

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ434
Ш-644

13/III-74

P15 - 7650

972/2-73

Г.Ширмер, М.И.Кривопустов, Г.Шульц, Г.Элер

АНАЛИЗ СЕЧЕНИЙ РЕАКЦИИ ($^3\text{He}, p$)
НА УГЛЕРОДЕ-12 ПО РЕЗОНАНСНОЙ ТЕОРИИ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

P15 - 7650

Г.Ширмер, М.И.Кривоустов, Г.Шульц, Г.Элер

АНАЛИЗ СЕЧЕНИЙ РЕАКЦИИ ($^3\text{He}, p$)
НА УГЛЕРОДЕ-12 ПО РЕЗОНАНСНОЙ ТЕОРИИ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Ширмер Г., Кривопустов М.И., Шульц Г., Элер Г. P15 - 7650

Анализ сечений реакции ($^3\text{He}, p$) на углероде-12 по резонансной теории

Дифференциальные сечения реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$ анализируются по резонансной теории в энергетической области от 2,20 до 3,61 МэВ. Впервые определены спины и четности трех резонансов; уточнены значения энергий и полных ширин резонансных состояний составного ядра ^{15}O . Подтверждено существование резонанса $7/2^-$ при энергии 2,87 МэВ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1973

Schirmer G., Krivopustov M.I.,
Schulz H., Oehler G.

P15 - 7650

Analysis of the Cross Sections of the
Reaction ($^3\text{He}, p$) on ^{12}C by the Resonance
Theory

The differential cross sections of the $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$ reaction are analysed by the resonance theory in the energy region from 2.20 to 3.61 MeV. For the first time there were determined the spins and parities of three resonances. The energy values and those of total widths of the resonance states of a compound ^{15}O nucleus were made more accurate. The existence of the resonance $7/2^-$ at the energy of 2.87 MeV is considered.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1973

© 1973 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

Введение

Исследованию сечений реакции ($^3\text{He}, p$) на углероде-12 при низких энергиях посвящено несколько работ, однако трудности теоретического анализа /1/ обусловили необходимость более подробного измерения сечений и поиска качественно новой информации о протекании реакции, например, поляризации.

В сообщениях /2,3/* приведены детальные экспериментальные данные о функциях возбуждения и угловых распределениях протонов трех каналов реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$ в диапазоне энергии ускоренных ионов от 2,20 до 3,61 МэВ. Функции возбуждения протонных каналов имеют резонансную структуру, а характер угловых распределений протонов заметно изменяется с ростом энергии бомбардирующих частиц /рис. 1 иллюстрирует часть результатов этих измерений/.

Необходимость привлечения дополнительных сведений о ходе реакции стимулировала создание новой поляризационной методики /4,5/ и получение данных о поляризации протонов в реакции ($^3\text{He}, p$) на углероде /6,7/.

Вид функций возбуждения и кривых полных сечений /3/а также энергетическая зависимость поляризации протонов в реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$ свидетельствуют о преобладающем вкладе механизма составного ядра в реакцию и о возможности отождествления наблюдаемых резонансов с уровнями составного ядра ^{15}O . Учитывая эти обстоятельства, в данной работе на основе резонансной теории ядерных реакций произведено описание сечений реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$, выявление новых и уточнение имеющихся сведений о резонансной структуре сечений взаимодействия.

* Работа /3/ содержит подробную библиографию ранее выполненных исследований реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$.

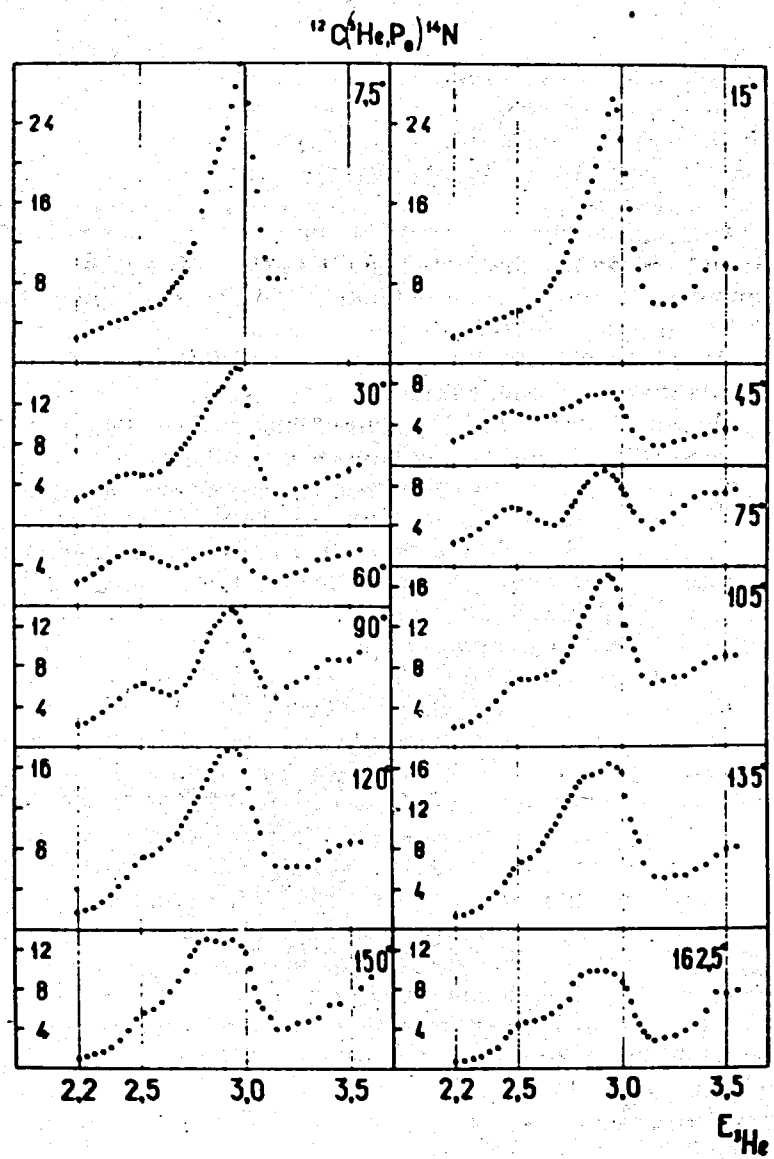


Рис. 1. Функции возбуждения p_0 -канала реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$ для разных углов /энергия $E_{^3\text{He}}$ - в МэВ, сечение σ - в относительных единицах, угол θ - в лабораторной системе/.

1. Замечания об основных положениях теоретического анализа

Анализ экспериментальных данных ^{3/} о реакции ($^3\text{He}, p$) на углероде-12 проводился по резонансной теории. Для энергий бомбардирующих ионов гелия-3 до 4 МэВ энергия возбуждения промежуточного ядра ^{15}O получается ниже 15,3 МэВ. При таких энергиях возбуждения расстояние между уровнями с одинаковыми спинами и четностями больше, чем средние значения полных ширин уровней ^{8/}. В этом случае, как показано в работе ^{9/}, можно применить одноуровневое приближение резонансной теории ядерных реакций.

Ниже даны конечные формулы, использованные для вычисления полных и дифференциальных сечений. Промежуточные процедуры, связанные с упрощением известных выражений резонансной теории при применении их к анализу сечений изучаемой реакции, не приводятся. Описание величин, входящих в формулы, дается лишь в случаях, если имеется отличие от общепринятых обозначений ^{9/}.

Дифференциальное сечение образования частиц в ядерных реакциях описывается выражением

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{k^2} \sum_{L=0}^{L=\infty} V_L P_L(\cos\theta) \quad /1/$$

Интегрируя /1/ по полному телесному углу, получим сечение

$$\sigma = \frac{4\pi}{k^2} V_0 \quad /2/$$

Для вычисления коэффициента V_0 используется известная формула Брейта-Вигнера, которая после суммирования по соответствующим подканалам рассматриваемой реакции выглядит следующим образом:

$$V_0(E) = \sum_{\lambda=1}^N \frac{G_\lambda}{(E_\lambda - E)^2 + \frac{\Gamma^2}{4}} \quad /3/$$

Здесь N - число резонансов, учитываемых в исследуемой

энергетической области, а $G_\lambda = \frac{1}{8} (2J_\lambda + 1) \Gamma_{\lambda} (\Gamma_{\lambda_1} + \Gamma_{\lambda_2} + \Gamma_{\lambda_3})$
 λ - индекс резонанса, штрих относится к выходному каналу/. Резонансные параметры E_λ и Γ_λ и величину G_λ можно найти, анализируя полные сечения. Спины и четности резонансных состояний определяются из анализа дифференциальных сечений.

Вычисление коэффициентов B_L в выражении /1/ проводится по формуле Блатта-Биденхарна, которая после преобразований, выполненных с учетом приближения изолированного резонанса /9/ и спинов ядер во входном канале исследуемой реакции, принимает вид

$$B_L = \frac{1}{8} \sum_i (-1)^{s-s'} \cdot i^{\ell_2 - \ell_1 + \ell_1 - \ell_2} Z(\ell_1 J_1 \ell_2 J_2; sL) \cdot Z(\ell_1' J_1' \ell_2' J_2'; s'L) \cdot \frac{\cos(\Omega_{c\lambda_1} + \Omega_{c\lambda_1} + \beta\lambda_1 - \Omega_{c\lambda_2} - \Omega_{c\lambda_2} - \beta\lambda_2)}{\sqrt{(E_{\lambda_1} - E)^2 + \frac{1}{4}\Gamma_{\lambda_1}^2} \sqrt{(E_{\lambda_2} - E)^2 + \frac{1}{4}\Gamma_{\lambda_2}^2}} P_{c\lambda_1}(E) \cdot P_{c\lambda_2}(E) \quad /4/$$

c - сокращение для квантовых чисел (ℓ, s, a) , индексы λ_1 и λ_2 обозначают два различных интерферирующих резонансных состояния, которые дают вклады в дифференциальное сечение взаимодействия. В последней формуле параметр $P_{c\lambda}(E) = \pm \sqrt{\Gamma_{c\lambda} \cdot \Gamma_{c\lambda}}$. Знак произведений парциальных ширин неизвестен. Этот факт обусловлен неопределенностью ядерной фазы, которая при сохранении четности принимает оба значения: 0 или π /9/.

2. Анализ сечений реакции $^{12}\text{C}({}^3\text{He}, p){}^{14}\text{N}$ по резонансной теории

Для теоретического анализа исходными данными являлись не дифференциальные сечения образования прото-

нов в реакции $({}^3\text{He}, p)$ на углероде-12, а коэффициенты разложения угловых распределений по полиномам Лежандра, которые в нашей работе /3/ представлены как функции энергии бомбардирующих ионов в диапазоне от 2.20 до 3,61 МэВ. Плотность экспериментальных значений была достаточно высокой, так что эти данные представляли хорошую основу для теоретического рассмотрения. Для проведения анализа дифференциальных сечений необходимо иметь предварительные сведения об энергиях и полных ширинах резонансных состояний и интервалах их вариации. В работе /1/ указывается на ряд противоречий в этих значениях. Определение параметров резонансов производилось с использованием метода наименьших квадратов. При подгонке энергетических зависимостей коэффициентов разложения с помощью ЭВМ выполнялся поиск минимального значения критерия

$$\chi^2 = \frac{1}{n(L_{\max} + 1)} \sum_{L=0}^{L_{\max}} \sum_{i=1}^n \left(\frac{a_L(E_i) - F \cdot B_L(E_i)}{\Delta a_L(E_i)} \right)^2 \quad /5/$$

Происхождение нормировочного фактора F объясняется тем, что величины коэффициентов a_L , найденные из экспериментальных данных /3/, приведены в относительных единицах, а значения, вычисляемые по формулам /3/ и /4/, получаются в абсолютных единицах. Суммирование в выражении /5/ производится по всем $i=1, \dots, n$ значениям энергий бомбардирующих частиц, при которых найдены коэффициенты a_L .

Анализ полных сечений. С целью получения предварительных данных об энергиях и полных ширинах резонансов и интервалах их вариации проводился анализ полных сечений, для которого привлекалось пять резонансов из рассматриваемой энергетической области. Информация о резонансных состояниях, образующихся в ядерной реакции $^{12}\text{C}({}^3\text{He}, p){}^{14}\text{N}$, которая была ранее известна из анализа сечений /1/, приведена в табл. 1.

Таблица 1
 Данные о параметрах резонансов в реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$

Энергия резонанса, в МэВ	2,45	2,75	2,99	3,28	3,60
полная ширина, в кэВ	200	420	125	200	500
спин и четность	$3/2 (1/2)^-$	$1/2^+$	$5/2^-$	-	-

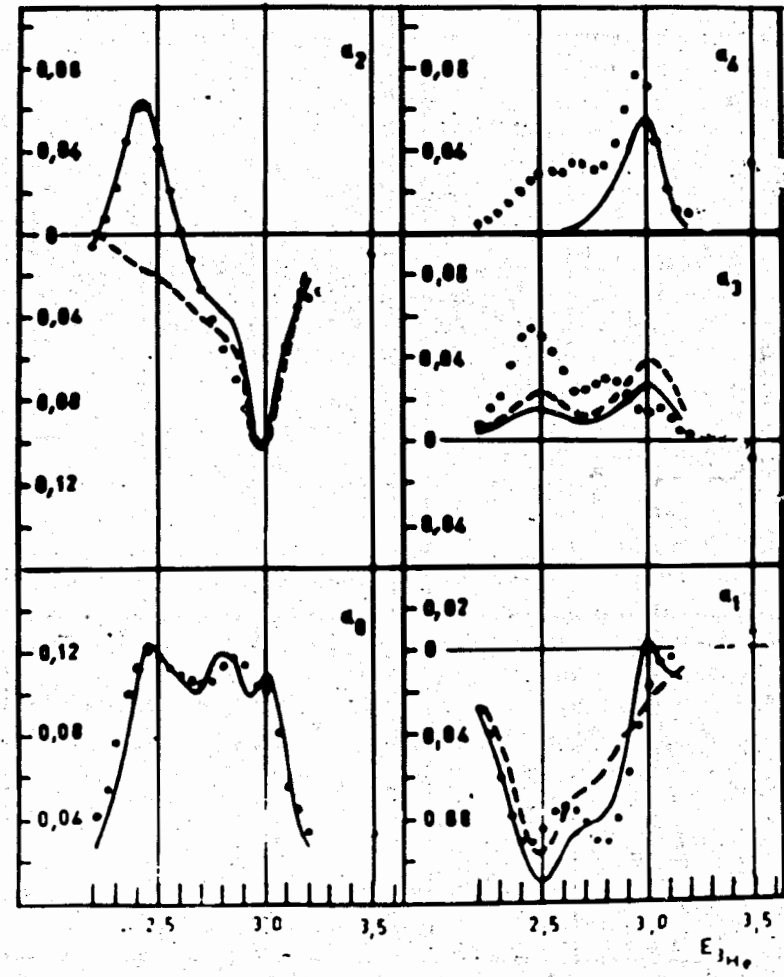


Рис. 2. Определение спина резонанса при энергии 2,45 МэВ в результате анализа p_1 -канала. Сплошная кривая - $J = 3/2$, штриховая кривая - $J = 1/2$. Для a_0 и a_1 коэффициентов обе кривые совпадают. Точками показаны экспериментальные данные работы /3/. По оси абсцисс отложена энергия ионов гелия-3 в МэВ, по оси ординат - значения коэффициентов a_L .

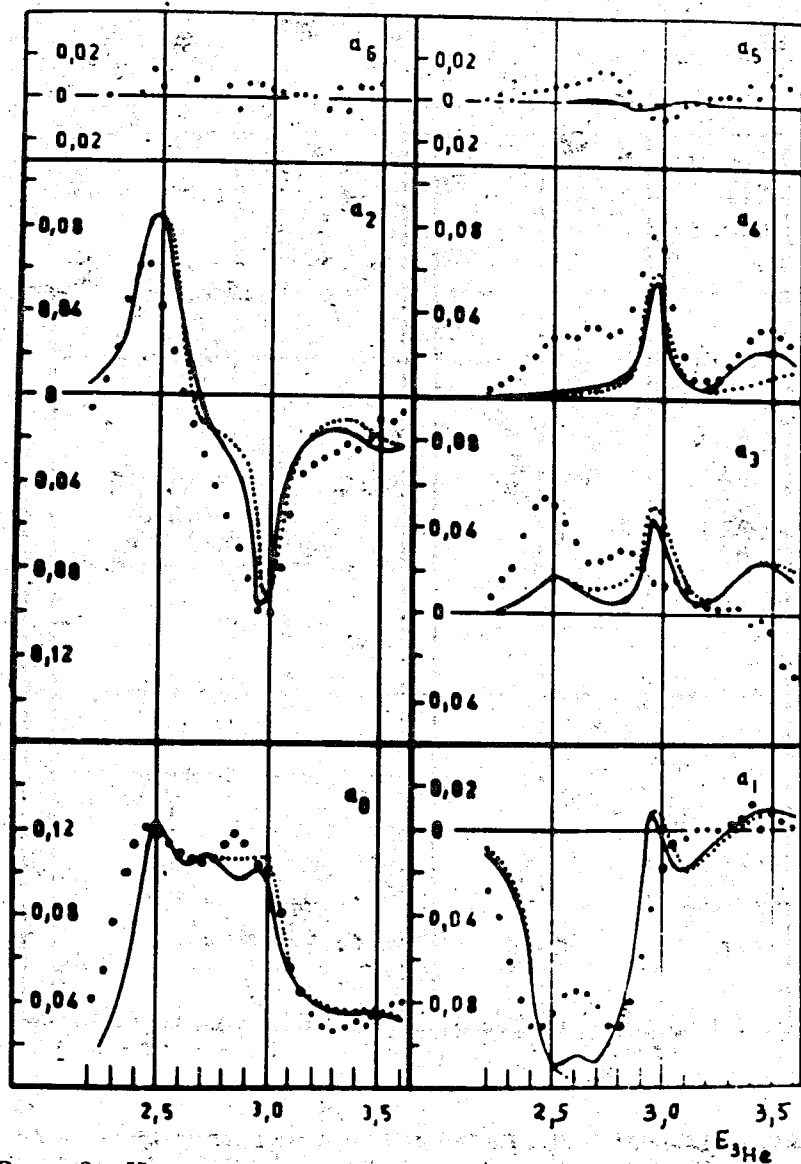


Рис. 3. Исследование данных для p_1 -канала реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$. Сплошная кривая - подгонка для шести резонансов, пунктирная кривая для пяти /без резонанса $7/2$ при $2,87 \text{ МэВ}$ / резонансов из табл. 2. Точками показаны экспериментальные результаты из работы /3/. По оси абсцисс отложена энергия ионов гелия-3 в МэВ , по оси ординат - значения коэффициентов a_i .

Вопрос о существовании в исследуемом интервале еще одного резонанса с энергией менее 3 МэВ обсуждается ниже. При использовании выражений /3/ и /5/ производилась подгонка коэффициента a_0 . Наилучшие теоретические кривые получались с резонансными параметрами, выбранными отдельно для каждого протонного канала. Этот факт можно объяснить как наличием ошибок в экспериментальных данных, так и физическими явлениями, обусловленными структурными или пороговыми эффектами, которые не учитываются в резонансной теории. Отметим, что полученные из подгонок полных сечений параметры первых трех резонансов из табл. 1 устойчиво сохраняли свои значения, если нижняя граница рассматриваемого диапазона изменялась от $2,35$ до $2,20 \text{ МэВ}$, а верхняя - от $3,15$ до $3,61 \text{ МэВ}$.

Кривые, полученные с разными наборами параметров, считаются равноправными, если они являются достаточно хорошими приближениями к экспериментальным результатам. Значения параметров из этих наборов формируют интервалы их вариации, которые используются в дальнейшем в качестве исходных данных при подгонках энергетических зависимостей коэффициентов разложения угловых распределений по формулам /4/ и /5/.

На основании данных табл. 1 можно сформулировать следующие задачи, решение которых представляется возможным, исходя из анализа дифференциальных сечений:

определить /или подтвердить/ спины и четности всех резонансов,

уточнить значения энергий и полных ширин резонансных состояний.

Кроме этого, необходимо выяснить вопрос о существовании резонанса при энергии $2,87 \text{ МэВ}$, относительно которого имеются противоречивые заключения /2, 6, 10/.

Исследование сечений p_1 -канала. Сначала проводился анализ экспериментальных данных в энергетической области от $2,20$ до $3,15 \text{ МэВ}$. Для спина первого резонанса в работе /1/ приводятся два возможных значения. Для однозначного выбора между ними достаточно было подгонки производить с учетом первых трех резонансов из табл. 1. На рис. 2 представлены эксперимен-

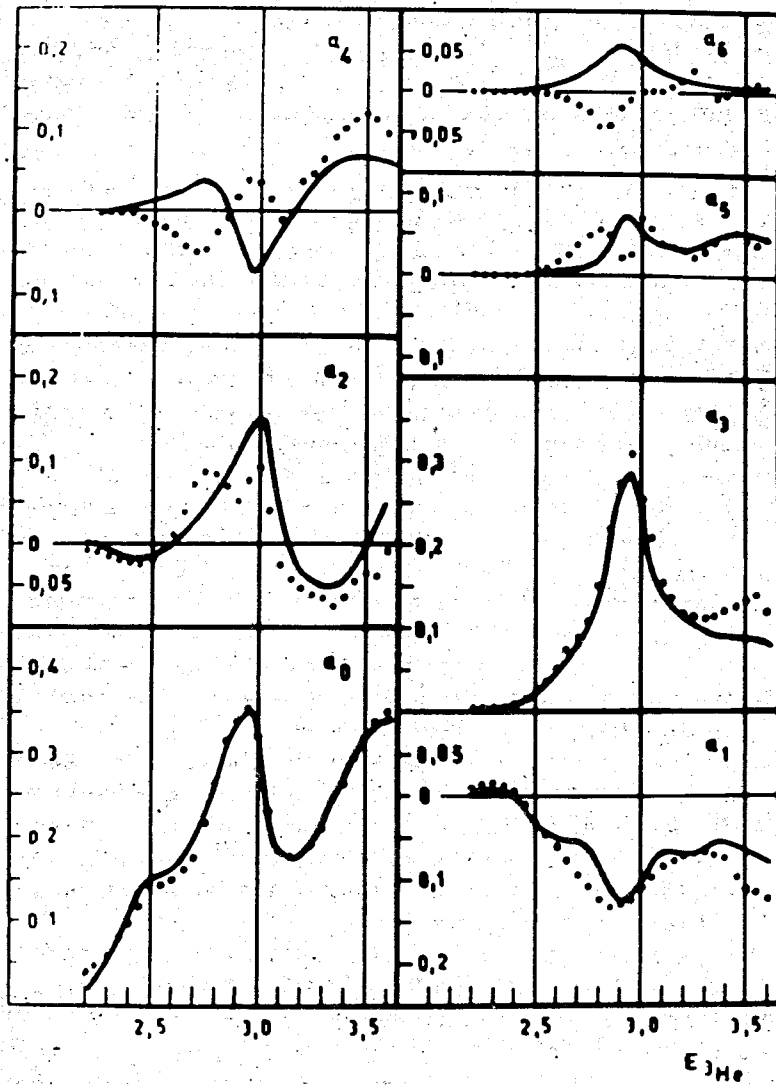


Рис. 4. Анализ данных для p_0 -канала реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He},p)^{14}\text{N}$. Сплошная кривая - подгонка с шестью резонансами табл. 2. Точками показаны экспериментальные значения из сообщения /3/. По оси абсцисс отложена энергия бомбардирующих ионов гелия-3 в МэВ, по оси ординат - величины коэффициентов a_L /.

тальные данные и теоретические кривые для $J=3/2$ /непрерывная линия/ и $J=1/2$ /штриховая линия/ резонанса при энергии 2,45 МэВ. Результат подгонки a_2 -коэффициента позволяет выбрать для спина этого резонанса значение $3/2$.

Расчеты, проведенные во всем исследованном интервале с учетом резонанса при энергии 2,87 МэВ, не привели к улучшению подгонок коэффициентов /см. рис.3/; отсюда можно заключить, что в p_1 -канале этот резонанс не проявляется.

В интервале энергий от 3 до 4 МэВ до сих пор не имелось попыток анализа сечений ввиду их относительной малости. В области резонанса при энергии 3,28 МэВ, существование которого подтверждается анализом сечений других каналов, не содержится признаков, указывающих на его заметное проявление в p_1 -канале. На основании энергетической зависимости коэффициентов исследованных протонных каналов не удается сделать каких-либо предположений о спине этого резонанса. Поэтому были выполнены расчеты со всеми значениями J^π от $1/2^\pm$ до $7/2^\pm$ для резонансов с энергиями 3,28 и 3,50 МэВ. Удовлетворительные подгонки коэффициентов были получены при комбинации $J_{3,28}^\pi = 3/2^-$ и $J_{3,50}^\pi = 5/2^+$. С учетом приведенного выше замечания о слабом проявлении в p_1 -канале резонанса при энергии 3,28 МэВ вывод о его спине и четности является предположительным. Добавим, что в работе /1/ при анализе дифференциальных сечений p_1 -канала состояние при энергии 3,28 МэВ не учитывалось.

Анализ p_0 - и p_2 -каналов. В отличие от результатов исследования сечений p_1 -канала для успешной интерпретации экспериментальных данных p_0 - и p_2 -каналов в области 2,5 - 3 МэВ резонанс при энергии 2,87 МэВ крайне необходим. Только с введением этого резонанса удалось получить хорошие подгонки для большинства коэффициентов. Особенно чувствительно реагировали нечетные коэффициенты, в которые дают вклад только интерференционные члены, существенно зависящие от резонансных параметров. На рис. 4 и 5 показаны резуль-

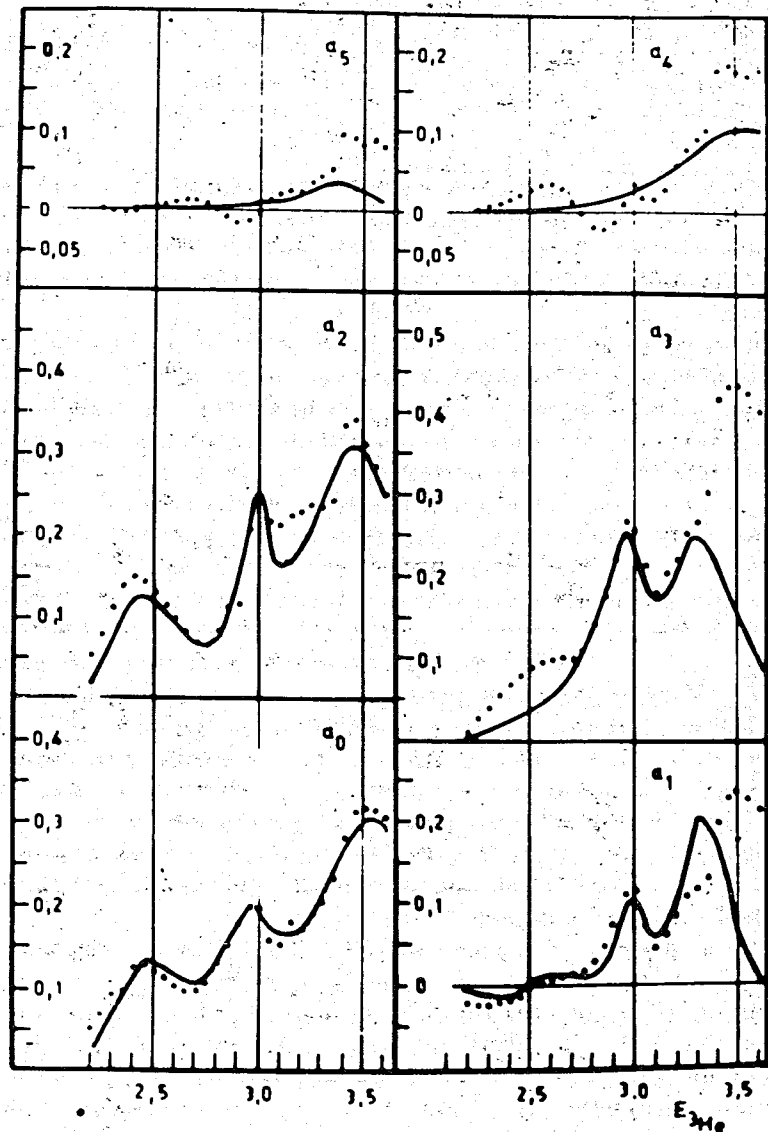


Рис. 5. Исследование данных p_2 -канала реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$. Сплошная кривая - подгонка с шестью резонансами табл. 2. Точками показаны экспериментальные результаты из работы [3]. По оси абсцисс отложена энергия ионов гелия-3 в МэВ, по оси ординат - значения коэффициентов a_L .

таты исследования коэффициентов в энергетическом интервале от 2,20 до 3,61 МэВ.

Отметим, что введение резонанса при энергии 2,87 МэВ не согласуется с данными Марра и др. [10]*, которые смогли удовлетворительно описать протонную поляризацию для p_0 -канала в области от 2 до 3 МэВ на основе резонансов при энергиях 2,45; 2,75 и 2,97 МэВ.

С другой стороны, существование резонансного состояния при энергии 2,87 МэВ убедительно доказано в работе [6], в которой анализировались более точные и подробные [по сравнению с данными [10]/сведения о поляризации протонов в реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$ /основное состояние/. Эти экспериментальные результаты были успешно объяснены только с введением $7/2^-$ резонанса при энергии 2,87 МэВ. Таким образом, результаты нашего анализа дифференциальных сечений подтверждают вывод, сделанный в [6].

С целью дальнейшего приближения рассчитанных a_4 - a_6 коэффициентов к экспериментальным значениям в p_0 -канале [рис. 4] изменялось присвоение спина и четности резонанса при энергии 2,87 МэВ. Эта процедура приводила к ухудшению подгонок для всех коэффициентов. Присвоение ряда значений J^π для других резонансов было выполнено при исследовании p_1 -канала.

В табл. 2 приведены резонансные энергии E_χ и полные ширины Γ_χ , а также спины и четности состояний, полученные в результате анализа коэффициентов разложения угловых распределений протонов каждого канала.

*Работа [10] известна нам только по аннотации, в которой не содержится указаний о методе анализа поляризационных данных.

Таблица 2
Данные о резонансных параметрах состояний реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$

Название канала реакции	Энергия $E_{\text{лаб}}$ и полная ширина Γ резонансов (в кэВ)					
	2520	2730	2870	2960	3280	3500
P_0	320	440	240	130	220	500
P_1	2450	2750	-	2960	3280	3500
	260	420	-	110	220	500
P_2	2430	2730	2870	2970	3280	3500
	320	380	240	110	220	500
Спин и четность резонанса	$3/2^-$	$1/2^+$	$7/2^-$	$5/2^+$	$(3/2^-)$	$5/2^+$

Примечание: Возможные причины расхождений в значениях E и Γ , полученных из анализа разных каналов реакции, указываются в тексте.

3. Сравнение теоретических и экспериментальных угловых распределений

В настоящей работе выводы о характеристиках резонансных состояний делались из сравнения теоретических и экспериментальных значений коэффициентов разложения угловых распределений по полиномам Лежандра. Естественным было на основе рассчитанных коэффициентов B_L получить теоретические угловые распределения /1/ и сравнить их с экспериментальными /3/. В результате такой процедуры можно заметить, как отклонения значений отдельных коэффициентов влияют на вид теоретического углового распределения, а также проанализировать связанные с этим причины расхождений с экспериментальными угловыми распределениями. Рис. 6 иллюстрирует типичный пример приближения теоретических угловых распределений к экспериментальным данным. В целом можно заключить, что дифференциальные сечения исследованных каналов реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$ в области низких энергий можно приемлемо описать в рамках резонансной теории.

4. Обсуждение результатов

Расхождения между теоретическими и экспериментальными данными, которые можно увидеть на рис. 2-5, в большинстве случаев незначительны. Они отражают высокую чувствительность коэффициентов /особенно нечетных/ к небольшой разнице между выбранными при расчете и реализующимися в ходе реакции значениями резонансных параметров. С другой стороны, эти расхождения могут являться следствием примесей прямых или других процессов, которые не описываются резонансной теорией. В функциях возбуждения каналов и угловых распределениях протонов отсутствует тонкая структура, используя которую можно было бы произвести разделение вкладов разных механизмов и установить соотношение между ними. После определения спинов, четностей, энергий и полных ширин резонансных состоя-

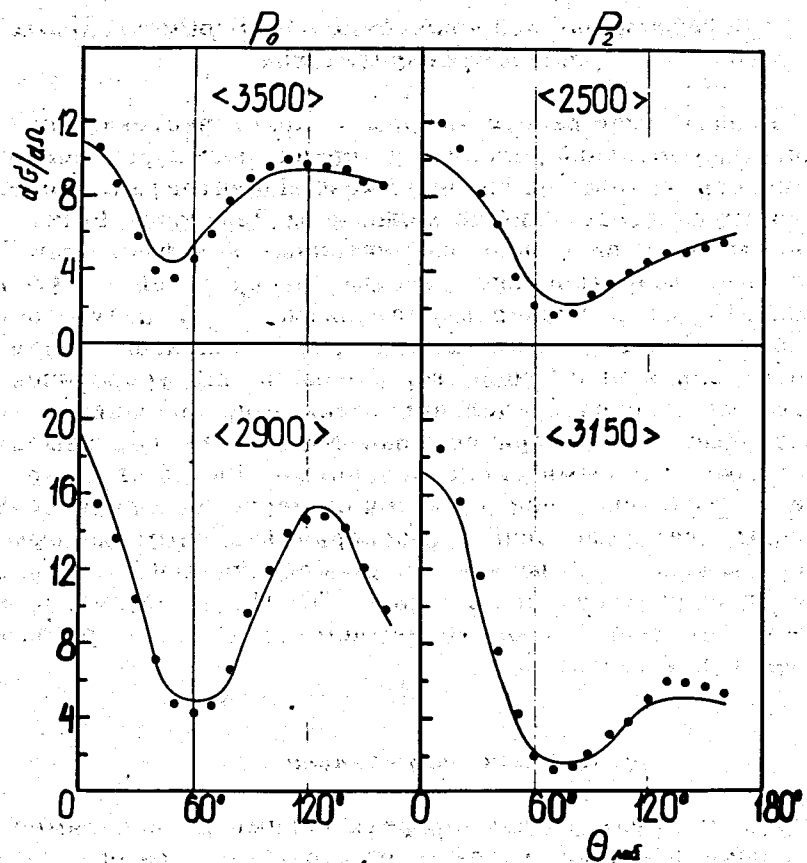


Рис. 6. Сравнение теоретических /сплошная линия/ и экспериментальных /3/ угловых распределений /показаны точками/ для p_0 - и p_2 -каналов: /Числа в скобках - энергия бомбардирующих ионов гелия - 3 в кэВ, по оси ординат - сечения в относительных единицах, по оси абсцисс - угол θ в лабораторной системе, в градусах/.

ний необходимо вернуться к проверке условий применимости одноуровневого приближения резонансной теории для анализа сечений рассматриваемой реакции. Пригодность этого приближения зависит от того, перекрываются ли резонансы с одинаковыми спинами и четностями. В исследуемой реакции имеются некоторые замечания относительно резонансов $5/2^+$ при энергиях 2,96 и 3,50 МэВ,

так как энергетическое расстояние между ними сравнимо с шириной последнего резонанса. Такое замечание не имеет основания для резонансов $3/2^-$ при энергиях 2,50 и 3,28 МэВ.

Трудности, возникшие при выяснении природы резонанса с энергией 3,28 МэВ, и отсутствие вклада резонанса $7/2^-$ при 2,87 МэВ в сечение p_1 -канала не удалось преодолеть в результате проведенных расчетов. Выход надо искать в исследовании новых каналов реакции или других реакций, в которых образуется составное ядро ^{15}O . Так, для выяснения вопросов, связанных с резонансом $7/2^-$ при энергии 2,87 МэВ, интересно исследовать p_3 -канал, в котором относительно спина резонансного состояния и конечного ядра имеет место такое же соотношение, как и в p_1 -канале.

В заключение отметим, что анализ коэффициентов разложения угловых распределений по полиномам Лежандра в основном оказался эффективным.

Это объясняется, во-первых, тем, что в нашем случае из 26 угловых распределений протонов формируется 6 энергетических зависимостей коэффициентов разложения - этой процедурой обеспечивается высокая информационная плотность исходных для анализа данных.

Во-вторых, достоинством такого метода исследования является высокая чувствительность отдельных коэффициентов к вариации параметров и квантовым характеристикам резонансных состояний. По этой причине уменьшается число ситуаций, для надежного анализа которых необходимы сведения о поляризации. Это обстоятельство представляется особенно важным, так как выполнение поляризационных измерений в реакциях двухнуклонной передачи типа $(^3\text{He}, p)$ на легких ядрах связано с большими экспериментальными трудностями^{4/}. Кроме этого, дифференциальные сечения можно измерить с гораздо лучшей точностью и большей плотностью, чем это возможно при измерении поляризации.

Заключение

В настоящей работе, завершающей наши исследования сечений реакций $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$, на основе резонансной теории проанализированы экспериментальные данные /3/ и получены следующие основные результаты:

1. Определены спины и четности трех резонансов, относительно которых в публикациях имелись противоречивые сведения, либо они отсутствовали совсем.

2. Уточнены значения энергий и полных ширин резонансных состояний.

3. Из анализа дифференциальных сечений при энергии 2,87 МэВ установлено резонансное состояние $7/2^-$ и тем самым подтвержден результат, полученный путем исследования поляризации протонов в реакции $(^3\text{He}, p)$ на углероде-12 в /6/.

Авторы выражают благодарность И.В.Сизову за внимание к данной работе и В.И.Фурману за обсуждение программы расчетов на ЭВМ.

Литература

1. Hsin-Min Kuan, T.W.Bonner, J.R.Risser. *Nucl.Phys.*, 51, 481 (1964).
2. M.I.Krivopustov, I.V.Sizov, G.Schirmer, H.Oehler. *Proc. of the Second Conf. on Nucl. React. with Light Nuclei and Nucl. Structure, October 1967, Rossendorf*, p. 140-142.
3. Г.Ширмер, М.И.Кривоустов, Г.Элер, И.В.Сизов. *Сообщения ОИЯИ, P15-4801, Дубна, 1969.*
4. М.И.Кривоустов, И.В.Сизов, Г.Ширмер, Г.Элер. *Препринт ОИЯИ, P15-3504, Дубна, 1967.*
5. H.Oehler, M.Krivopustov, G.Schirmer, I.V.Sizov, F.Asfour. *Nucl. Instr. and Meth.*, 77, 293 (1970).
6. Г.Элер, М.И.Кривоустов, Г.-И.Вибики, Ф.Асфур, И.В.Сизов, Г.Ширмер. *Сообщения ОИЯИ, P15-5156, Дубна, 1970.*
7. H.Oehler, M.I.Krivopustov, H.-I.Vibike, F.Asfour, I.V.Sizov, G.Schirmer. *Proc. of the Third International Symposium on Polarization Phenomena in Nuclear Reactions, USA, Madison, 1970*, p. 619-621.
8. R.S.Blake, D.J.Jacobs, J.O.Newton, J.P.Schapira. *Nucl.Phys.*, 77, 254 (1966);

- М.А.Жусупов, В.В.Каранетян, Р.А.Эрамжян. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 32, 332 /1968/.
9. *Ядерные реакции. Под. ред. П.М.Эндта и М.Демера, т. 1, главы 5,6. Госатомиздат, Москва, 1962.*
10. G.Marr, K.A.Kuenhold, T.R.Donoghue. *Bull. Amer. Phys. Soc.*, 12, 4, 501 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел
29 декабря 1973 года.