

С343.8
К-553

ЯЯ, 1966, т. 3, в. 6, 22/xi-65
с. 1060-1063

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2386



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОМ ОМІКНІ

А.П. Кобзев, В.И. Салацкий, С.А. Тележников

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ
РЕАКЦИИ $D(t, \alpha)_n$
В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 115-1650 КЭВ

1965

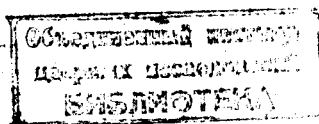
P-2386

2706/2 48

А.П. Кобзев, В.И. Салацкий, С.А. Тележников

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ
РЕАКЦИИ $D(t, a)_a$
В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 115-1650 КЭВ

Направлено в ЯФ



В в е д е н и е

Реакция взаимодействия ядер дейтерия и трития в диапазоне энергий ионов трития от 0,1 до 2,0 Мэв исследовалась многими авторами^{/1-7/}. Арго и др.^{/1/} с помощью счетчика, наполненного BF_3 , получили полные сечения реакции $\text{D}(t, n)\text{He}^4$ при энергиях ионов трития от 80 до 1200 кэв. Точность этих измерений была невысокой и, по оценке самих авторов, составляла 10%.

Коннер и др.^{/2/} исследовали эту реакцию при энергиях ионов дейтерия от 10 до 1732 кэв. В диапазоне энергий от 10 до 167 кэв сечение реакции измерялось по выходу α -частиц с помощью пропорционального счетчика. Точность измерений составляла около 3%. В диапазоне энергий от 134 до 496 кэв сечение реакции определялось по выходу нейтронов с помощью счетчика, наполненного BF_3 . Выше энергии 481 кэв сечение измерялось по выходу нейтронов при помощи фотоумножителя с кристаллом антрацена. Точность измерений авторами не приводится и, вероятно, не лучше 5%.

Арнольд и др.^{/3/} с помощью пропорционального счетчика определили сечение реакции $\text{T}(d, \alpha)n$ при энергиях ионов дейтерия от 13 до 120 кэв. Точность измерений при энергиях выше 53 кэв не хуже 3%.

Капауров и др.^{/4/} с помощью пропорционального счетчика определили сечение реакции $\text{T}(d, \alpha)n$ при энергиях ионов дейтерия от 48 до 734 кэв. Точность измерений в диапазоне энергий ионов дейтерия от 80 до 250 кэв составляла 3%, а в диапазоне энергий от 250 до 734 кэв - около 6%.

Бейм и Перри^{/5/} при помощи специальных телескопов с полиэтиленовыми радиаторами измерили сечение реакции $\text{T}(d, n)\text{He}^4$ в области энергий ионов дейтерия от 0,5 до 7,0 Мэв. Точность измерений 5%.

Хеммендингер и Арго^{/6/} с помощью пропорционального счетчика измерили сечение реакции $\text{D}(t, \alpha)n$ при энергии ионов трития 1,5 Мэв.

Аллен и Джарми^{/7/} при помощи магнитного спектрометра с двойной фокусировкой измерили сечение реакции $\text{D}(t, \alpha)n$ для энергий ионов трития 1,5 и 1,9 Мэв. Точность измерений 3%. Результаты отдельных работ (пересчитанные в дифференциальные

сечения реакции $D(t, \alpha)_{\text{п}}$ под углом 90° л.с.) и усредненная кривая, проведенная по ним, показаны на рис. 1. Для пересчета данных работ ^{/2/} и ^{/4/} были использованы угловые распределения, полученные в работах ^{/5/} и ^{/6/}. Значение дифференциального сечения при энергии 1500 кэв, обозначенное на рисунке крестом, получено по данным работы ^{/8/}, исправленным из-за неточного измерения тока ионов трития, падающих на мишень. Поправка взята из работы ^{/7/}.

Рассмотрение данных работ ^{/1-7/} показывает, что в то время, как до энергии ионов трития примерно 250 кэв можно провести усредненную кривую сечений реакции $D(t, \alpha)_{\text{п}}$ под углом 90° л.с. с точностью около 3%, при больших энергиях проведение такой кривой даже с точностью 5% становится недостаточно надежным. Это объясняется в основном тем, что в диапазоне энергий от 250 до 1500 кэв все измерения за исключением измерений Капура и др. ^{/4/} проделаны на нейтронах и поэтому имеют большие ошибки, чем при низких энергиях, где большинство измерений проделано на α -частицах с помощью пропорциональных счетчиков.

При исследованиях с помощью газовых мишеней взаимодействия ядер трития с ядрами других элементов часто возникает необходимость в проверке методики измерений. Большое сечение реакции $D(t, \alpha)_{\text{п}}$, монохроматичность α -частиц и доступность дейтерия позволяют быстро осуществить такую проверку. Точность проверки зависит от точности, с которой известны дифференциальные сечения реакции $D(t, \alpha)_{\text{п}}$. Желание получить сечения реакции $D(t, \alpha)_{\text{п}}$ при энергиях, больших 250 кэв, с точностью, с которой известны сечения при энергиях до 250 кэв, вызвало необходимость проведения настоящих экспериментов.

Э к с п е р и м е н т

Измерения проводились на электростатическом генераторе на 1,8 Мэв с использованием тонкой газовой мишени. Входное окно мишени заклеивалось слюдяной пленкой. В экспериментах использовались две мишени с толщиной пленки на входных окнах 0,16 мг/см² и 0,31 мг/см². Мишени наполнялись дейтерием с чистотой $(98 \pm 0,5)\%$. Давление газа в мишенях составляло от 40 до 80 мм рт.ст. и измерялось ртутным манометром.

Для регистрации α -частиц, вылетающих из мишени под углом 90° л.с., применялся детектор, изготовленный из кремния p -типа, компенсированный литием. Геометрия эксперимента была такова, что детектор "не видел" окошек мишени, через которые проходил пучок ионов трития. Импульсы от детектора усиливались специальным усилителем с низким уровнем шумов и подавались на 128-канальный амплитудный анализатор. Так как амплитудный анализатор имел разрешающее время около 150 микро-

секунд, для исследования просчетов анализатора с усилителя с низким уровнем шумов импульсы также подавались через второй усилитель и дискриминатор на пересчетный прибор типа "Флокс". Разрешающее время этой линии регистрации импульсов было примерно в двадцать раз меньше, чем анализатора. Исследование просчетов анализатора проделано в широком диапазоне загрузок. При измерении реакции $D(t, \alpha)_{\text{п}}$ загрузки, как правило, устанавливались такими, чтобы просчеты анализатора не превышали 5%, при этом точность определения просчетов была не хуже 0,5%.

Для контроля чистоты пучка ионов с массой три (T^+ , NH^+ , HD^+) при нескольких энергиях были измерены сечения реакции $D(t, \alpha)_{\text{п}}$ на пучке с массой шесть (TT^+). Заметного различия в сечениях не было обнаружено, поэтому чистота пучка принималась равной $(99,5 \pm 0,5)\%$, как было определено в работе ^{/8/}, выполненной на этом же усилителе.

Энергия ионов трития, падающих на мишень, определялась с помощью магнитного анализатора, прокалиброванного по резонансу при 1117 кэв из реакции $^{12}\text{C}(t, p_0)^{14}\text{C}$. Потери энергии в слюде взяты из работы ^{/9/}. Потери энергии в газе мишени взяты из работы ^{/10/}.

Для исследования уменьшения плотности газа мишени в области прохождения пучка ионов трития в результате местного нагрева были произведены измерения выхода реакции в зависимости от тока ионов трития. Оказалось, что при изменении тока ионов от 0,004 до 0,1 мка выход не меняется с точностью до экспериментальных ошибок (около 1%). Средний ток ионов трития, падающих на мишень при исследовании реакции, составлял около 0,02 мка, поэтому поправки на изменение плотности дейтерия в мишени от нагрева под пучком не вносились.

Величина уменьшения количества дейтерия в газе мишени из-за обмена его с другими изотопами водорода в зависимости от количества ионов трития, прошедших через мишень, была оценена путем сравнения выходов при одинаковых энергиях из свеженаполненной мишени и мишени, на которой была проделана самая длительная серия измерений без перенаполнения. В результате такого исследования определена поправка, максимальное значение которой было равно 4% после прохождения 800 мккулон ионного тока через мишень.

Градуировка интегратора ионного тока производилась неоднократно во время измерений сечений реакции при помощи калиброванной емкости, разряжаемой через интегратор тока. Проверка надежности градуировки интегратора тока была произведена сравнением показаний микроамперметра и интегратора тока, включенных последовательно.

Результаты

Дифференциальные сечения реакции $D(t, \alpha)_n$ под углом 90° л.с., полученные нами, приведены в таблице и на рис. 2.

Энергия взаимодействия ядер трития с ядрами дейтерия определена:

для энергий от 115 до 150 кэВ с точностью 2,5%,

для энергий от 150 до 1200 кэВ с точностью 2%,

для энергий от 1200 до 1650 кэВ с точностью 1,5%.

Максимум на кривой зависимости сечения от энергии получен при энергии ионов трития $(162,5 \pm 3)$ кэВ, что в пределах ошибок совпадает со значением $(161 \pm 1,5)$ кэВ, полученным как среднее из работ ^{1,2,4}. Различия в положении максимума при использовании мишеней с входной пленкой слюды $0,18 \text{ мг/см}^2$ и $0,31 \text{ мг/см}^2$ не наблюдалось.

Дифференциальные сечения реакции определены:

для энергий от 115 до 400 кэВ с точностью 2%,

для энергий от 400 до 800 кэВ с точностью 2,5%,

для энергий от 800 до 1500 кэВ с точностью 3%,

для энергий от 1500 до 1650 кэВ с точностью 3,5%.

Среднеквадратичные ошибки дифференциальных сечений складываются из:

а) ошибки в определении геометрии эксперимента, равной 0,9%;

б) ошибки определения числа ионов, падающих на мишень, равной примерно 1%;

в) ошибок определения числа атомов в одном см^3 газа мишени, составляющих величину от 0,7 до 1,5% в зависимости от давления газа в мишени;

г) ошибки определения чистоты дейтерия в мишени, равной 0,5%;

д) ошибки определения содержания ионов трития в пучке с массой три, равной 0,5%;

е) ошибок определения величины уменьшения количества дейтерия в газе мишени из-за изотопного обмена, изменяющихся от 0 до 2% в зависимости от количества ионов трития, прошедших через мишень;

ж) статистических ошибок числа регистрируемых α -частиц, изменяющихся от 0,5 до 2% в различных сериях измерений;

з) ошибки коэффициента просчетов, в большинстве случаев имеющей величину меньше 0,5%;

и) ошибок выделения на спектре пиков от α -частиц из реакции $D(t, \alpha)_n$, составляющих величину от 0,9 до 3% в зависимости от энергии и условий работы электростатического генератора.

Рассматривая приведенные в таблице отношения дифференциальных сечений реакции $D(t, \alpha)_n$, усредненных по опубликованным данным, к сечениям, полученным в настоящей работе, можно разбить полученные отношения на несколько групп в зависимости:

от энергии ионов трития. При энергиях от 115 до 300 кэВ сечения совпадают в пределах экспериментальных ошибок. Наибольшее расхождение в этой области, при 130 кэВ достигающее до 5%, обусловлено в основном плохой точностью определения энергии в этом диапазоне в наших экспериментах. При энергиях от 300 до 1450 кэВ отличие достигает 10%, а при энергиях от 1450 до 1650 кэВ сечения снова хорошо совпадают. Расхождение сечений в области энергий от 300 до 1450 кэВ обусловлено, вероятно, тем, что в этой области энергий большинство авторов ^{1,2,5} использовали методику регистрации нейтронов, которая нам представляется менее надежной. Это подтверждается тем, что в областях энергий, где другие авторы использовали методику регистрации α -частиц, результаты хорошо согласуются.

В заключение авторы выражают благодарность И.В. Сизову за участие в обсуждении полученных результатов, Н.И. Линькову за помощь в проведении измерений, а также группе обслуживания электростатического генератора в составе Е.С. Смирнова, М.В. Савенковой, Н.Н. Счетчикова.

Литература

1. H.V.Argo, R.F.Taschek, H.M.Agnew, A.Hemmendinger, W.T.Leland. Phys. Rev., 87, 612 (1952).
2. J.P.Conner, T.W.Bonner, J.R.Smith. Phys.Rev., 88, 468 (1952).
3. W.R.Arnold, J.A.Phillips, G.A.Sawyer, E.J.Stoval, J.L.Tuck. Phys. Rev., 93, 483 (1954).
4. Л.Н. Кацауров. В кн. Труды ФИАН, т.14, Изд-во АН СССР, 1962, стр. 224-262; Е.М. Балабанов, И.Я. Барит, Л.Н. Кацауров, И.М. Франк, И.В. Штрахн. Атомная энергия, приложение № 5 (1957), стр. 57.
5. S.J.Bame and J.E.Perry. Phys.Rev., 107, 1616 (1957).
6. A.Hemmendinger and H.V.Argo. Phys.Rev., 98, 70 (1955).
7. R.C.Allen and N.Jarmie. Phys.Rev., 111, 1129 (1958).
8. А.М. Говоров, Ли Га Ен, Г.М. Осетинский, В.И. Салацкий, И.В. Сизов. ЖЭТФ, 41, 703 (1961).
9. А.М. Говоров, Ли Га Ен, Г.М. Осетинский, В.И. Салацкий, И.В. Сизов. Препринт ОИЯИ, Р-725, Дубна, 1961.
10. S.K.Allison and S.D.Warshaw. Rev.Mod., Phys., 25, 779 (1953).

* Рукопись поступила в издательский отдел
4 октября 1965 г.

Дифференциальные сечения реакции $D(t, \alpha)_n$

под углом 90° л.с.

Отношение сечений, усредненных по результатам работ 1-7, к измеренным в настоящ. работе

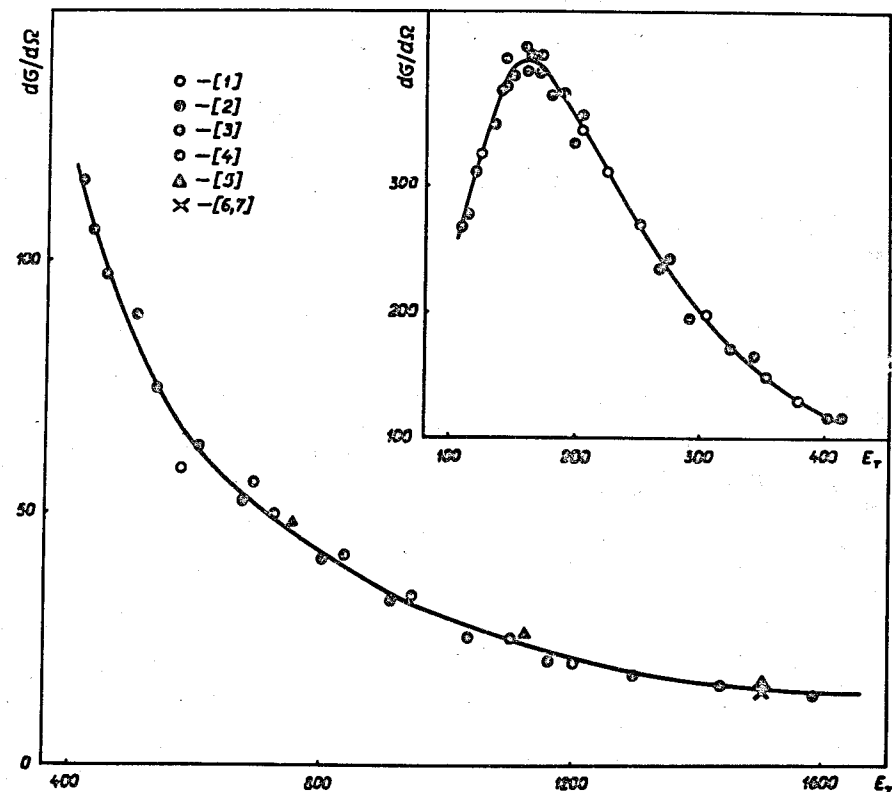
Энергия ионов трития, мбарн/стер. кэв

Дифференц. сечение, мбарн/стер.

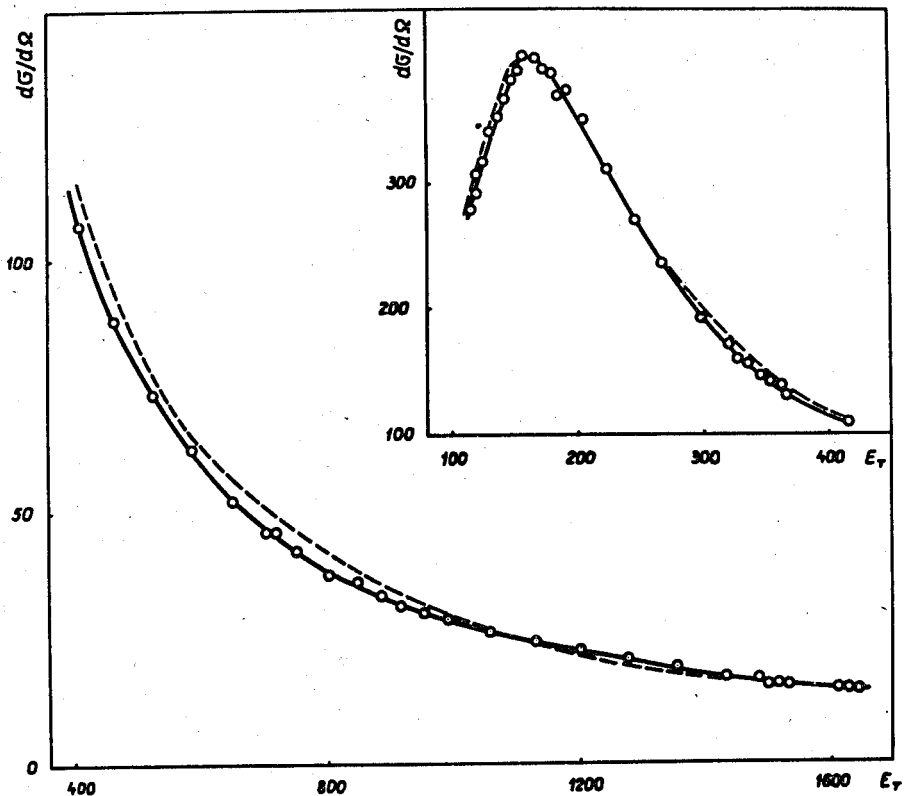
Отношение сечений, усредненных по результатам работ 1-7, к измеренным в настоящ. работе

Энергия ионов трития, мбарн/стер. кэв

I,03	560	67,5	I,03	115	282
I,04	580	64,3	I,02	120	301
I,05	600	61,0	I,02	130	335
I,04	620	57,9	I,03	140	363
I,02	640	54,9	I,05	150	388
I,00	660	52,3	I,06	160	400
0,99	680	49,8	I,08	165	400
I,00	700	47,5	I,09	170	396
I,00	720	45,3	I,10	180	384
I,00	740	43,4	I,11	190	368
I,00	760	41,6	I,11	200	352
I,01	780	40,0	I,10	210	334
I,01	800	38,5	I,11	220	316
I,00	820	37,3	I,10	230	300
I,00	840	36,1	I,09	240	283
I,00	860	34,9	I,09	250	267
I,00	880	33,7	I,08	260	252
I,00	900	32,7	I,07	270	236
I,00	920	31,8	I,06	280	220
I,01	940	30,8	I,06	290	205
I,03	960	29,9	I,06	300	191
I,06	980	29,1	I,05	310	178
I,07	1000	28,3	I,05	320	167
I,08	1040	26,8	I,04	330	158
I,08	1080	25,8	I,02	340	150
I,07	1100	25,2	I,01	350	143
I,07	1140	24,1	0,99	360	136
I,05	1180	23,1	0,97	370	131
I,04	1200	22,6	0,96	380	125
I,03	1240	21,6	0,95	390	120
I,04	1260	21,0	0,94	400	115
I,05	1300	20,1	0,93	410	110
I,06	1350	19,0	0,93	420	105
I,07	1400	18,0	0,94	440	96
I,07	1450	17,0	0,96	460	90
I,07	1500	16,2	0,99	480	84
I,06	1550	15,4	I,01	500	79
I,05	1600	14,9	I,02	520	75
I,04	1650	14,2	I,03	540	71



Р и с. 1. Зависимость дифференциального сечения реакции $D(t, \alpha)_n$ от энергии ионов трития.
 1 - данные Арго и др.; 2 - данные Коннера и др.;
 3 - данные Арнольда и др., 4 - данные Кацаурова и др.;
 5 - данные Бейма и Перри; 6 - данные Хеммендингера и Арго; 7 - данные Аллена и Джарми.



Р и с. 2. Дифференциальные сечения реакции $D(t, \alpha)\pi$ под углом 90° л.с., полученные в настоящей работе. Пунктирная линия - сечения, усредненные по данным работ /1-7/.