

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С 3439
Д-401

16/1x
P15 - 7971

3686/2-74

К. Джанобилов, И.И. Залобовский, Х.Р. Саад,
В.Д. Сарана, И.В. Сизов

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ $^{19}\text{F}(^3\text{He}, p)^{21}\text{Ne}$

1974

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

P15 - 7971

К.Джанобилов, И.И.Залюбовский,* Х.Р.Саад,
В.Д.Сарана,* И.В.Сизов

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ $^{19}\text{F}(^3\text{He}, p)^{21}\text{Ne}$

* Харьковский государственный университет.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Джанобиллов К., Залубовский И.И., Саад Х.Р.,
Сарана В.Д., Сизов И.В.

P15 - 7971

Исследование реакции $^{19}\text{F}(^3\text{He}, \text{p})^{21}\text{Ne}$

Проведены исследования функций возбуждения и угловых распределений нескольких групп протонов из реакции $^{19}\text{F}(^3\text{He}, \text{p})^{21}\text{Ne}$ в интервале энергий бомбардирующих частиц $2,3 \div 4,2$ МэВ.

Сравнение с теорией Хаузера-Фешбаха показало, что при энергиях $E_{^3\text{He}}$ до 3,0 МэВ реакция преимущественно идет через образование составного ядра.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1974

Dzhanobilov K., Zalubovsky I.I., Saad Hk.R., P15 - 7971
Sarana V.D., Sizov I.V.

Study of the Reaction $^{19}\text{F}(^3\text{He}, \text{p})^{21}\text{Ne}$

The excitation functions and the angular distributions were studied for several groups of protons from the reaction $^{19}\text{F}(^3\text{He}, \text{p})^{21}\text{Ne}$ in the range of energies of bombarding particles being 2.3-4.2 MeV.

Comparison with the Hauser-Feshbah theory has shown that at energies $E_{^3\text{He}}$ up to 3.0 MeV the reaction occurs through the production of a compound nucleus.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1974

©1974 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

Изучение процесса образования составного ядра ^{22}Na в области энергий возбуждения от 15 до 25 МэВ представляет интерес в связи с существованием четко выраженных структур в функциях возбуждения различных реакций и очень большой когерентной шириной ~ 490 кэВ^{1/2}.

Анализу реакции $^{19}\text{F}(^3\text{He}, \text{p})^{21}\text{Ne}$ посвящены работы ^{2,3/}, где исследовались спектр протонов и угловая корреляция $^{19}\text{F}(^3\text{He}, \text{p}, \gamma)^{21}\text{Ne}$ с целью получения спектроскопической информации. Изучению функций возбуждения и угловых распределений в реакции $^{19}\text{F}(^3\text{He}, \text{p})^{21}\text{Ne}$ не было посвящено ни одной работы.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования функций возбуждения и угловых распределений протонов из реакции $^{19}\text{F}(^3\text{He}, \text{p})^{21}\text{Ne}$. Показан характер протекания данной реакции в области энергий $E_{^3\text{He}} = 2,3 \div 4,2$ МэВ.

ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследование реакции $^{19}\text{F}(^3\text{He}, \text{p})^{21}\text{Ne}$ выполнено на электростатическом генераторе Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ. В экспериментах использовались мишени из CaF_2 , нанесенные на тонкую углеродную / ~ 10 мкг/см² / или толстую никелевую / ~ 35 мкм / подложку, путем испарения в вакууме. Толщина мишеней в экспериментах была от 40 до 80 мкг/см² и определялась / для мишеней на тонких углеродных подложках / по упругому рассеянию ^3He на угол 80° при энергиях налетающих частиц ниже 4 МэВ. Регистрация протонов осуществлялась одновре-

менно с помощью пяти полупроводниковых Si (Li) - детекторов, установленных на вращающейся турели в камере рассеяния и шестого - мониторингового, расположенного под углом 90° относительно падающего пучка. Энергетическое разрешение детекторов для протонов из реакции составляло $120 \div 150$ кэВ. Толщина чувствительной области детекторов позволяла регистрировать протоны с энергией $18-20$ МэВ.

При измерении угловых распределений число отсчетов в каждой из протонных групп нормировалось на число отсчетов в $P_0 + P_1$ пиках мониторингового детектора. После этого проводилась нормировка на функцию возбуждения, измеренную под углом 100° .

Функция возбуждения измерялась два раза. Один раз с мишенью толщиной $110 \div 120$ кэВ при $E_{3\text{He}} = 2,8$ МэВ на никелевой подложке, другой - с более тонкой мишенью на углеродной подложке толщиной $60 \div 70$ кэВ при той же энергии ^3He . Характер зависимости функций возбуждения от энергии при этом не изменялся. Функции возбуждения, измеренные на тонкой мишени, нормировались по пику упругого рассеяния ^3He на ^{19}F с целью получения абсолютных значений сечений. Предполагалось, что упругое рассеяние ^3He на ^{19}F является чисто резерфордским ^{4/}.

Среднеквадратичная ошибка измерения относительных дифференциальных сечений не превышает $\pm 8\%$, она складывается из ошибок измерения выхода реакции $/7\%$, учета фона $/2\%$ и ошибки выделения пика $/\pm 3\%$. Ошибка нормировки угловых распределений на функцию возбуждения составляет $\pm 6\%$. Ошибка, связанная с нормировкой на упругое рассеяние, составляет $15 \pm 18\%$. Таким образом, среднеквадратичная ошибка измерения абсолютных дифференциальных сечений равна $\pm 20\%$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

На рис. 1 приведен типичный спектр протонов из реакции $^{19}\text{F}(^3\text{He}, p)^{21}\text{Ne}$. На нем четко видны разрешен-

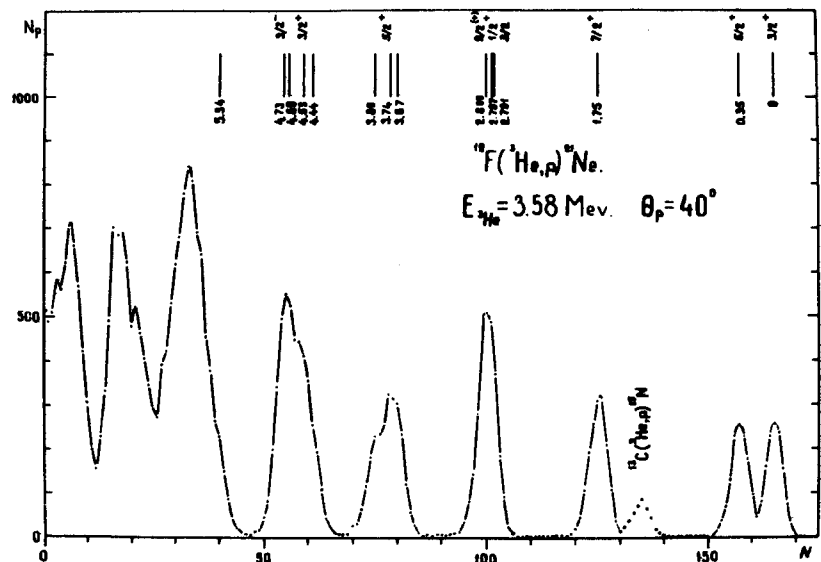


Рис. 1. Спектр протонов из реакции $^{19}\text{F}(^3\text{He}, p)^{21}\text{Ne}$

ные группы протонов P_0 ; P_1 ; P_2 и отдельные пики, соответствующие неразрешенным по энергии группам P_3 ; P_4 ; P_5 . Эти группы соответствуют переходам в состоянии остаточного ядра ^{21}Ne - $0,00 - /3/2^+$ /; $0,35 - /5/2^+$ /; $1,75 - /7/2^+$ /; $2,791 - /3/2^+$ /; $2,797 - /1/2^+$ /; $2,869 - /9/2^+$ / МэВ. В спектре наблюдается загрязнение от реакции $^{13}\text{C}(^3\text{He}, p)^{15}\text{N}$, связанное с углеродной подложкой, а также с нагоранием углеродной пленки на поверхности мишени в месте попадания пучка.

На рис. 2 и 3 показаны функции возбуждения, измеренные в интервале энергий $E_{3\text{He}}$ от 2,3 до 4,2 МэВ для групп протонов P_0 , P_1 , P_2 и неразрешенных по энергии $P_{3,4,5}$. Крестиками обозначены результаты измерений для углов 20 и 50° , выполненные на более тонкой мишени. Для углов 100 и 160° измерения на толстой и тонкой мишенях даны вместе.

Можно отметить, что характер функций возбуждения, измеренных на мишенях разной толщины, не меняется.

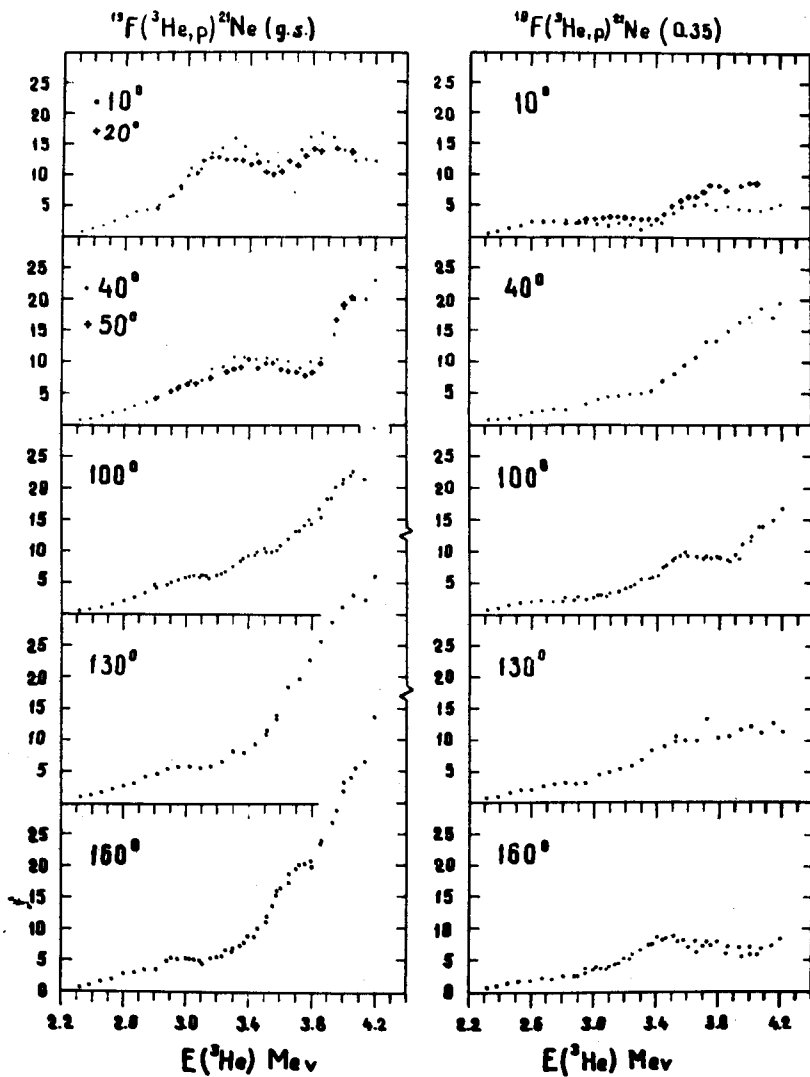


Рис. 2. Функции возбуждения реакций $^{19}\text{F}(\text{He}, p_0)^{21}\text{Ne}$ и $^{19}\text{F}(\text{He}, p_1)^{21}\text{Ne}$ /сечение $\sigma(\theta)$ дано в произвольных единицах/.

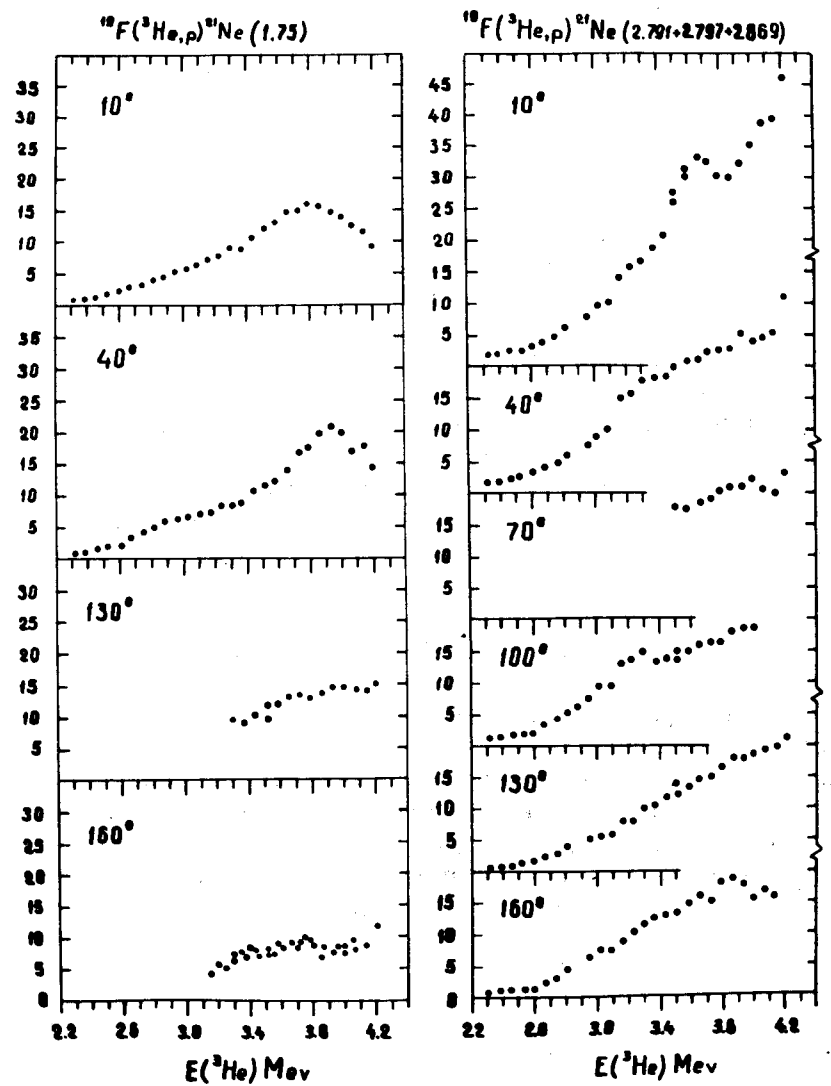


Рис. 3. Функции возбуждения для реакций $^{19}\text{F}(\text{He}, p_2)^{21}\text{Ne}^*$ и $^{19}\text{F}(\text{He}, p_{3,4,5})^{21}\text{Ne}^*$ /сечение $\sigma(\theta)$ дано в произвольных единицах/.

Все эти функции возбуждения возрастают с увеличением энергии падающих частиц, что, по-видимому, связано с влиянием кулоновского барьера. Наиболее значительный рост характерен для групп p_0 и p_1 /для углов 40° и 100° /. Резких флуктуаций в функциях возбуждения в малом энергетическом интервале падающих частиц не наблюдается.

На рис. 4-7 приведены угловые распределения групп протонов, соответствующих переходам в состоянии конечного ядра ^{21}Ne - 0,00; 0,35 и 1,75 МэВ.

Точки на графиках - экспериментальные значения, пересчитанные в с.д.м. Указанные на рисунках ошибки соответствуют статистическим ошибкам измерения выхода реакции, ошибке выделения пика на спектре и ошибкам нормировки к функциям возбуждения. Для группы p_2 в интервале углов $80^\circ - 140^\circ$ проводилось вычитание вклада от фоновой реакции $^{13}\text{C}(^3\text{He}, p)^{15}\text{N}$ с учетом результатов работы /5/.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Общий характер поведения функций возбуждения и угловых распределений в диапазоне энергий $E_{3\text{He}}$ от 2,3 до 3,5 МэВ указывает на то, что, по-видимому, в этой области энергий преобладает механизм образования составного ядра. На рис. 8 представлены угловые распределения протонов, усредненные по интервалу энергий $E_{3\text{He}}$ в 400 кэВ со средней энергией 2,8 МэВ.

Усредненные угловые распределения близки по форме к распределениям, измеренным при энергии $E_{3\text{He}}$, равной 2,8 МэВ. Форма угловых распределений для группы p_0 не сильно изменяется при увеличении интервала усреднения от 2,6 до 3,5 МэВ, для группы p_1 спад увеличивается под передними углами. Надо отметить, что усредненные угловые распределения довольно симметричны относительно 90° . В табл. 1 приведены отношения проинтегрированных усредненных поперечных сечений по углам от 20° до 90° к проинтегрированным поперечным сечениям от 90° до 160° для $\bar{E}_{3\text{He}} = 2,8$ и $\bar{E}_{3\text{He}} = 3,04$ МэВ.

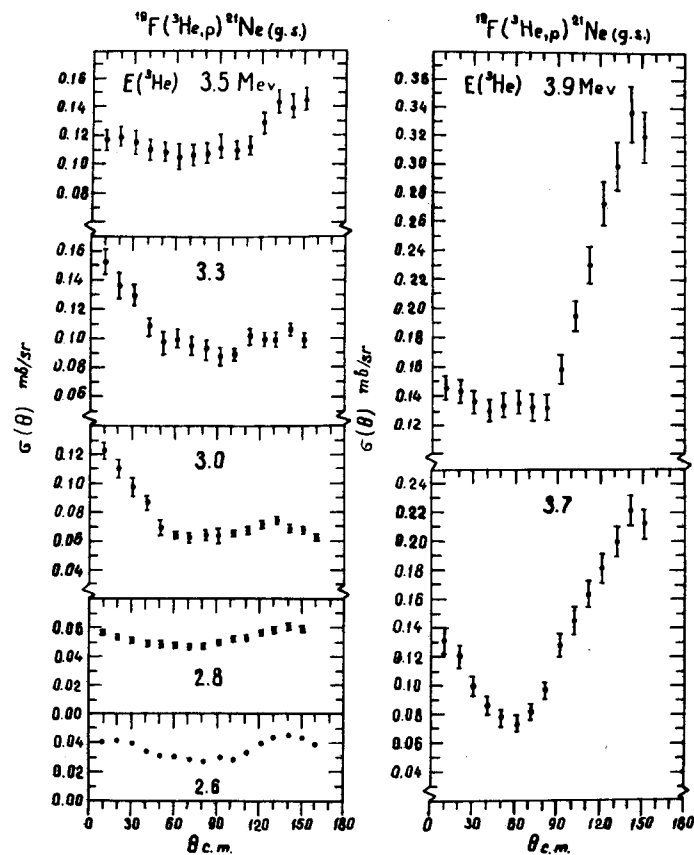


Рис. 4. Угловые распределения реакции $^{19}\text{F}(^3\text{He}, p)^{21}\text{Ne}$.

Таблица 1

$\bar{E}_{3\text{He}}$ $E_{21\text{Ne}}$	МэВ	$\sigma(20^\circ \div 90^\circ) / \sigma(90^\circ \div 160^\circ)$	
		2,8 МэВ	3,04 МэВ
0,00		0,95	0,97
0,35		0,87	0,85
1,75		1,25	-

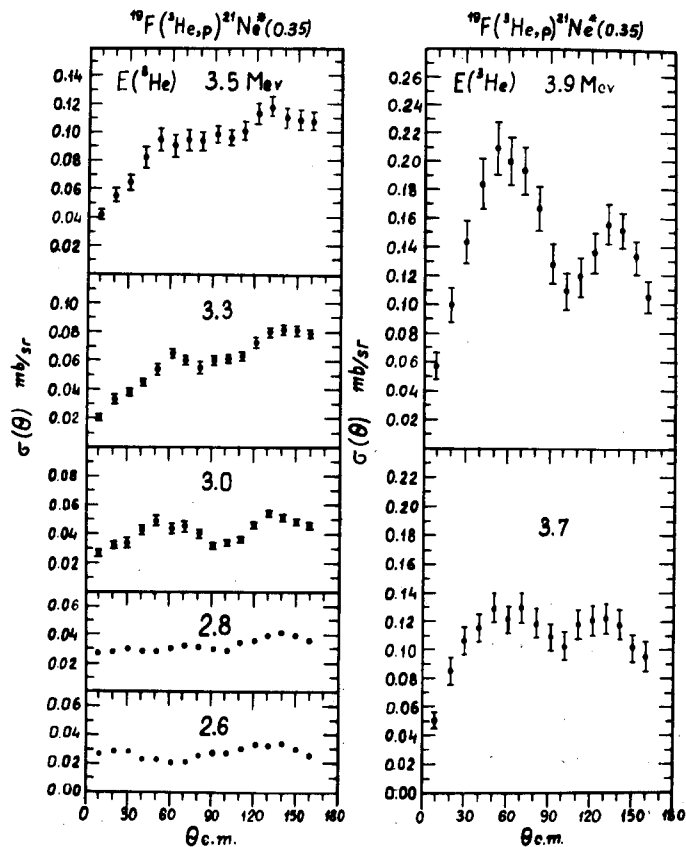


Рис. 5. Угловые распределения реакции $^{19}\text{F}(^3\text{He}, p)^{21}\text{Ne}^*$.

Эта симметрия дает указания на возможность анализа усредненных угловых распределений по статистической теории составного ядра Хаузера-Фешбаха^{6/}. Кроме того, при энергии налетающей частицы 2,8 МэВ энергия возбуждения составного ядра равна 21 МэВ. При такой энергии возбуждения среднее расстояние между уровнями компаунд-ядра со спином 0, подсчитанное по формуле Ньютона^{7/}, равно 1,7 кэВ. Поэтому усреднение по интервалу энергий в 400 кэВ может соответствовать статистическому подходу в описании реакций.

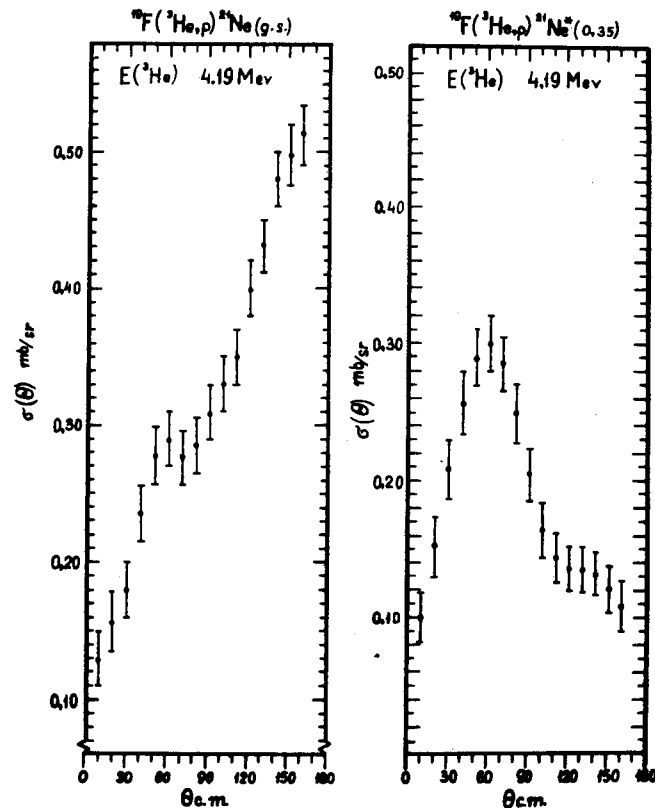


Рис. 6. Угловые распределения для реакций $^{19}\text{F}(^3\text{He}, p)^{21}\text{Ne}$ и $^{19}\text{F}(^3\text{He}, p)^{21}\text{Ne}^*$.

Расчеты усредненных дифференциальных сечений были сделаны на основании статистической теории Хаузера-Фешбаха в приближении, данном в работе^{8/}

$$\left\langle \frac{d\sigma^{aa'}}{d\Omega} \right\rangle = \frac{\chi^2}{4(2l+1)(2i'+1)} \sum_{J_s l_s l' l'} A_{cc}^{J\pi}(\theta) \frac{T_{ac}^J T_{a'c}^J}{\sum_{c'' J} T_{c''}^J},$$

где i - спин налетающей частицы; I - спин ядра мишени; T_{ac}^J - проникаемость; A_{cc} - геометрический фактор;

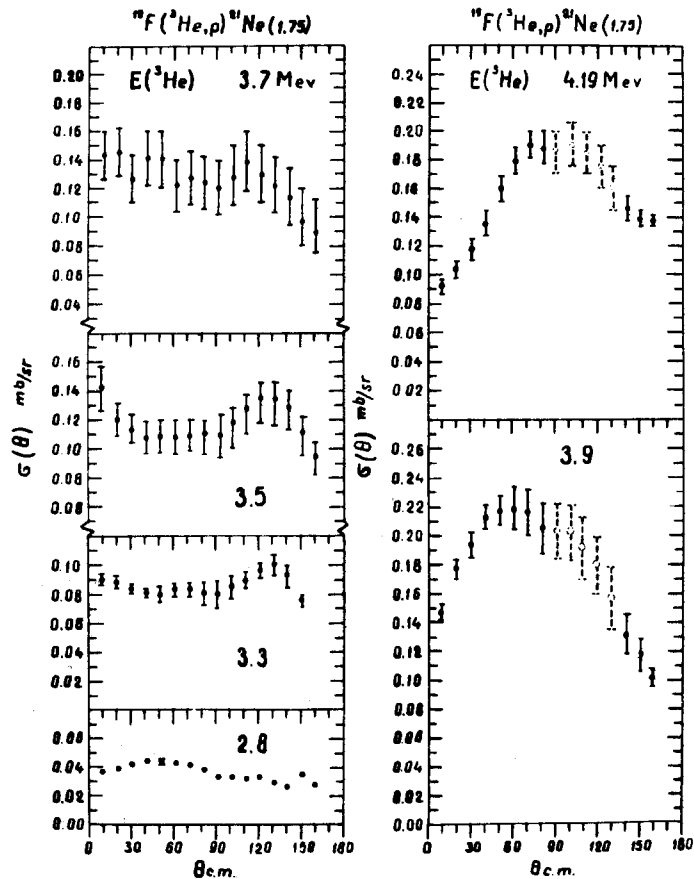


Рис. 7. Угловые распределения для реакции $^{19}\text{F}(^3\text{He}, p_2)^{21}\text{Ne}^*$.

aa' - индекс канала реакции, s - индекс состояния составного ядра, $\sum_{c''J} T_c^{Jc''}$ выражается следующим образом:

$$[2\pi\Gamma(2J+1)/D_0] \exp[-J(J+1)/2\sigma^2],$$

где Γ/D_0 - отношение средней полной ширины уровня к среднему расстоянию между уровнями со спином 0.

σ^2 - параметр спинового обрезания для составного ядра. Величины проницаемостей рассчитывались по оптической модели с потенциалом Вудс-Саксоновского типа. Параметры потенциалов были взяты из работы^{/2/} для входного канала, из работы^{/9/} - для выходного. Расчет проницаемостей проводился с использованием программы SCAT^{/12/} на ЭВМ CDC-1604A.

На рис. 8 сплошными линиями представлены результаты расчета, нормированные к экспериментальным данным при угле 90° . Наблюдается качественное согласие в форме экспериментальных и рассчитанных угловых распределений.

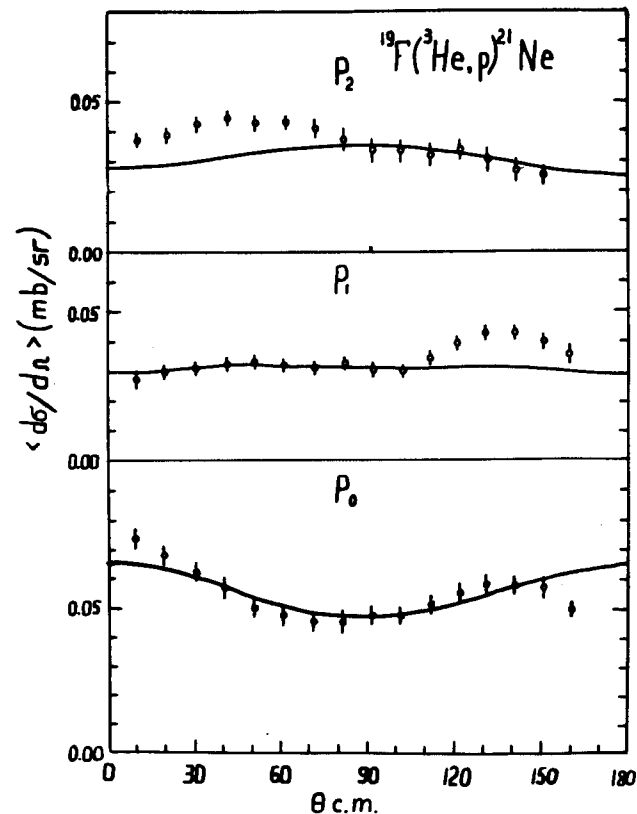


Рис. 8. Усредненные угловые распределения реакции $^{19}\text{F}(^3\text{He}, p)^{21}\text{Ne}$ и подгонка по теории Хаузера-Фешбаха.

Наилучшая подгонка по форме угловых распределений к экспериментальным угловым распределениям получена для σ^2 , равного 4,5. Трудно точно фиксировать его значение из-за неполного совпадения формы расчетного и измеренного угловых распределений. Данная величина σ^2 близка к $\sigma_0^2 = 5,5$, соответствующей моменту инерции твердого тела. Небольшая величина σ^2 может быть связана с малым набором значений J для уровней составного ядра, участвующих в реакции из-за ограничений по ℓ , налагаемых кулоновским и центробежным барьерами.

Значения Γ/D_0 , полученные в результате сравнения экспериментальных величин сечения и расчета по теории Хаузера-Фешбаха, представлены в табл. 2. На основании значений D_0 , рассчитанных по формулам Ньютона^{/7/} и Камерона^{/10,11/}, определялись значения средней ширины уровней составного ядра Γ .

Таблица 2

$E_{21}^*_{Ne}$ МэВ	I^π	Γ/D_0	Γ а/ кэВ	Γ в/ кэВ
0,00	3/2 ⁺	13,5	23,0	19
0,35	5/2 ⁺	23,5	40,0	33
1,75	7/2 ⁺	18	30,6	25,2

а - расчет по Камерону, б - по Ньютому.

Найденные средние ширины являются оценкой нижней границы их значений. Это связано с возможным вкладом в поперечное сечение других механизмов протекания реакций, отличных от рассчитываемого, и методом определения Γ .

При более высоких энергиях налетающих частиц ^3He в районе кулоновского барьера для групп P_0, P_1 и P_2 , по-видимому, играет более существенную роль прямой механизм и интерференционные явления. На это может указывать довольно большая асимметрия в угловых распределениях.

Результаты измерений и проведенный анализ показывают, что в области энергий ускоренных частиц ^3He до

3,0 МэВ реакция $^{19}\text{F}(^3\text{He}, p)^{21}\text{Ne}$ протекает преимущественно за счет механизма образования составного ядра. При энергиях $> 3,5$ МэВ характер взаимодействия становится более сложным и требует дополнительного детального изучения.

В заключение авторы выражают благодарность И.А.Чепурченко и группе эксплуатации ускорителя, Н.И.Линькову и В.Г.Заецу за помощь в проведении измерений.

Литература

1. M.Wayne Greene. *Phys.Rev.*, 176, 1205 (1968).
2. S.Hinds, R.Middleton. *Proc.Phys.Soc.*, 74, 779 (1959).
3. D.Pelte, B.Pown, *Nucl.Phys.*, 55, 322 (1964).
4. I.M.Matous, T.H.Herling, E.A.Wolicki. *Phys.Rev.*, 152, 908 (1966).
5. I.P.Schifer, T.W.Boner, R.H.Davis, F.W.Prokker. *Phys.Rev.*, 104, 1064 (1956).
6. H.Fechbach. "Nuclear Spectroscopy" Part B, p. 265.
7. T.W.Newton. *Can.Journ.Phys.*, 34, 804 (1956).
8. K.A.Ebenhard, P.Von Brentano, B.Böhning, R.O.Stephen. *Nucl. Phys.*, A125, 673 (1969).
9. F.G.Perrey. *Phys.Rev.*, 131, 745 (1963).
10. A.G.W.Cameron. *Can.Journ.Phys.*, 36, 1040 (1958).
11. A.Silbert, A.G.W.Cameron. *Can.Journ.Phys.*, 43, 1446 (1965).
12. W.R.Smith. *Computer Physics Communications*, 1, 106 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел
23 мая 1974 года.