

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



15/x1-76

M-198

15 - 9986

4575 / 2-76

К.Малушиньска, К.Недведюк, В.И.Салацкий, И.Хальбек

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ${}^9\text{Be} (t, n) {}^{11}\text{B}$
В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ ИОНОВ ТРИТИЯ
1,1 - 1,7 МЭВ

1976

15 - 9986

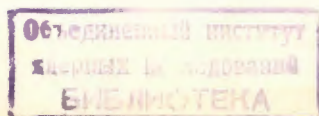
К.Малушиньска,¹ К.Недведюк,² В.И.Салацкий, И.Хальвек²

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ${}^9\text{Be} (t, n) {}^{11}\text{B}$
В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ ИОНОВ ТРИТИЯ
1,1 - 1,7 МЭВ

Направлено в "Acta Physica Polonica"

¹ Педагогический институт, г.Кельце, ПНР.

² Институт физики Лодзинского университета, ПНР.



Введение

Настоящая работа является продолжением исследований ядерных реакций трития с бериллием при энергии тритонов до 2 МэВ.

Исследование реакций тритонов с изотопами легких элементов при низких энергиях представляет значительный интерес. До сих пор остается неясным, почему в реакциях на одних ядрах четко проявляются эффекты, связанные с составным ядром /пики на кривых выхода и резкое изменение формы угловых распределений вылетающих частиц с энергией/, а в реакциях на других ядрах, отличающихся от первых на один или два нуклона, таких эффектов не обнаружено. Кроме того, даже при исследовании непосредственно реакции ${}^9\text{Be}(t, n){}^{11}\text{B}$ при низких энергиях в различных работах получены существенно различающиеся результаты. В работе Вальтера и др. ^{/1/} на кривой выхода этой реакции обнаружены максимумы, а в работе Серова и Гужовского ^{/2/} они не обнаружены. В литературе нет сведений об угловых распределениях нейтронов, соответствующих переходам на различные уровни конечного ядра ${}^{11}\text{B}$ /рис. 1/.

Таким образом, вопрос о существовании резонансов в реакции ${}^9\text{Be}(t, n){}^{11}\text{B}$ и соответствующих им составный составного ядра ${}^{12}\text{B}$, приведенных в работе ^{/1/}, так же, как и вопрос о механизме этой реакции, остаются открытыми.

С целью получения дополнительной информации о характеристиках рассматриваемой реакции нами предпринято исследование угловых распределений отдельных групп нейтронов при нескольких энергиях тритонов от 1,1 до 1,7 МэВ. Предварительные результаты измерений для наиболее низкой энергии были приведены в работе ^{/3/}.

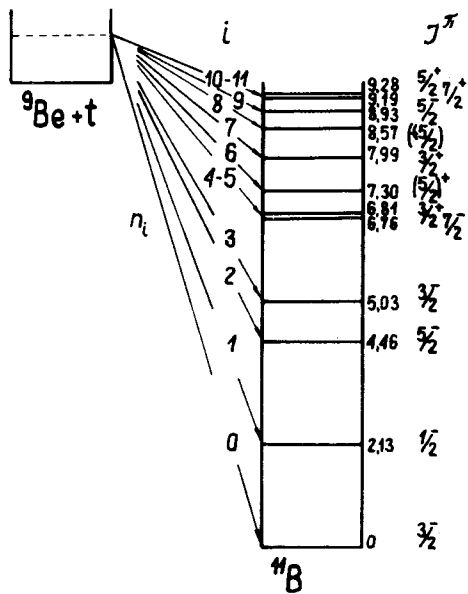


Рис. 1. Схема уровней ядра ^{11}B .

Эксперимент

Тонкая бериллиевая мишень без подложки диаметром 8 мм бомбардировалась тритонами, ускоренными электростатическим генератором ЭГ-2 Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ. Количество ядер бериллия на квадратный сантиметр мишени $n_{\text{Be}} = (1,2 \pm 0,1) \cdot 10^{18}$ определено по выходу α -частиц из реакции $^9\text{Be}(t, \alpha)$ и известного сечения этой реакции $^4/$. Число падающих на мишень тритонов определялось по ионному току, измеряемому с помощью интегратора тока.

Спектры нейтронов из реакции $^9\text{Be}(t, n)$ измерялись с помощью ядерных фотоэмульсий типа Я-2 размером 20x40 мм и толщиной 250 и 400 мкм. Эмульсии, завернутые в черную бумагу, устанавливались на алюминевом кольце вокруг мишени под 10 фиксированными

углами /через каждые 18° начиная от 0°/. Расстояние между эмульсиями и мишенью составляло 75 мм. Угол между направлением вылета нейтронов из мишени и поверхностью эмульсии в среднем составлял $\sim 3^\circ$. Для получения спектров нейтронов измерялись треки протонов отдачи в эмульсии, лежащие в пирамиде с половинным углом при вершине 10° . Измерение треков выполнено в Институте физики Лодзинского университета, ПНР. Всего было измерено 100 000 треков.

Результаты

Угловые распределения нейтронов измерены при энергиях тритонов 1,10; 1,30; 1,51 и 1,70 МэВ. Один из 40 полученных спектров нейтронов показан на рис. 2.

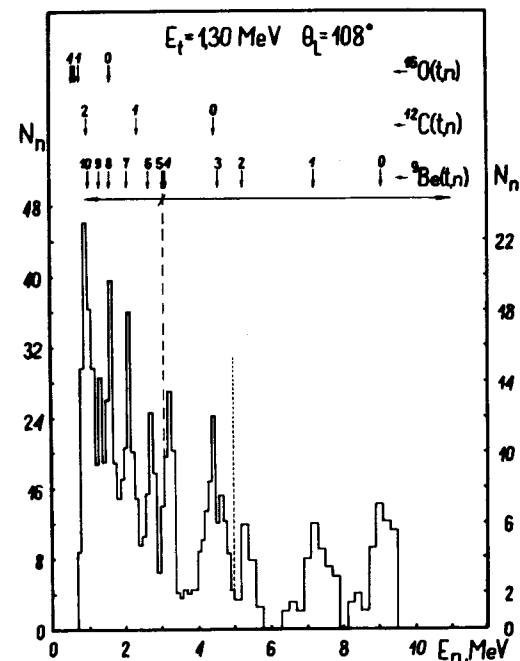


Рис. 2. Спектр нейтронов, полученный с помощью фотоэмульсии.

Отдельные группы нейтронов n_0, n_1, n_2, n_6 и n_8 соответствуют переходам в основное состояние и на 1,2, 6,8 уровни конечного ядра ^{11}B /рис. 1/. Группы n_4 и n_5 из-за близкого расположения соответствующих уровней ^{11}B не разделяются. Группы n_3 и n_7 при всех углах и энергиях тритонов перекрываются с группами n_0 и n_1 из реакции $^{12}\text{C}(t, n)$. Вклад от этих групп может быть большим из-за загрязнения мишени углеродом. Нейтронная группа n_9 в большинстве случаев перекрывается с группами n_1, n_2, n_3 и n_4 из реакции $^{16}\text{O}(t, n)$. Для энергий нейтронов выше 3 МэВ просмотрен объем эмульсии примерно на 30% больший, чем для остальных энергий.

Угловые распределения нейтронов показаны на рис. 3-6. В ошибки дифференциальных и полных сечений /в таблице/ не включена ошибка нормировки сечения, составляющая ~30%.

Значения дифференциальных сечений вычислены по формуле

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{n_t n_{\text{Be}}} \frac{d\psi}{d\omega},$$

где: n_t - число тритонов бомбардирующих мишень, n_{Be} - количество ядер бериллия на квадратный сантиметр мишени, $d\psi/d\omega$ - поток нейтронов, измеряемый с помощью ядерной эмульсии, формула для вычисления которого взята из работы /5/.

Сплошные линии на рисунках - результат подгонки на ЭВМ экспериментальных данных с помощью линейной комбинации полиномов Лежандра. Коэффициенты разложения по полиномам приведены в таблице. Там же и на рис. 7 показаны полные сечения для отдельных групп нейтронов, полученные интегрированием угловых распределений.

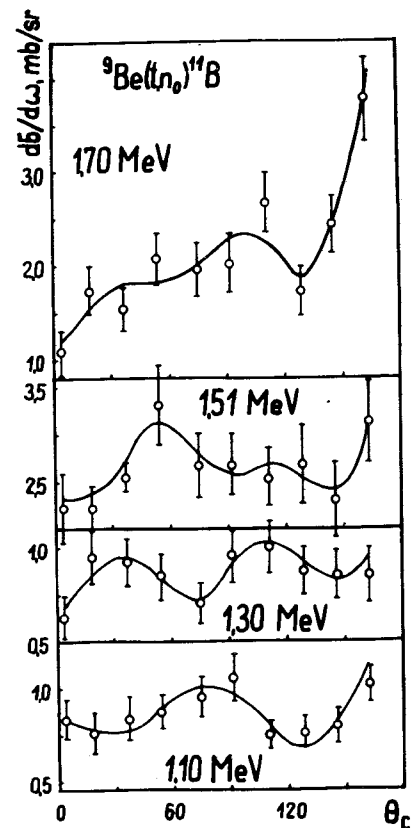


Рис. 3. Угловые распределения нейтронов из реакции $^9\text{Be}(t, n_0)^{11}\text{B}$.

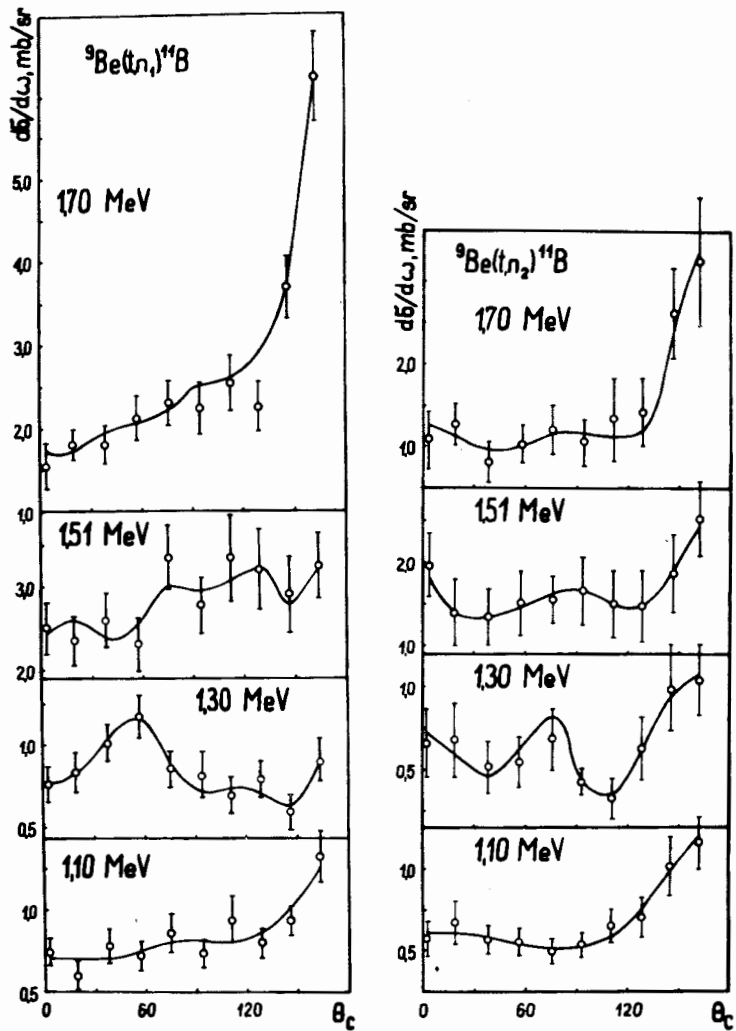


Рис. 4. Угловые распределения нейтронов из реакций ${}^9\text{Be}(t, n_1){}^{11}\text{B}$ и ${}^9\text{Be}(t, n_2){}^{11}\text{B}$.

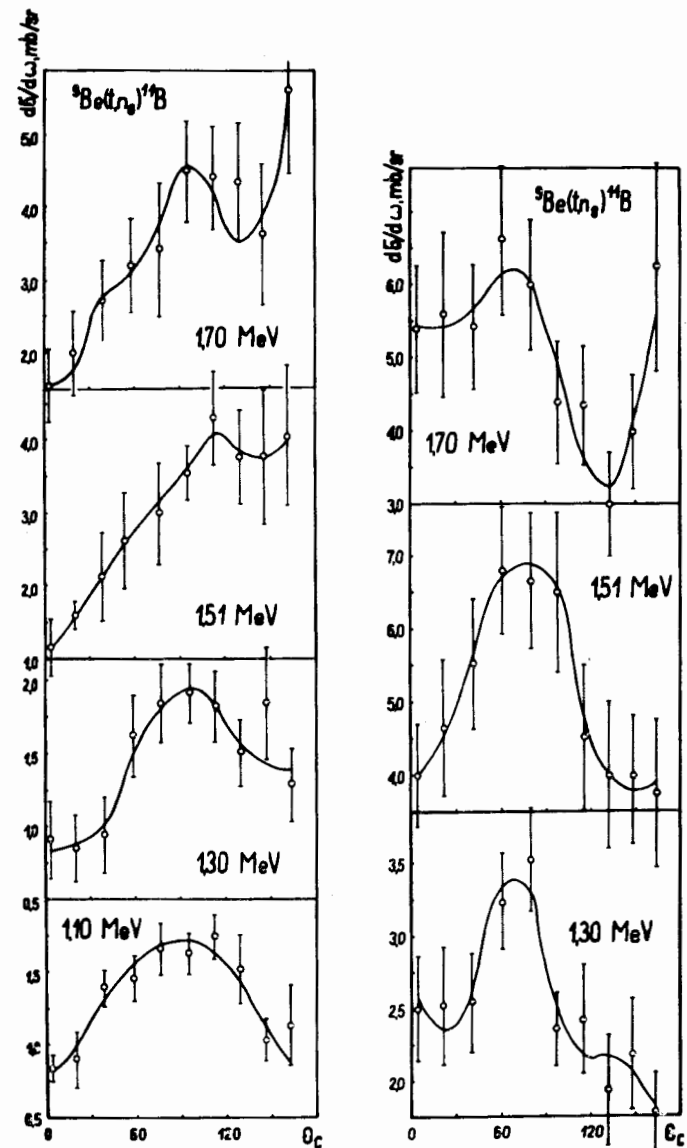


Рис. 5. Угловые распределения нейтронов из реакций ${}^9\text{Be}(t, n_6){}^{11}\text{B}$ и ${}^9\text{Be}(t, n_8){}^{11}\text{B}$.

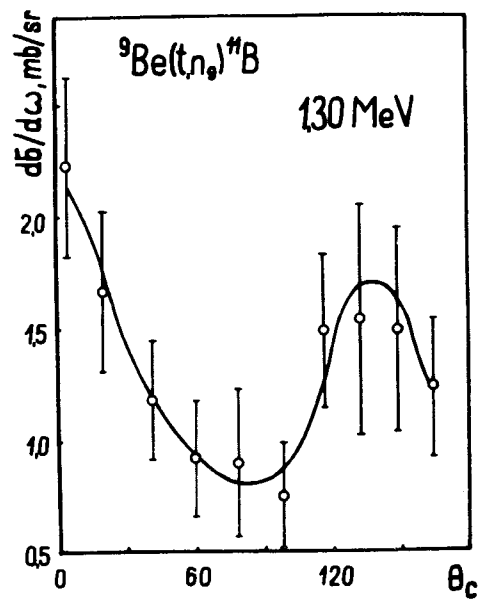


Рис. 6. Угловые распределения нейтронов из реакции ${}^9\text{Be}(t, n){}^{11}\text{B}$.

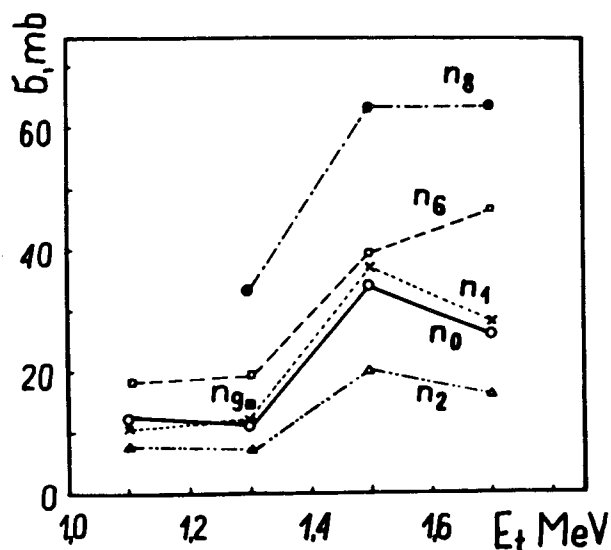


Рис. 7. Полные сечения реакций ${}^9\text{Be}(t, n){}^{11}\text{B}$.

Таблица

Полные сечения и коэффициенты разложения по полиномам Лежандра угловых распределений нейтронов

E_t, MeV	$\sigma, \text{мбэри}$	$a_0 \cdot 10^5$	$a_1 \cdot 10^5$	$a_2 \cdot 10^5$	$a_3 \cdot 10^5$	$a_4 \cdot 10^5$	$a_5 \cdot 10^5$
I, 10	11,10	3670	-50	-220	-990	1000	
$\pm 0,47$	± 160	± 220	± 310	± 370			
n_0 I, 30	11,01	3423	-247	53	508	-138	-974
$\pm 0,57$	± 177	± 258	± 355	± 411	± 441	± 474	
I, 51	33,92	3964	143	-101	-790	-124	-448
$\pm 1,64$	± 191	± 295	± 364	± 466	± 523	± 537	
I, 70	26,24	3361	-866	201	-790	993	-1000
$\pm 1,28$	± 164	± 245	± 340	± 406	± 432	± 484	
I, 10	10,45	3450	-680	410	-740	500	
$\pm 0,47$	± 160	± 240	± 320	± 380	± 390		
n_1 I, 30	11,88	3354	728	109	-829	-498	-580
$\pm 0,54$	± 165	± 239	± 327	± 390	± 462	± 435	
I, 51	36,91	4313	-640	-340	100	336	194
$\pm 1,74$	± 203	± 308	± 381	± 495	± 521	± 640	
I, 70	26,35	3631	-468	-574	478	-965	1609
$\pm 1,35$	± 173	± 273	± 373	± 444	± 506	± 558	
I, 10	7,76	2560	-950	1270	-320	-40	
$\pm 0,47$	± 160	± 270	± 330	± 380	± 400		
n_2 I, 30	7,36	2289	-414	1022	-1128	202	894
$\pm 0,68$	± 213	± 381	± 405	± 533	± 548	± 681	
I, 51	20,12	2351	-351	343	-381	722	
$\pm 1,65$	± 193	± 299	± 381	± 432	± 474		
I, 70	17,00	2178	1167	1160	-935	747	
$\pm 1,52$	± 195	± 340	± 435	± 549	± 504		
I, 10	18,72	6810	140	-2260	20	-510	
$\pm 0,84$	± 280	± 420	± 660	± 720	± 690		
n_3 I, 30	19,86	6176	-954	-2421	-131	602	
$\pm 1,10$	± 344	± 540	± 646	± 742	± 818		
I, 51	39,05	4563	-1525	-885	123	59	-616
$\pm 2,66$	± 311	± 508	± 588	± 797	± 789	± 826	
I, 70	46,28	5927	-1667	-1061	-542	1454	-1789
$\pm 3,74$	± 479	± 600	± 886	± 1150	± 1446	± 1299	
I, 30	32,79	10196	2139	-2263	-2430	-261	2129
$\pm 1,45$	± 453	± 723	± 885	± 1073	± 1174	± 1302	
n_4 I, 51	64,23	7494	1584	-2428	-1604	424	
$\pm 4,29$	± 461	± 667	± 923	± 947	± 1084		
I, 70	63,20	8094	2090	-323	-2777	1690	
$\pm 3,91$	± 501	± 761	± 990	± 1148	± 1234		
n_5 I, 30	14,78	4599	-619	2305	1709	-856	1258
$\pm 1,43$	± 422	± 740	± 824	± 1024	± 1159	± 1254	

Заключение

Из рассмотрения угловых распределений нейтронов, имеющих сложную и быстро меняющуюся с энергией форму, и кривых полных сечений можно сделать вывод о том, что механизм реакции ${}^9\text{Be}(t, n)$ при энергии до 2 МэВ имеет сложный характер, вклады в него вносят как механизм прямых реакций, так и механизм составного ядра. Этот вывод подтверждает результаты работы ^{1/}, в которой на кривой выхода исследуемой реакции обнаружены максимумы, и противоречит измерениям работы ^{2/}, в которой такие максимумы не были обнаружены.

Авторы выражают благодарность Л.П.Писаревой, К.Карпик, М.И.Кривоустову за помощь в работе и И.В.Сизову за проявленное внимание к работе.

Литература

1. А.К.Вальтер и др. Украинский физический журнал, 6, 457 /1961/.
2. В.И.Серов, Б.Я.Гужовский. АЭ, 12, 5 /1962/.
3. К.Малушиньска и др. Сообщения ОИЯИ, Р15-5148, Дубна, 1970.
4. G.Weber et al. Phys.Rev., 104, 1307 (1956).
5. R.Braun et al. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Lodzkiego, Seria II, 45, 1 (1971).

*Рукопись поступила в издательский отдел
22 июля 1976 года.*