

## ИЗМЕРЕНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ ФОТОНЕЙТРОННЫХ РЕАКЦИЙ

Зависимость поперечного сечения фотоядерных реакций от энергии возбуждения является весьма существенной для понимания механизма взаимодействия  $\gamma$ -квантов с ядрами. Обычный способ измерения кривых возбуждения методом наведённой активности оказывается неприменимым, если конечный продукт реакции является стабильным или обладает очень большим временем жизни. В таких случаях приходится прибегать к регистрации самих вылетающих частиц.

В реферируемой ниже работе<sup>1</sup> исследуется выход фотонейтронов из 22 элементов, облучаемых  $\gamma$ -спектром от бетатрона с максимальной энергией ( $E$ ) 23 Мэв. При этом одновременно исследуется сумма ( $\gamma n$ )-, ( $\gamma 2n$ )- и ( $\gamma pr$ )-реакций. Нейтроны детектируются посредством счётчика BF<sub>3</sub>.

Основные данные фотоядерных реакций

Элемент	Полуширина (Мэв)		$E_m$ (Мэв)	$\sigma_m$ ( $10^{-24}$ см <sup>2</sup> )	Интегральное поперечное сечение (Мэв $\times 10^{-24}$ см <sup>2</sup> )				Литература
	$\gamma n$	суммарная			$\gamma n$	$\gamma p$	$\gamma 2n$	$\gamma n + \frac{\gamma np}{2} + \gamma 2p$	
Be <sup>9</sup>	4,7		22,2	0,0027		0,011			2
C		2,0	21,4	0,014	0,029				1
C <sup>12</sup>	2,8		22,9	0,013	0,046				3
C		1,7 ( $\gamma p$ )	21,5	0,034		0,063			4
N <sup>14</sup>			24,2	0,0028	0,015 *)				5
O			21,9	0,0089	0,019 *)				1
O <sup>16</sup>			24,2	0,011	0,031 *)				5
F <sup>19</sup>	~13		~20	0,0035	0,076		0,005		6
Na		6,0 ( $\gamma p$ )	18,3	0,013				0,081	1
Mg		3,9 ( $\gamma p$ )	18,8	0,011				0,048	1
Mg <sup>24</sup>	5,8		19,4	0,0098	0,057				
Mg <sup>25+26</sup>		~4,2	17,8	~0,016	~0,065				1
Mg <sup>25</sup>	6,0 ( $\gamma p$ )		21,7	0,015		0,10			7
Mg <sup>26</sup>	3,3 ( $\gamma p$ )		22,6	0,019		0,085			7
Al		4,0	19,7	0,023					1
Al <sup>27</sup>	4,7		19,2	0,008	0,045				7
Al		5,4 ( $\gamma p$ )	21,2	0,022		0,12			4
Si <sup>28</sup>	3,5		20,9	0,021	0,070				8
P		5,7	20,5	0,029	0,14		0,034 ( $\gamma np$ )	0,17	1
P <sup>31</sup>	6,5		19,5	0,017	0,13				9
P <sup>31</sup>			20	0,017	0,099		0,047 ( $\gamma np$ )	0,15	10
S		5,2	19,8	0,013				0,075	1

\*) Интегральное поперечное сечение до максимума кривой.

Продолжение

Элемент	Полуширина (Мэв)		$E_m$ (Мэв)	$\sigma_m$ ( $10^{-24}$ см <sup>2</sup> )	Интегральное поперечное сечение (Мэв $\times 10^{-24}$ см <sup>2</sup> )				Литература
	$\gamma_n$	суммарная			$\gamma_n$	$\gamma_p$	$\gamma_{2n}$	$\gamma_n + \gamma_{np} +$ $+ 2(\gamma_{2n})$	
S <sup>32</sup>	4,5		20,1	0,015	0,069			8	
S <sup>32</sup>	1,0 ( $\gamma_d$ )		25,6	0,006			0,016 ( $\gamma_d$ )	9, 11	
S <sup>34</sup>	4		~17	~0,060			~0,20	1	
Ca <sup>40</sup>	4,2		19,3	0,015	0,065			8	
Mn		>8	~19	0,10			~0,46 *)	1	
Fe		6,1	18,0	0,075			0,47	1	
Fe <sup>54</sup>	6,3		18,7	0,067	0,48			3	
Ni <sup>58</sup>	5,6		18,5	0,054	0,34			3	
Ni		5,4 ( $\gamma_p$ )	18,7	0,058		0,32		4	
Co		5,4	16,9	0,13			0,75	1	
Co		5,7 ( $\gamma_p$ )	21,5	0,024		0,14		4	
Cu		7,1	19,5	0,12			0,87	1	
Cu <sup>63</sup>	6,1		18,1	0,10	0,66			3	
Cu <sup>65</sup>	7,0		18,6	0,15	1,11			3	
Zn <sup>64</sup>	7,9		18,7	0,12	0,99			3	
As	~6,2	9,4	17	0,093	0,76		0,11	0,98	
Br <sup>80</sup>	8,0		18,0	0,13	1,08			12	
Rb <sup>87</sup>	6,0		17,5	0,23	1,68			13	
Zr <sup>90</sup>	5,7		18,0	0,27	1,67			13	
Mo		6,1	15,7				1,62	1	
Mo <sup>92</sup>	6,0		18,7	0,14	0,85			13	
Nb		6,1	17,3	0,26			1,71	1	

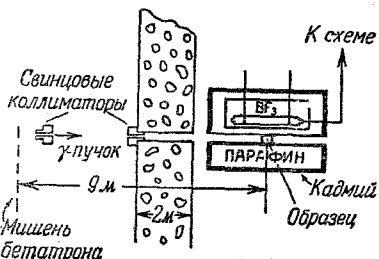
\*) Интегральное поперечное сечение до максимума кривой.

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

335

Элемент	Полуширина (Мэв)		$E_m$ (Мэв)	$\sigma_m$ ( $10^{-24}$ см <sup>2</sup> )	Интегральное поперечное сечение (Мэв $\times 10^{-24}$ см <sup>2</sup> )				Литература
	$\gamma_n$	суммарная			$\gamma_n$	$\gamma_p$	$\gamma_{2n}$	$\gamma_n + \gamma_p + 2(\gamma_{2n})$	
Nb		6,6 ( $\gamma_p$ )	21,3	0,018		0,12			4
Ag		9,2	16,3	0,20	2,1		0,22	2,5	1
Ag <sup>109</sup>	4,6		16,5	0,32	1,65				14
In	~5,8	8,0	15,2	0,25	~1,6		~0,20	~2,0	1
In <sup>115</sup>	5,5		15,0	0,42	2,7				15
In <sup>115</sup>	~8 ( $\gamma'$ )		~15	0,05				~0,4 ( $\gamma\gamma'$ )	15
Sb		7,2	15,2	0,44				3,1	1
Sb <sup>121</sup>	4,8		14,8	0,68	3,5				3
Sb <sup>123</sup>	4,8		14,8	0,36	1,9				3
I	~5,0	6,6	15,2	0,45				3,1	1
Ta <sup>181</sup>	4,6		13,9		>0,47				3
Au	~5,6	6,3	14,2	0,70				4,6	1
Au <sup>197</sup>	~10 ( $\gamma'$ )		15	>0,025				>0,25 ( $\gamma\gamma'$ )	16
Pb		5,3	13,7	0,81				4,8	1
Pb <sup>207+208</sup>	~6,5 ( $\gamma_p$ )		22,0	0,028		~0,17			17
Bi	~5,2	5,4	14,2	0,92				4,1	1

окружённого парафином (см. рисунок). Подбором положения счётчика авторам удалось добиться одинаковой вероятности регистрации нейтронов различной энергии. В качестве доказательства этого в работе приводятся кривые выхода реакции  $(\gamma n)$ , измеренные на углероде [при  $E = 23$  Мэв реакции —  $(\gamma 2n)$  и  $(\gamma n)$  на  $C^{12}$  энергетически невозможны] методом активации и методом счётчика. Наибольшее расхождение (4%) наблюдается на 6 Мэв выше порога. Для уменьшения фона от нейтронов счётное устройство вынесено за 2-метровую бетонную стену и находится в 9 метрах от мишени бета-трона. Электронная схема регистрирует нейтроны в интервале 20—800 мксек после окончания пучка. Выход нейтронов для каждого элемента сравнивался с выходом на меди при  $E = 18$  Мэв. В результаты вводилась поправка на поглощение  $\gamma$ -излучения в образцах.



В таблице приведены следующие данные фотоядерных реакций (полученные в настоящей работе, а также в опубликованных ранее опытах): 1) название элемента или изотопа, 2) полуширина кривой поперечного сечения реакции  $(\gamma n)$  или 3) суммарной кривой, 4) положение резонансного максимума ( $E_m$ ), 5) значение максимального поперечного сечения (в  $10^{-24}$  см<sup>2</sup>), 6) интегральное поперечное сечение реакций  $(\gamma n)$ ;  $(\gamma n)$ ;  $(\gamma 2n)$ ;  $(\gamma n) + 2(\gamma 2n)$  и в последней графе ссылки на литературу.

Анализ результатов приводит авторов к следующим выводам: величина  $\langle \sigma_{\text{макс}} \rangle_{\gamma n}$  пропорциональна  $A^{1/2}$ , где  $A$  — атомный номер элемента. Полуширина резонансных кривых с ростом  $A$  вначале растёт (до  $A \sim 60$ ), а затем медленно уменьшается. Для  $E_m$  и пороговой энергии  $E_0$  получены выражения:  $E_m = 37A^{-0,186}$  и  $E_0 = 32A^{-0,270}$ . Для элементов As и In при  $E_\gamma = 17, 18$  и  $19$  Мэв отношение поперечных сечений реакции  $(\gamma 2n)$  и  $(\gamma n)$  было сравнено с отношением, рассчитанным по статической теории, причём получено удовлетворительное согласие.

Б. Р.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Montalberty, Katz and Goldenberg, Phys. Rev. **91**, 659 (1953).
2. Haslam и др., Can. J. Phys. **31**, 210 (1953).
3. L. Katz a. A. G. W. Cameron, Can J. Phys. **29**, 518 (1951).
4. J. Halpern a. A. K. Mann, Phys. Rev. **83**, 370 (1951).
5. Johns и др., Phys. Rev. **84**, 856 (1951).
6. Horsley и др., Phys. Rev. **87**, 756 (1952).
7. L. Katz a. A. G. W. Cameron, Phys. Rev. **84**, 1115 (1951).
8. Summers-Gill и др., Can J. Phys. **31** 70 (1953).
9. K. Katz a. A. S. Penfold, Phys. Rev. **81**, 815 (1951).
10. Halpern и др., Phys. Rev. **88**, 958 (1952).
11. L. Katz a. A. S. Penfold, Phys. Rev. **83**, 169 (1951).
12. L. Katz и др., Can J. Phys. **30**, 476 (1952).
13. L. Katz и др., Can J. Phys. **31**, 250 (1953).
14. V. C. Diven a. G. M. Almy, Phys. Rev. **80**, 407 (1950).
15. J. Goldenberg a. L. Katz, Phys. Rev. **90**, 308 (1953).
16. A. G. W. Cameron a. L. Katz, Phys. Rev. **84**, 608 (1951).
17. A. G. W. Cameron a. L. Katz, Phys. Rev. **83**, 1264 (1951).