

Д-401

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

15 - 8112

ДЖАНОБИЛОВ Курбон

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УСКОРЕННЫХ ПРОТОНОВ
И ГЕЛИЯ-3 С АТОМНЫМИ ЯДРАМИ ^{11}B И ^{10}B

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1974

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель: кандидат
физико-математических наук

И.В.СИЗОВ.

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук

Л.Г.ВЫСОЦКИЙ,

кандидат
физико-математических наук

Ю.Э.ПЕНИОНЖКЕВИЧ.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Научно-исследовательский физический институт ЛГУ (Ленинград)
Автореферат разослан " _ " _____ 1974 года.

Защита диссертации состоится " _ " _____ 1974 года,
в " _ " часов на заседании Объединенного Ученого совета ЛНФ и
ЛЯР ОИЯИ (Дубна, Московской области).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Отзывы и замечания просим направлять по адресу: г.Дубна,
Московской области, Объединенный институт ядерных исследований,
ученому секретарю Объединенного Ученого совета ЛЯР и ЛНФ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

Э.Н.КАРЖАВИНА

" _ " _____ 1974 года.

15 - 8112

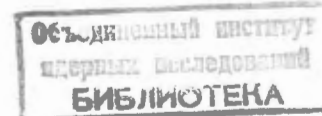
ДЖАНОБИЛОВ Курбон

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УСКОРЕННЫХ ПРОТОНОВ
И ГЕЛИЯ-3 С АТОМНЫМИ ЯДРАМИ ^{11}B И ^{10}B

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Исследования ядерных реакций представляют большой интерес для изучения конкретных свойств ядер и структуры ядра.

При низких энергиях бомбардирующих частиц реакции на легких ядрах мишени могут протекать через долгоживущие состояния промежуточного ядра. Эти состояния характеризуются наличием резких резонансов в дифференциальных и полных сечениях реакций. Исследования ядерных реакций, в которых в конечном состоянии получаются три частицы, сравнительно недавно также стали предметом повышенного внимания как со стороны экспериментаторов, так и теоретиков. По сравнению с реакциями с образованием двух частиц теоретическое рассмотрение реакций с вылетом трех и более частиц значительно сложнее. Кроме увеличения числа независимых кинематических переменных (например, до пяти, в случае вылета трех частиц), сложности в изучении квантово-механических систем из нескольких частиц возникает при попытке учета взаимодействия всех этих частиц. Тем не менее, информация, получаемая из исследований таких реакций, оказывается интересной и важной для понимания многих аспектов ядерной физики, например, таких, как вопрос о роли трехчастичных сил в многочастичном взаимодействии, о параметре рассеяния двух частиц, о характере потенциалов парного взаимодействия и т.п.

Решение этих проблем станет возможным с получением достаточно обширных экспериментальных данных по реакциям с выходом трех частиц в конечном состоянии.

В настоящей работе исследуется реакция $^{11}\text{B}(\text{P}, 3\alpha)$ с целью изучения высоковозбужденных состояний составного ядра ^{12}C и получения квантовых характеристик этих состояний.

В случае ядерных реакций с образованием двух частиц в конечном состоянии взаимодействие может протекать не через механизм образования составного ядра, а путем прямого процесса (срыв, выбивание, подхват и т.п.). Детальное изучение функций возбуждения и угловых распределений продуктов таких ядерных реакций дает возможность получать ценную информацию для теоретического анализа процессов ядерного взаимодействия. Из возможных процессов взаимодействия ускоренных ионов гелия-3 с ядрами бора при низких энергиях мало изучены реакции с выходом протонов. Нам исследованы реакции $^{11}\text{B}(\text{}^3\text{He}, \text{P}_0)\text{}^{13}\text{C}$; $^{10}\text{B}(\text{}^3\text{He}, \text{P}_0)\text{}^{12}\text{C}$; $^{10}\text{B}(\text{}^3\text{He}, \text{P}_1)\text{}^{12}\text{C}$ в целях получения сведений о механизме реакций, а также дополнительной информации об уровнях составных ядер ^{14}N и ^{13}N .

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

Глава I носит обзорный характер. В ней дается краткий обзор работ по изучению ядерных реакций с вылетом трех частиц. Указывается на важную роль взаимодействия двух (из трех) частиц в конечном состоянии. Кратко излагается модель Мигдала - Ватсона^{1/}. Приводится обзор работ по изучению реакций с вылетом трех частиц, некоторых реакций, идущих через составные ядра ^{14}N и ^{13}C , наиболее подробно рассматриваются реакции $^{11}\text{B}(\text{P}, 3\alpha)$; $^{11}\text{B}({}^3\text{He}, \text{P})^{13}\text{C}$; $^{10}\text{B}({}^3\text{He}, \text{P})^{12}\text{C}$. Анализ предшествующих работ ведется как с точки зрения методики получения экспериментальных результатов, так и их пригодности для дальнейшего теоретического анализа.

Для реакции $^{11}\text{B}(\text{P}, 3\alpha)$ все предшествующие исследования проводились в области малых энергий протонов, примерно до $E_{\text{P}} = 2,65$ МэВ, а попытки теоретической интерпретации экспериментальных результатов были малоуспешными.

Нами была поставлена задача детально исследовать реакцию $^{11}\text{B}(\text{P}, 3\alpha)$ при резонансных энергиях $E_{\text{P}} = 2,65, 3,25, 3,75$ МэВ, что соответствует уровням составного ядра ^{12}C с энергиями возбуждения 18,37, 18,93 и 19,39 МэВ, и интерпретировать полученные экспериментальные данные на основе более общей теории многочастичного рассеяния, в которой учитываются эффекты попарного взаимодействия в конечном состоянии всех трех α -частиц, образующихся в реакции /2-7/.

В работах, посвященных изучению реакций $({}^3\text{He}, \text{P})$ на ^{11}B и ^{10}B , было показано, что при энергиях налетающих частиц больше 5,0 МэВ, реакции идут преимущественно через прямой процесс. При более низких энергиях механизм реакций представляется более сложным. Наряду с процессами срыва или подхвата частиц большой вклад в реакцию дает механизм составного ядра. В этой области малых энергий реакции $^{11}\text{B}({}^3\text{He}, \text{P})^{13}\text{C}$ и $^{10}\text{B}({}^3\text{He}, \text{P})^{12}\text{C}$ экспериментально и теоретически мало изучены, имеющихся данных явно недостаточно для анализа процессов взаимодействия. Настоящая работа в значительной мере восполняет имеющийся пробел в исследованиях реакций $({}^3\text{He}, \text{P})$ на ядрах бора.

Проведению намеченной программы исследований предшествовали выбор и тщательная отработка экспериментальной методики проведения измерений. В экспериментах необходимо было обеспечить хорошее энергетическое разрешение для регистрируемых продуктов ядерных реакций, а в случае измерений двумерных спектров совпадений α -частиц из

реакции $^{11}\text{B}(\text{P}, 3\alpha)$ - был необходим высокоэффективный временной отбор совпадений при больших нагрузках (10^4 мм/сек) по каждому каналу, исключающий фон случайных совпадений.

Непростую задачу представляет методика приготовления мишеней из бора, имеющего температуру испарения $\sim 3000^\circ\text{C}$.

Описанию примененного нами экспериментального оборудования, технике приготовления мишеней, методике проведения измерений посвящена вторая глава диссертации.

Исследования реакции $^{11}\text{B}(\text{P}, 3\alpha)$, $^{11}\text{B}({}^3\text{He}, \text{P})^{13}\text{C}$ и $^{10}\text{B}({}^3\text{He}, \text{P})^{12}\text{C}$ были выполнены на электростатическом генераторе ЭГ-5 Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ. В экспериментах применялась стальная камера рассеяния цилиндрической формы диаметром 190 мм. Мишень устанавливалась в центре камеры рассеяния на специальном изолированном держателе, позволяющем менять угол ее наклона относительно падающего пучка. С помощью коллиматора длиной 150 мм, диаметр пучка ограничивался до $1+1,5$ мм. На съемной крышке камеры смонтированы два кронштейна для установки детекторов. При исследовании реакции $^{11}\text{B}(\text{P}, 3\alpha)$ специальное поворотное устройство позволяло независимо для каждого детектора устанавливать необходимый угол относительно направления пучка бомбардирующих протонов в пределах $0^\circ+180^\circ$ для одного детектора и $-30^\circ+ -180^\circ$ - для другого.

Регистрация α -частиц из реакции $^{11}\text{B}(\text{P}, 3\alpha)$ осуществлялась кремниевыми поверхностно-барьерными детекторами. Энергетическое разрешение детекторов вместе с электронной аппаратурой при регистрации α -частиц с энергией 5,2 МэВ от α -препарата составляло $30+40$ кэВ. В случае измерений спектра α -частиц из реакции $^{11}\text{B}(\text{P}, 3\alpha)$ ширина пика на половине высоты для группы α_0 -частиц была в пределах $100+120$ кэВ. Временной отбор быстрых совпадений осуществлялся в пределах $7+12$ нсек. В основу блок-схемы экспериментального оборудования положен принцип отбора "быстро-медленных" совпадений в сочетании с двумерным амплитудно-амплитудным анализом. Для получения двумерного спектра 4096 каналов анализатора распределялись на две группы: 64×64 или 32×128 каналов.

Протоны из реакции $^{11}\text{B}({}^3\text{He}, \text{P})^{13}\text{C}$ и $^{10}\text{B}({}^3\text{He}, \text{P})^{12}\text{C}$ регистрировались с помощью шести полупроводниковых Si - Li - детекторов. Детекторы были установлены на двух кронштейнах с угловым интервалом между центрами детекторов, равным 30° . Вращение детекторов вокруг

мишени позволяло измерять угловые распределения в диапазоне углов 0° до 160° . Седьмой неподвижный детектор устанавливался под углом 90° к направлению пучка и использовался в качестве монитора.

В исследованиях трехчастичной реакции были использованы самоподдерживающиеся мишени из бора толщиной $50+80$ мкг/см², получаемые путем распыления бора естественного состава с помощью электронного пучка.

Для изготовления мишеней использовалась установка с электронной пушкой, специально смонтированная для этой цели. Исследование реакций $^{11}\text{B}({}^3\text{He}, \text{P}) {}^{13}\text{C}$ и $^{10}\text{B}({}^3\text{He}, \text{P}) {}^{12}\text{C}$ производилось с мишенями, изготовленными путем осаждения бора из суспензии. Блок-схема электронной аппаратуры для регистрации протонов состояла из следующих элементов: 1) спектрометрический канал, 2) мониторный канал, 3) канал интегратора тока.

Примененная многоканальная система регистрации протонов позволила существенно сократить время измерений угловых распределений. Использование транзисторной электроники обеспечивало высокую долговременную стабильность аппаратуры. Результаты измерений с анализатора через распределительное устройство подавались на цифрочувствительный графопроектор и записывались на магнитную ленту ЭВМ.

Третья глава посвящена описанию экспериментальных результатов и методике их обработки.

При исследовании реакции $^{11}\text{B}(\text{P}, 3\alpha)$ измерена функция возбуждения при $\theta^1 = 120^\circ$ для основного состояния ядра ${}^8\text{Be}$ в диапазоне энергии падающих протонов $E_p = 1,6+4,1$ МэВ с шагом по энергии $10+20$ кэВ. Методом двумерного анализа измерялись энергетические спектры совпадений двух α -частиц (из трех образующихся в реакции) при резонансной энергии протонов $E_p = 2,65; 3,25$ и $3,75$ МэВ для различных комбинаций углов вылета первой α -частицы (θ_1^1) и второй α -частицы (θ_2^1). Были измерены спектры совпадений при $E_p = 2,65$ МэВ — для семи комбинаций углов θ_1^1 и θ_2^1 при $E_p = 3,25$ МэВ — для десяти и $3,75$ МэВ — для двадцати комбинаций углов. Экспозиция для каждого измерения составляла ≈ 10 часов. Перед каждым измерением спектра α - α -совпадений проводилось измерение функций возбуждения в районе выбранного резонанса с тем, чтобы найти точное значение резонансной энергии протонов, соответствующей данной толщине мишени и ее положению относительно падающего пучка. Фон случайных совпадений в двумерных

спектрах α - α -совпадений определялся по методу "задержанных" совпадений.

На рис.1 показан двумерный спектр α - α -совпадений и его проекции на оси E_1^1 и E_2^1 , для комбинаций углов $\theta_1^1 = 70^\circ$ и $\theta_2^1 = 90^\circ$ при резонансном значении энергии $E_p^1 = 3,75$ МэВ. На двумерном спектре нанесена рассчитанная диаграмма Далица^{8/}.

Экспериментальные двумерные спектры, измеренные при заданных резонансных энергиях протонов и выбранной комбинации углов θ_1^1 и θ_2^1 , преобразовывались в проекции на оси энергии первой и второй α -частиц. С этой целью проводилось суммирование отсчетов в каналах, лежащих на диаграмме Далица. Полученные таким способом энергетические распределения α -частиц сравнивались с расчетами сечений, полученных на основе теории многочастичного рассеяния с учетом попарного взаимодействия всех трех α -частиц в конечном состоянии.

При исследовании реакций $({}^3\text{He}, \text{P})$ на боре были измерены функции возбуждения для групп протонов P_0 из реакции $^{11}\text{B}({}^3\text{He}, \text{P}) {}^{13}\text{C}$, P_0 и P_1 — из реакции $^{10}\text{B}({}^3\text{He}, \text{P}) {}^{12}\text{C}$ для шести значений углов относительно падающего пучка: $10^\circ, 40^\circ, 70^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ и 150° л.с.к. в интервале энергий $E_{\text{ЗHe}} = 1,5+4,3$ МэВ с шагом по энергии 50 КэВ. Измеренные функции возбуждения для групп P_0 и P_1 из реакции $^{10}\text{B}({}^3\text{He}, \text{P}) {}^{12}\text{C}$ показаны на рис.2. Ошибки измерений функций возбуждения включают в себя:

а) ошибку в измерении тока $\pm 1\%$;

б) статистическую ошибку и ошибку выделения пика на спектре частиц $\pm 7\%$.

Угловые распределения протонов измерялись в интервале углов от 10° до 160° л.с. через каждые 10° . В области энергий $E_{\text{ЗHe}} = 1,5+4,3$ МэВ были измерены по пятнадцати угловых распределений для каждого канала реакции.

На рис.3 показаны угловые распределения для группы P_0 из реакции $^{10}\text{B}({}^3\text{He}, \text{P}) {}^{12}\text{C}$. В измерениях угловых распределений выход продуктов реакции под заданным углом θ нормировался на отсчеты монитора, установленного под углом 90° л.с. Дифференциальные сечения лабораторной системы в систему центра масс переводились по стандартной программе "ПОУР" (программа обработки угловых распределений). Программа "ПОУР" также осуществляла подгонку угловых распределений (по методу наименьших квадратов) в виде разложения по полиномам Лежандра:

$$f(\Omega) = \frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{k^2} \sum_l A_l P_l(\cos\Omega) \quad (I)$$

k - волновое число во входном канале;

A_l - коэффициенты при полиномах Лежандра.

Критерием для оценки высшего порядка полиномов Лежандра, который следовало учесть при обработке данных, служила наилучшая подгонка теоретической кривой под экспериментальные точки (минимум распределения), а также возможность получения такой экстраполяции угловых распределений в область углов, где угловые распределения не измерялись, чтобы она отражала общий характер изменений дифференциальных сечений от угла θ , во всяком случае, не приводила к нефизическим значениям этих сечений при угле 0° и 180° .

В четвертой главе в кратком виде изложены основные положения теории многочастичного рассеяния и кинематика реакций с образованием трех частиц, отмечаются кинематические особенности этих реакций и кратко освещается метод диаграмм Далица. Проведен анализ и обсуждение экспериментальных результатов по реакции $^{11}\text{B}(p, 3\alpha)$. На основе теории многочастичного рассеяния²⁻⁷ рассчитывались сечения $d^2\sigma/dE_1 d\Omega_1 d\Omega_2$ α - α -совпадений из реакции $^{11}\text{B}(p, 3\alpha)$ для резонансных энергий протонов $E_p = 2,65, 3,25$ и $3,75$ МэВ.

Предполагалось, что при этих энергиях реакция протекает через резонансные состояния ядра ^{12}C в определенном энергетическом состоянии E^* с моментом J и четностью π .

Рассчитанные для разных значений J^π спектры сравнивались с экспериментально измеренными.

Из результатов сравнения экспериментальных данных с расчетами можно было получить наиболее вероятные значения спина и четности составного ядра ^{12}C .

В случае резонанса при $E_p = 2,65$ МэВ (энергия возбуждения $18,37$ МэВ) до настоящего времени значения спина и четности этого состояния надежно не установлены.

В ранних работах^{9,10} были получены значения $J^\pi = 2^+$. При другом теоретическом подходе¹¹ к анализу тех же экспериментальных данных были указаны значения $J^\pi = 3^-$. Нужно отметить, что эти результаты относились к случаям наблюдения только одного пика в спектре α - α -совпадений. Как выяснилось из дальнейших наших исследований, такие измерения оказываются мало чувствительными к различным предположениям спина и четности составного ядра. Наиболее интересными являются

такие комбинации углов, когда из расчетов кинематики ожидаются, по крайней мере, два пика, но таких измерений было сделано мало и они не анализировались.

Нами¹² были измерены спектры совпадений α -частиц из реакции $^{11}\text{B}(p, 3\alpha)$ при энергии падающих протонов $E_p = 2,65$ МэВ для семи различных комбинаций углов Θ_1^1 и Θ_2^1 , включая случаи наблюдения спектров с двумя пиками; сечения $d^2\sigma/dE_1 d\Omega_1 d\Omega_2$ рассчитывались для четырех значений J^π составного ядра ^{12}C $J^\pi = 2^+, 3^-, 0^+$ и 1^- . Наиболее удовлетворительные совпадения экспериментальных результатов с расчетами получаются в предположении спина и четности уровня ядра $^{12}\text{C}(18,37$ МэВ) $J^\pi = 2^+$ и 3^- . Детальное рассмотрение результатов подгонки экспериментальных данных для всей области выбранных комбинаций углов позволяет считать, что наиболее предпочтительно значение спина и четности этого уровня ядра ^{12}C , равное 2^+ .

В анализе экспериментальных данных при $E_p = 3,25$ МэВ результаты расчета были выполнены в предположении различных значений спина и четности составного ядра $^{12}\text{C}(18,39$ МэВ) $J^\pi = 0^+, 1^-, 2^+, 3^-, 4^+, 2^-$. Из результатов сравнения удалось исключить значения $J^\pi = 4^+, 1^-, 3^-, 2^-$.

Значения $J^\pi = 0^+$ и 2^+ дают практически совпадающие результаты для комбинации углов, которые были достигнуты в настоящих измерениях. Неоднозначность в выборе значений спина и четности составного ядра ^{12}C в случае резонанса при $E_p = 3,25$ МэВ может объясняться следующими причинами:

Во-первых, в наших экспериментах не удалось реализовать случаи, когда спектр совпадений состоит не из одного пика, а более сложен и потому более чувствителен к различным предположениям спина и четности. (Когда из кинематики ожидался спектр совпадений с двумя пиками, то второй пик по энергии совпадал с энергией упругого рассеяния протонов на мишени).

Во-вторых, резонанс при $E_p = 3,25$ МэВ очень слабый и расположен между двумя большими и довольно широкими резонансами при $E_p = 2,65$ и $3,75$ МэВ, для которых определены значения $J^\pi = 2^+$. Не исключено, что характер спектров совпадений в резонансе при $E_p = 3,25$ МэВ определяется не только параметрами этого резонанса, но и возможным вкладом двух других.

Анализ экспериментальных результатов при $E_p = 3,75$ МэВ, что соответствует возбуждению состояния составного ядра ^{12}C с энергией $E^* = 19,39$ МэВ, проводился впервые¹³ (рис.4).

Расчет сечений производился для значений спина и четности составного ядра ^{12}C $J^\pi = 1^-, 2^+, 3^-, 4^+, 0^+$. Сравнение экспериментальных результатов с расчетами показывает, что характер спектра совпадений хорошо воспроизводится в предположении значения $J^\pi = 2^+$. Хорошее согласие с экспериментом для большого набора комбинации θ_1^i и θ_2^i , когда форма спектров совпадений существенно меняется, делает определение спина и четности достаточно надежным.

Пятая глава посвящается анализу и обсуждению реакций $^{11}\text{B}(^3\text{He}, \text{P}_0)^{13}\text{C}$ и $^{10}\text{B}(^3\text{He}, \text{P})^{12}\text{C}$. Приведены расчетные формулы и в кратком виде изложены статистическая теория Хаузера - Фешбаха^{/14/}, резонансная теория Блатта - Биденхарна^{/15/} и теория двухнуклонного срыва Ньонса^{/16/} в приближении плоских волн.

В функциях возбуждения реакций гелия-3 на ядрах бора-10 и бора-11 наблюдается резонансная структура. В то же время отмечается определенная устойчивость формы угловых распределений от энергии падающего пучка. Рассмотрение функций возбуждения и угловых распределений протонов показывает, что исследуемым реакциям свойственен сложный механизм взаимодействия. Характер функций возбуждения и ход угловых распределений для больших углов (для задней полусферы) отражает существенный вклад от механизма составного ядра. Определенная устойчивость формы угловых распределений во всем исследованном интервале энергий, их резкая анизотропия "вперед-назад" в системе центра инерции сталкивающихся частиц - отличительные особенности прямых ядерных реакций.

Исходя из отмеченных особенностей реакций, анализ экспериментальных результатов проводился с учетом этих двух возможностей - прямых процессов и механизма составного ядра.

На основе теории Хаузера - Фешбаха нами осуществлялась подгонка усредненных угловых распределений протонов из реакции $^{11}\text{B}(^3\text{He}, \text{P}_0)^{13}\text{C}$ ^{/17/}. Усреднения проводились по интервалу $E = 1,6 \pm 0,3$ МэВ. Такое усреднение по довольно широкому интервалу было оправдано тем, что характер угловых распределений несущественно меняется с энергией падающих частиц, а имеются лишь различия в абсолютных величинах дифференциальных сечений. Расчеты выполнялись по программе "MANA"^{/18/}; получить удовлетворительного согласия расчетов с экспериментом не удалось.

Дальнейшим шагом в анализе угловых распределений протонов явилось использование резонансной теории ядерных реакций. В реакции

$^{11}\text{B}(^3\text{He}, \text{P}_0)^{13}\text{C}$ нами наблюдались резонансы в функциях возбуждения при $E_{^3\text{He}} = 2,4$ и $3,0$ МэВ. Эти резонансы могут отвечать уровням составного ядра ^{14}N с энергиями возбуждения $22,6$ и $23,0$ МэВ. Для этих уровней известны спин и четность - $J^\pi = 2^-/19/$. Используя эти параметры уровней, нами осуществлялась подгонка угловых распределений протонов при энергиях $E_{^3\text{He}} = 2,4$ и $3,0$ МэВ по резонансной теории. При этом удалось получить удовлетворительное согласие в характере угловых распределений для углов больше 90° . Для подгонки угловых распределений во всем интервале углов от 0° до 180° оказалось необходимым предположение о прямом механизме взаимодействия. Оценка возможного вклада от различных механизмов прямого взаимодействия осуществлялась на основе дисперсионной теории прямых ядерных реакций^{/20/}. Проведенные оценки показали, что наиболее вероятным процессом является срыв двух нуклонов. С учетом предполагаемых двух механизмов реакции расчет дифференциальных сечений осуществлялся по формуле

$$W = W_c + W_d, \quad (2),$$

где W_c - часть дифференциального сечения, соответствующая вкладу от механизма составного ядра;

W_d - вклад от процесса двухнуклонного срыва.

Результаты расчетов для двух угловых распределений в сравнении с экспериментом приведены на рис.5. Формула (2) была применена к анализу угловых распределений во всем измеренном интервале энергий ускоренных частиц.

Анализ угловых распределений протонов для основного и первого возбужденного состояний ядра ^{12}C из реакции $^{10}\text{B}(^3\text{He}, \text{P})^{12}\text{C}$ ^{/21/} также проводился на основе статистической теории Хаузера - Фешбаха и по резонансной теории Блатта - Биденхарна. На основе статистической теории не удалось воспроизвести даже общие черты угловых распределений. Как отмечалось выше, основанием для применения резонансной теории явилось наличие резонансной структуры в функциях возбуждения. В случае реакции $^{10}\text{B}(^3\text{He}, \text{P})^{12}\text{C}$ резонансы наблюдались при энергиях $E_{^3\text{He}} = 2,2; 2,8; 3,7$ МэВ. Используя общее выражение для дифференциального сечения, данное Блаттом - Биденхарном^{/15/} для резонансных энергий, нами были рассчитаны коэффициенты разложения A_i при полиномах Лежандра в предположении разных значений спина и четности J^π составного ядра ^{13}N от $J^\pi = 3/2^\pm$ до $J^\pi = 9/2^\pm$. В этих расчетах возможным

вкладом прямых процессов пренебрегалось. Рассчитанные таким образом коэффициенты разложения сравнивались с экспериментальными значениями, найденными от разложения угловых распределений по полиномам Лежандра методом наименьших квадратов. В результате такого сравнения были определены возможные значения спина и четности составного ядра ^{13}N для резонанса при $E_{\text{He}}=2,2$ МэВ. $J^\pi = 3/2^+$ или $5/2^+$ и для резонанса $E_{\text{He}}=2,8$ МэВ - $J^\pi = 5/2^+$. Для резонанса при $E_{\text{He}}=3,7$ МэВ определение спина и четности оказалось затруднительным. Возможно, что при этой энергии уже значительную роль играют прямые процессы, которыми в расчетах мы пренебрегали.

Проведенные измерения реакций $^{11}\text{B}(^3\text{He}, \text{P}_0)^{13}\text{C}$ и $^{10}\text{B}(^3\text{He}, \text{P})^{12}\text{C}$ и анализ экспериментальных результатов свидетельствуют о сложном характере взаимодействия ^3He с ядрами бора. Угловые распределения протонов нельзя удовлетворительно описать в предположении какого-либо одного конкретного механизма взаимодействия. При низких энергиях ускоренных частиц преобладающим является механизм составного ядра, с ростом энергии к концу исследуемого интервала заметный вклад начинают давать прямые процессы.

На основе полученных экспериментальных результатов в Заключении приводятся итоги проделанной работы.

1. Отработана методика измерения двумерных спектров совпадений α -частиц из реакции с образованием трех частиц в конечном состоянии. Выбранная методика позволяет регистрацию продуктов реакций с высоким энергетическим и временным разрешениями и применима к другим экспериментам, в которых образуется несколько частиц в конечном состоянии.

2. Отработана эффективная методика измерения функций возбуждения и угловых распределений продуктов ядерных реакций с применением полупроводниковых детекторов и многоканальной спектрометрической аппаратуры.

3. Проведены детальные измерения реакции $^{11}\text{B}(^3\text{He}, \alpha)$ в резонансах при $E_{\text{He}}=2,65$; $3,25$; $3,75$ МэВ. Измерения в резонансах $3,25$ и $3,75$ МэВ проведены впервые.

4. Полученные экспериментальные данные по реакции $^{11}\text{B}(^3\text{He}, \alpha)$ проанализированы на основе теории многочастичного рассеяния с учетом попарного взаимодействия всех трех частиц в конечном состоянии. В результате проведенного анализа получены значения спина и четности уровней составного ядра ^{12}C с энергиями возбуждения $18,37$;

$18,93$; $19,39$ МэВ, которые оказались равными 2^+ , 0^+ и 2^+ , соответственно.

5. Показано, что выбранная методика анализа реакции $^{11}\text{B}(^3\text{He}, \alpha)$ хорошо воспроизводит экспериментальные данные и применима для получения некоторых квантовых характеристик составного ядра.

6. Проведены детальные измерения функций возбуждения и угловых распределений протонов из реакций $^{11}\text{B}(^3\text{He}, \text{P}_0)^{13}\text{C}$, $^{10}\text{B}(^3\text{He}, \text{P}_0)^{12}\text{C}$ и $^{10}\text{B}(^3\text{He}, \text{P}_1)^{12}\text{C}$ в интервале энергий $E_{\text{He}} = 1,5-4,3$ МэВ, которые до настоящего времени были мало исследованы.

7. Проведен анализ экспериментальных данных на основе соответствующих теоретических представлений: статистической теории Хаузера - Фешбаха, резонансной теории Блатта - Биденхарна и теории двухнуклонного срыва Ньхуса.

8. Показано, что статистическая теория не позволяет воспроизвести даже общие черты угловых распределений. Удовлетворительное описание экспериментальных данных в отдельных случаях удается получить на основе резонансной теории и теории двухнуклонного срыва в предположении сложного характера взаимодействия гелия-3 с ядрами бора (механизм составного ядра и прямые процессы).

9. Для составных ядер ^{14}N и ^{13}N уточнены или определены возможные значения спина и четности некоторых уровней в области высоких энергий возбуждения.

Основное содержание материалов диссертации опубликовано в работах /12,13,17,21/.

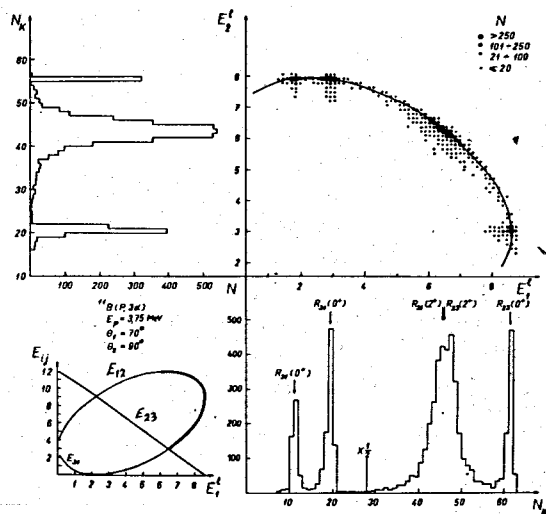


Рис. 1. Двухмерный спектр α - α - совпадений из реакции $^{11}\text{B}(p, 3\alpha)$.

N - число совпадений в одном канале анализатора. N_x - номер канала, E_{23} , E_{31} , E_{12} - относительные энергии соответствующей пары α -частиц в зависимости от энергии первой α -частицы (E_1^i). $R_{ij}(0^+)$ и $R_{ij}(2^+)$ - указывают на положения резонансов взаимодействия пар α -частиц ij в основном (0^+) и первом возбужденном (2^+) состояниях ^8Be . Углы θ_1 и θ_2 отсчитываются от направления падающего пучка протонов, θ_1 - в верхней полусфере, θ_2 - в нижней.

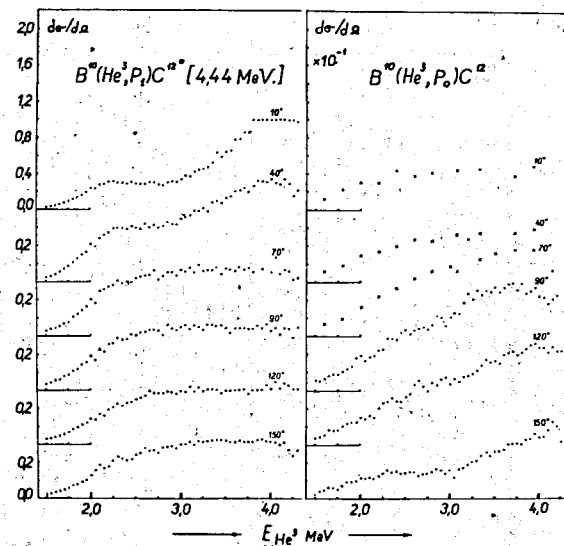


Рис. 2. Функции возбуждения из реакции $^{10}\text{B}(^3\text{He}, p)^{12}\text{C}$ для основного и первого возбужденного состояний ядра ^{12}C .

($d\sigma/d\Omega$ - в относительных единицах; угол - в лабораторной системе)

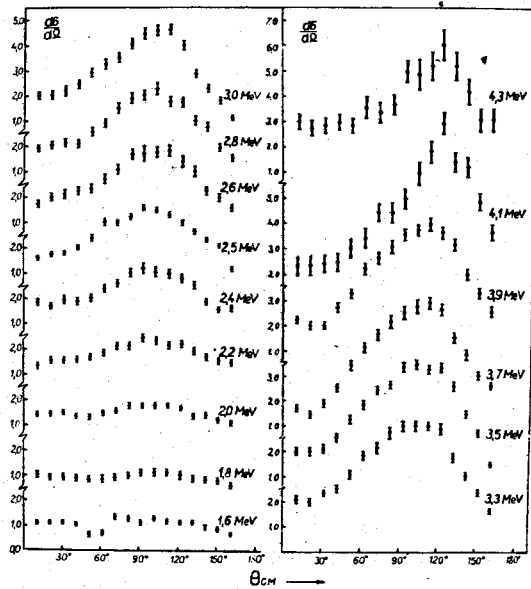


Рис. 3 Угловые распределения из реакции $^{10}\text{B}(^3\text{He}, \text{p})^{12}\text{C}$.
($d\sigma/d\Omega$ - в относительных единицах).

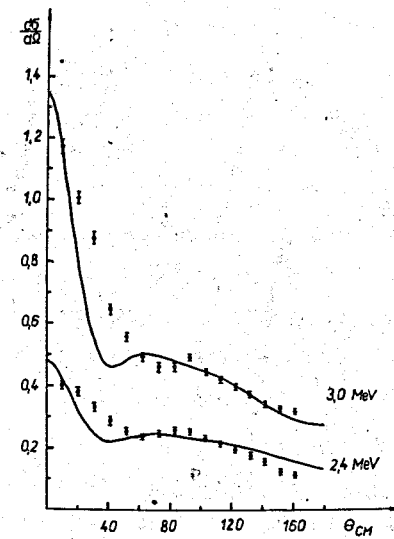


Рис. 4 Спектры совпадений двух α -частиц и расчет сечений для различных значений спина и четности ядра ^{12}C .

- $J^\pi = 0^+$ - штрих-пунктир;
- $J^\pi = 2^+$ - сплошная линия;
- $J^\pi = 3^-$ - двойной штрих-пунктир;
- $J^\pi = 4^+$ - штриховая линия.

ЛИТЕРАТУРА

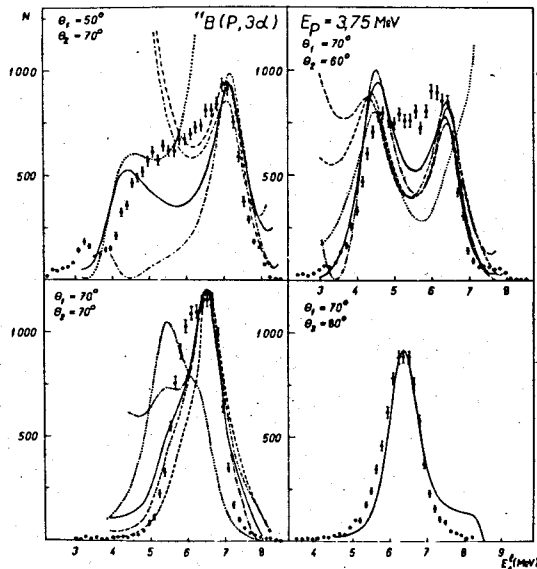


Рис. 5 Подгонка угловых распределений протонов из реакции $^{11}\text{B}(^3\text{He}, \text{p})^{13}\text{C}$ по резонансной теории и теории двухнуклонного срыва. ($dG/d\Omega$ - в относительных единицах).

1. А.Б.Мигдал, ЕЭФ, 28 (1955) 3.
2. К.М. Watson, Phys.Rev., 88 (1952) 1163.
3. В.В.Комаров. Известия АН СССР сер.физ. XXXIV. I (1970) 78.
4. V.V. Komarov and H.S. Salman, Phys.Lett. 31B (1969) 52.
5. В.В.Комаров и др. Известия АН СССР сер.физ. XXXIV I(1970) 84.
6. В.В.Комаров и Морси С.М. Эль Тахами, Известия АН СССР сер.физ. XLIII. I (1973) I.
7. В.В.Комаров, Известия АН СССР сер.физ. XLVII. 9(1973) 1992.
8. V.V. Komarov, The Graph-Summation method (GSM) for Multiparticle Nuclear Reactions, Lecture, Institut Sciences Nucléaires, Grenoble, May 1972 I.S.M. 72-04.
9. R. Dalitz, Phil.Mag, 44 (1953) 1068;
10. J.D. Bronson et al, Nucl.Phys. 68 (1965) 241. G.C. Phillips, Rev.Med.Phys. 37 (1965) 409.
11. C. Mc Mahan and J. Duck, Nucl.Phys. A157 (1970) 417.
12. K. Schaffer, Nucl.Phys. A140 (1970) 9.
13. К. Джанобилов и др. Сообщение ОИЯИ П15-6771, Дубна, 1972.
14. К. Джанобилов и др. Сообщение ОИЯИ П15-7705, Дубна, 1974.
15. W. Hauser and H. Feshbach. Phys.Rev. 87 (1952) 366.
16. J.M. Blatt and L.C. Biedenharn, Rev.Mod.Phys. 24 (1952) 258.
17. H.C. News, Proc.Phys.Soc. 76 (1960) 489.
18. К. Джанобилов и др. ОИЯИ П15-8С25, Дубна 1974.
19. W.R. Smith, Computer Phys.Commun. 1(1969) 181.
20. R. Riess et al, Nucl.Phys. 14175 (1971) 462; B.C. Cooper and I.M. Eisenberg, Nucl.Phys. A114 (1968) 184.
21. I.S. Shapiro, Nucl.Phys. 28 (1961) 244.
22. К. Джанобилов и др. ОИЯИ П15-8С24, Дубна 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 июля 1974 года.