленные на рисунках угловые и энергетические зависимости сечения неупругого рассеяния в мб/ср нормированы по данным работы /1/. Погрешности измерений $S(\theta)$ - средне квадратичные, без учета систематической погрешности в определении эффективности регистрации γ -квантов. Их величины не превышают 5% в резонансе и $10 \div 12\%$ - вне его. Средние

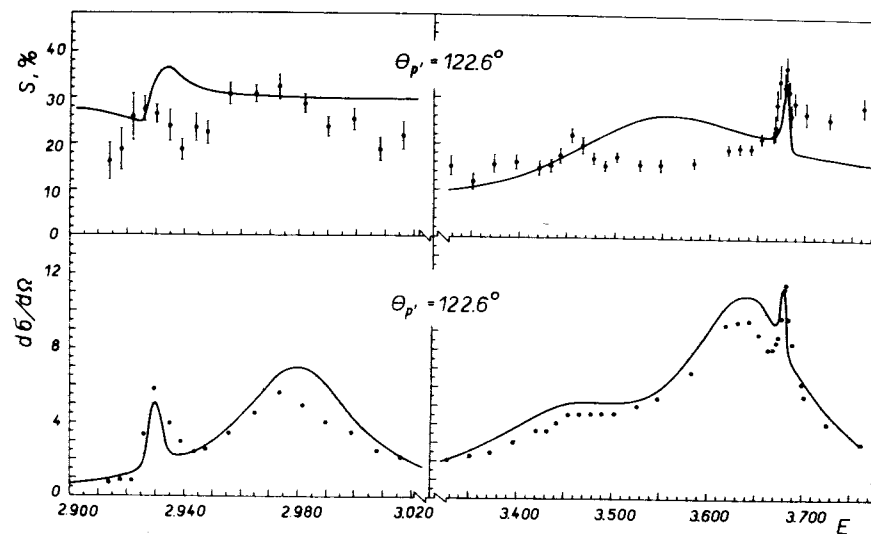


Рис. 6. Энергетическая зависимость $\frac{d\sigma_{p'}}{d\Omega}$ в мб/ср и $S(\theta)$ в %, измеренная под углом $122,6^\circ$, в с.ц.м.

квадратичные погрешности при определении $\frac{d\sigma_{p'}}{d\Omega}$ не превышают 1% и на рисунках не приведены. Погрешность нормировки $\frac{d\sigma_{p'}}{d\Omega}$ составляет ~7%.

На этих же рисунках сплошной кривой обозначены расчетные значения угловой и энергетической зависи-

мостей $\frac{d\sigma_{p'}}{d\Omega}$ и $S(\theta)$, полученных по резонансной теории

с учетом влияния соседних резонансов /не более трех/ по программе и методике, описанной ранее /6/. Полные ширины Γ , значения которых приведены в таблице, взяты из работ /12-15/. При расчетах принималось, что $\Delta\Gamma = 0$. В таблице даны также расчетные значения парциальных ширин и их погрешностей при выборе J^π для каждого ре-

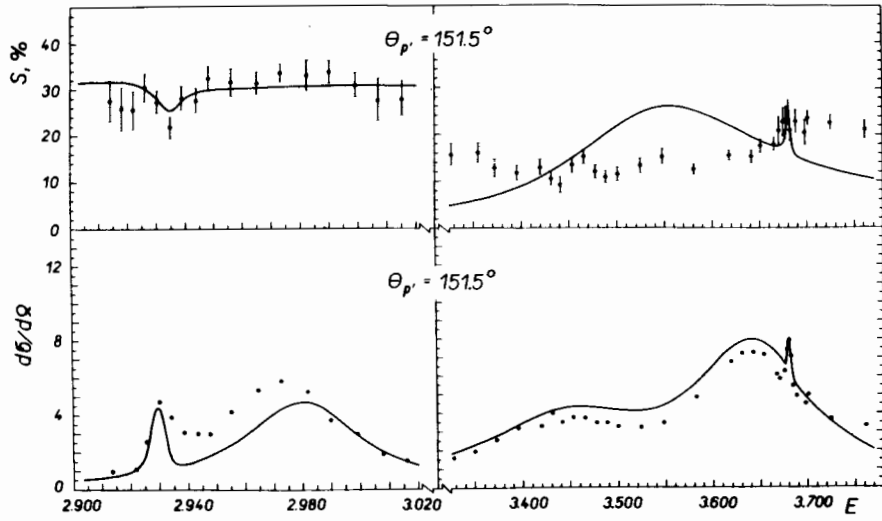


Рис. 7. Энергетическая зависимость $\frac{d\sigma_{p'}}{d\Omega}$ в мб/ср $S(\theta)$ в %, измеренная под углом $151,5^\circ$, в с.ч.м.

зонанса. Из-за отсутствия в литературе надежных данных по определению погрешностей в определении Γ_{p_0} , расчет $\Delta\Gamma_{p_0} L_b J_b$ приведен в предположении, что $\Delta\Gamma_{p_0} = 0$.

В этой связи указанные в таблице ошибки представляют максимально возможные величины.

Отметим, что если для резонансов при $E_p = 2,98$ МэВ и $E_p = 3,68$ МэВ теоретические зависимости $\frac{d\sigma_{p'}}{d\Omega}$ и $S(\theta)$

удовлетворительно согласуются с экспериментальными, то для резонансов при энергиях 2,93; 3,45; 3,64 МэВ такого согласия получить не удалось. Хорошее описание

$\frac{d\sigma_{p'}}{d\Omega}$ приводит к неудовлетворительному описанию $S(\theta)$

и наоборот. В этой связи представленные в таблице парциальные ширины для этих резонансов определены со

Таблица

E_p МэВ	E_x МэВ	J^π	Γ кэВ	Γ_p кэВ	Γ_{p_0} кэВ
2,93	5,080	$3/2^+$ /14/	4 /14/	0,1	$\Gamma_{0,1/2} = 1,7 \pm 0,2$ $\Gamma_{4,7/2} = 1,3 \pm 0,2$ $\Gamma_{2,3/2} = 0$ $\Gamma_{2,5/2} = 0,9 \pm 0,1$
2,98	5,130	$5/2^+$ /14/	50 /15/	1,4	$\Gamma_{0,1/2} = 45 \pm 9$ $\Gamma_{2,3/2} = 1,0 \pm 0,2^*$
3,45	5,580	$5/2^+$ /14/	200	3,8	$\Gamma_{2,5/2} = 0,4 \pm 0,3$ $\Gamma_{4,7/2} = 1,7 \pm 0,2$ $\Gamma_{2,3/2} = 0,4 \pm 0,5$ $\Gamma_{4,9/2} = 0,5 \pm 0,4^*$
3,64	5,760	$3/2^+$	150 /15/	13,2	$\Gamma_{0,1/2} = 6,0 \pm 2$ $\Gamma_{2,3/2} = 0,6 \pm 0,8^*$ $\Gamma_{4,7/2} = 23 \pm 12^*$ $\Gamma_{4,9/2} = 5 \pm 2$
3,68	5,80	$3/2^+$ /14/	4 /14/	0,2	$\Gamma_{0,1/2} = 99 \pm 14$ $\Gamma_{2,3/2} = 12 \pm 0,5$ $\Gamma_{4,7/2} = 3,3 \pm 1,5^*$ $\Gamma_{2,5/2} = 0,3 \pm 0,2$ $\Gamma_{2,3/2} = 2,6 \pm 0,2$ $\Gamma_{2,5/2} = 0,2 \pm 0,1^*$ $\Gamma_{4,7/2} = 0,7 \pm 0,2$

1) * При указанных $L_b J_b$ $\chi^2_{L_b J_b} = \chi^2$, в остальных случаях $\chi^2 = 0$.

2) Данные без ссылок на литературу определены в настоящей работе.

значительными ошибками. Указанное несогласие находит свое отражение и в результатах расчетов энергетических зависимостей $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ и $S(\theta)$ в районе указанных резонан-

сов. По-видимому, эти расхождения связаны с тем, что резонансы не являются достаточно изолированными, и необходимо учитывать влияние прямого процесса взаимодействия. Как уже указывалось, из-за большого параметра деформации β анализ не может быть проведен методом искаженных волн. Возможно, что учет этого взаимодействия, в рамках метода связанных каналов, существенно улучшит согласие с экспериментом.

Авторы приносят благодарность В.Г.Тишину за полезные обсуждения и М.В.Савенковой за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубев С.Л. и др. ЯФ, 1975, 21, 251.
2. Golubev S.L. e.a. Phys.Lett., 1975, 53B, 445.
3. Litherland A.E. e.a. Phys.Rev., 1956, 102, 1.
4. Dyray J.K. e.a. Phys.Rev., 1972, 6, 792.
5. Jouner W.T. Phys.Rev., 1962, 128, 2261.
6. Ван Сын Чан и др. ОИЯИ, Р10-10340, Дубна, 1976.
7. Соколов С.Н., Силин П.Н. ОИЯИ, Д-810, Дубна, 1961.
8. Tamaki Nojiri and Hinako Toyama. Journr. of the Phys.Soc. of Japan, 1974, 37, 1479.
9. Thompson W.J. Nucl.Data Tables, 1969, A6, 129.
10. Ван Сын Чан и др. ОИЯИ, Р15-10437, Дубна, 1976.
11. Kolata J.J., Galonsky A. Phys.Rev., 1969, 182, 1073.
12. Litherland A.E. e.a. Phys.Rev., 1956, 102, 1.
13. Endt P.M., C. Van der Leun. vol A214, 1973.
14. Вальтер А.К., Сторишко В.Е., Попов А.И. ЖЭТФ, 1963, 44, 53.
15. Сторишко В.Е., Попов А.И. Укр.физ.журнал, 1964, т. IX, 1283.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 февраля 1977 года.