

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

INVESTIGATION OF ${}^9\text{Be}(t, n){}^{11}\text{B}$ REACTION FOR TRITIUM IONS IN THE ENERGY RANGE 1.1 — 1.7 MeV

К. Малушиньска*, К. Недведюк**, В. И. Салацкий, И. Хольвек**

Лаборатория нейтронной физики, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна***

(Поступила в редакцию 20 августа 1976)

Measurements of neutron spectra and of angular distributions of several neutron groups in the reaction ${}^9\text{Be}(t, n){}^{11}\text{B}$ are reported. Energies of tritium ions were 1.10, 1.30, and 1.70 MeV. Neutrons were registered by means of nuclear emulsion. It was found that in the investigated energy region the mechanism of compound nucleus plays a significant role.

1. Введение

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

Исследование при низких энергиях реакций тритонов с изотопами легких элементов 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 отличающиеся 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).

* Address: Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Leśna 16, 25-509 Kielce, Poland.

** Address: Instytut Fizyki, Uniwersytet Łódzki, Narutowicza 68, 90-136 Łódź, Poland.

*** Address: Joint Institute for Nuclear Research, Head Post Office, P. O. Box 79, Moscow, USSR.

Таким образом, вопрос о существовании резонансов в реакции ${}^9\text{Be}(t, n){}^{11}\text{B}$ и соответствующих им состояний составного ядра ${}^{12}\text{B}$, приведенных в работе [1], а также вопрос о механизме этой реакции, остается открытым.

С целью получения дополнительной информации о характеристиках рассматриваемой реакции нами предпринято исследование угловых распределений отдельных

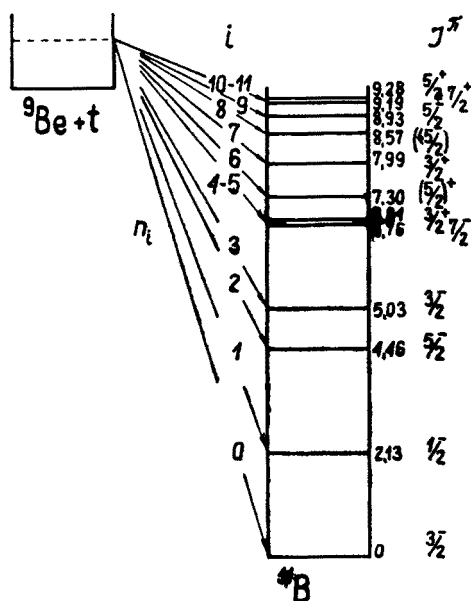


Рис. 1. Схема уровней ядра ${}^{12}\text{B}$

трупи нейтронов при нескольких энергиях тритонов от 1,1 до 1,7 МэВ. Предварительные результаты измерений для наиболее низкой энергии были приведены в работе [3].

2. 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 20×40 мм толщиной 250 мкм и 400 мкм. Эмульсии завернутые в черную бумагу устанавливались на алюминиевом 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 около 3° . 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. Около 100000 треков было измерено.

3. 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. Отдельные группы нейтронов n_0 , n_1 , n_2 , n_6 и n_8 соответствуют переходам в основное

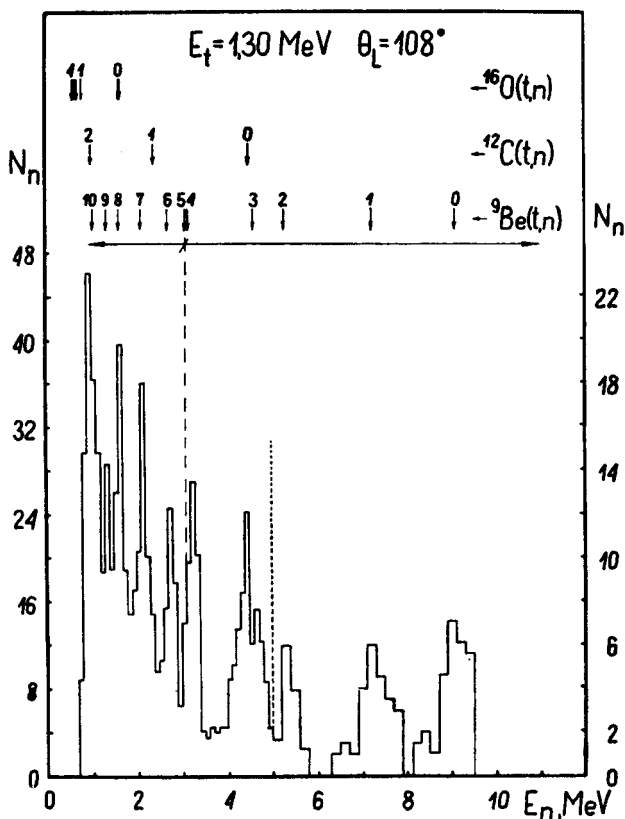


Рис. 2. Спектр нейтронов, полученный с помощью фотоэмульсии

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 перекрываются

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.

Угловые распределения нейтронов показаны на рисунках 3—6. В ошибки дифференциальных и полных сечений (в таблице) не включена ошибка нормировки сечения, составляющая около 30%.

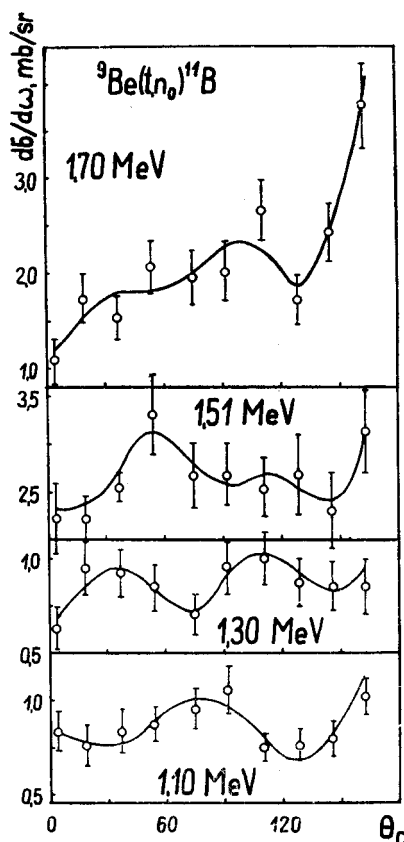


Рис. 3

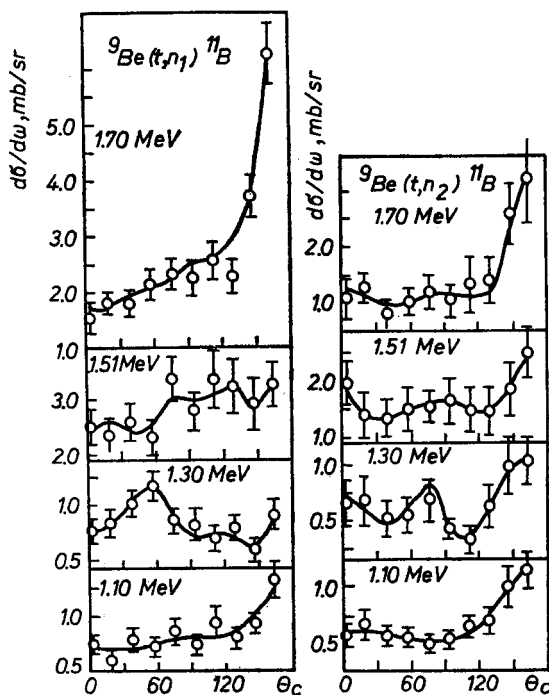


Рис. 4

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 $^9\text{Be}(t, n_2)^{11}\text{B}$

Значения дифференциальных сечений вычислены по формуле

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

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

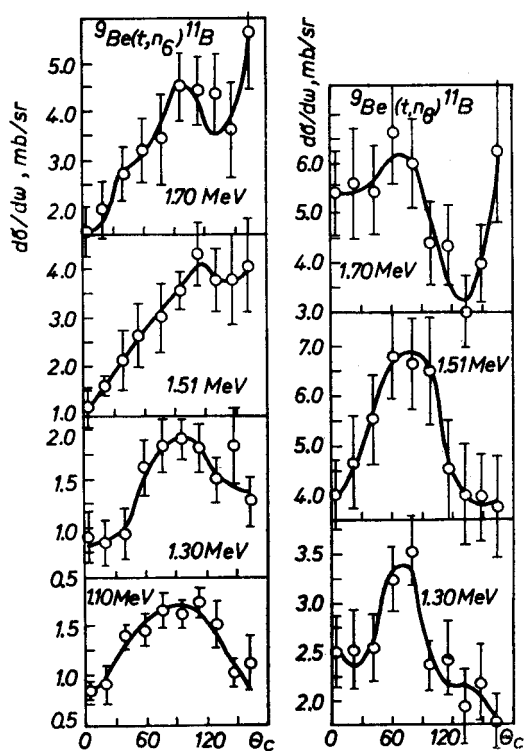


Рис. 5. Угловые распределения нейтронов из реакций ${}^9\text{Be}(t, n_6){}^{11}\text{B}$ и ${}^9\text{Be}(t, n_8){}^{11}\text{B}$

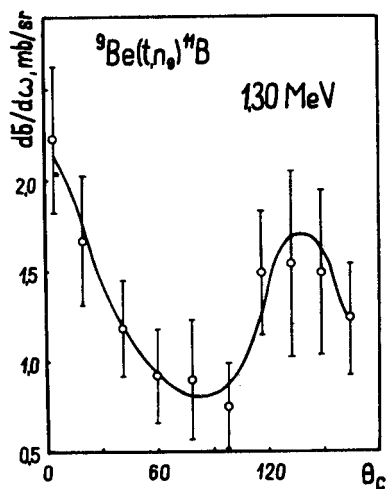


Рис. 6. Угловые распределения нейтронов из реакции ${}^9\text{Be}(t, n_9){}^{11}\text{B}$

ТАБЛИЦА I

Полные сечения и коэффициенты разложения по полиномам Лежандре угловых распределений нейтронов

	E_t , МэВ	σ , Мбарн	$a_0 \times 10^5$	$a_1 \times 10^5$	$a_2 \times 10^5$	$a_3 \times 10^5$	$a_4 \times 10^5$	$a_5 \times 10^5$
n_0	1,10	11,10 $\pm 0,47$	3670 ± 160	-50 ± 220	-220 ± 320	-990 ± 310	1000 ± 370	
	1,30	11,01 $\pm 0,57$	3423 ± 177	-247 ± 258	53 ± 355	508 ± 411	-138 ± 441	-974 ± 474
	1,51	33,92 $\pm 1,64$	3964 ± 191	143 ± 295	-101 ± 364	-790 ± 466	-124 ± 523	-448 ± 537
	1,70	26,24 $\pm 1,28$	3361 ± 164	-866 ± 245	201 ± 340	-790 ± 406	993 ± 432	-1000 ± 454
n_1	1,10	10,45 $\pm 0,47$	3450 ± 160	-680 ± 240	410 ± 320	-740 ± 380	500 ± 390	
	1,30	11,88 $\pm 0,54$	3354 ± 165	728 ± 239	109 ± 327	-829 ± 390	-498 ± 462	-580 ± 435
	1,51	36,91 $\pm 1,74$	4313 ± 203	-640 ± 308	-340 ± 381	100 ± 495	336 ± 521	194 ± 640
	1,70	28,35 $\pm 1,35$	3631 ± 173	-468 ± 273	-574 ± 373	478 ± 444	-965 ± 506	1609 ± 558
n_2	1,10	7,76 $\pm 0,47$	2560 ± 160	-950 ± 270	1270 ± 330	-320 ± 380	-40 ± 400	
	1,30	7,36 $\pm 0,68$	2289 ± 213	-414 ± 381	1022 ± 405	-1128 ± 533	202 ± 548	894 ± 681
	1,51	20,12 $\pm 1,65$	2351 ± 193	-351 ± 299	343 ± 381	-381 ± 432	722 ± 474	
	1,70	17,00 $\pm 1,52$	2178 ± 195	1167 ± 340	1160 ± 435	-935 ± 549	474 ± 504	
n_6	1,10	18,72 $\pm 0,84$	6810 ± 280	140 ± 420	-2260 ± 550	20 ± 720	-510 ± 690	
	1,30	19,86 $\pm 1,10$	6176 ± 344	-954 ± 540	-2421 ± 646	-131 ± 742	602 ± 818	
	1,51	39,05 $\pm 2,66$	4563 ± 311	-1525 ± 508	-885 ± 588	123 ± 797	59 ± 789	-616 ± 826
	1,70	46,28 $\pm 3,74$	5927 ± 479	-1667 ± 800	-1061 ± 886	-542 ± 1150	1454 ± 1446	-1789 ± 1299
n_8	1,30	32,79 $\pm 1,45$	10196 ± 453	2139 ± 723	-2263 ± 885	-2430 ± 1073	-261 ± 1174	2129 ± 1302
	1,51	64,23 $\pm 4,29$	7494 ± 461	1584 ± 667	-2428 ± 923	-1604 ± 947	424 ± 1084	
	1,70	63,20 $\pm 3,91$	8094 ± 501	2090 ± 761	-323 ± 990	-2777 ± 1148	1690 ± 1234	
n_9	1,30	14,78 $\pm 1,43$	4599 ± 422	-619 ± 740	2305 ± 824	1709 ± 1024	-858 ± 1159	1258 ± 1254

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.

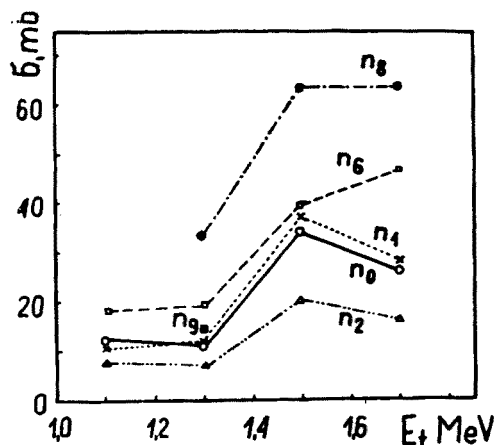


Рис. 7. Полные сечения реакций ${}^9\text{Be}(t, n){}^{11}\text{B}$

4. Заключение

Из рассмотрения угловых распределений нейтронов, имеющих сложную и быстро меняющуюся с энергией форму, и кривых полных сечений можно сделать вывод, что механизм реакции ${}^9\text{Be}(t, n)$ при энергии до 2 МэВ имеет сложный характер, вклады в который 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, *Атомная энергия* **12**, 5 (1962).
- [3] К. Малущиньска и др., *Сообщения ОИЯИ*, P15-5148, Дубна 1970.
- [4] G. Weber et al., *Phys. Rev.* **104**, 1307 (1956).
- [5] R. Braun et al., *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Łódzkiego, Seria II*, **45**, 1 (1971).