

# ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ $\text{He}^4(\gamma, p)\text{H}^3$ и $\text{He}^4(\gamma, n)\text{He}^3$

А.Н.Горбунов

Экспериментальное исследование фоторасщепления ядра  $\text{He}^4$  представляет значительный интерес в связи с проблемой согласованного описания ряда статических и динамических свойств легких ядер: энергии связи, радиусов ядер, эффективных сечений ядерных реакций.

В настоящей работе исследование фоторасщепления ядра  $\text{He}^4$  при энергиях до  $260 \text{ Мэв}$  выполнено с камерой Вильсона в магнитном поле  $10,5 \text{ кгс}$ , действующей в пучке излучения синхротрона. Энергия фотона, вызвавшего реакцию, определялась по углу вылета и импульсу одной из двух испускаемых в реакции частиц. Абсолютная интенсивность излучения синхротрона измерялась с точностью  $\sim 6\%$ .

Эффективное сечение реакции  $(\gamma, p)$ , найденное из измерений 2920 событий, приведено на рис. 1 (гистограмма). Оно хорошо согласуется с результатами Перри и Бейма [1] и Геммеля и Джонса [2] ниже  $28 \text{ Мэв}$  (кривая 1), полученными из исследования обратной реакции. Оценка полного сечения реакции  $(\gamma, p)$ , выполненная путем умножения экспериментального сечения  $(d\sigma/d\Omega)_{90^\circ}$  на фактор  $8\pi/3$  в предположении, что реакция связана только с электрическими дипольными переходами, по данным Клерка и др. [3] (кривая 2), тоже удовлетворительно согласуется с нашими результатами. Аналогичная оценка по данным Денисова и Кульчицкого [4] (кривая 3) согласуется с нашими данными при  $E_\gamma > 30 \text{ Мэв}$ .

Эффективное сечение реакции  $(\gamma, n)$ , найденное из измерений 1980 событий, обозначено на рис. 1 треугольниками. Кружками на рисунке показаны результаты Ливси и Майна [5], полученные методом фотоэмульсий.

Из рис. 1 видно, что эффективные сечения реакций  $(\gamma, p)$  и  $(\gamma, n)$  на  $\text{He}^4$  в пределах статистических ошибок совпадают. К такому же заключению приводит также сравнение интегральных сечений  $\sigma_0$  и  $\sigma_{-1}$ , найденных в области энергий от порога реакций до  $170 \text{ Мэв}$ :

	$(\gamma, p)$	$(\gamma, n)$
$\sigma_0, \text{ Мэв} \cdot \text{мбн}$ :	$40,1 \pm 0,9$	$42,5 \pm 1,1$
$\sigma_{-1}, \text{ мбн}$ :	$1,13 \pm 0,02$	$1,09 \pm 0,03$

Эффективное сечение двухчастичного фоторасщепления ядра  $\text{He}^4$ , вычисленное Брансденом и др. [6] с учетом тензорных сил с вариацион-

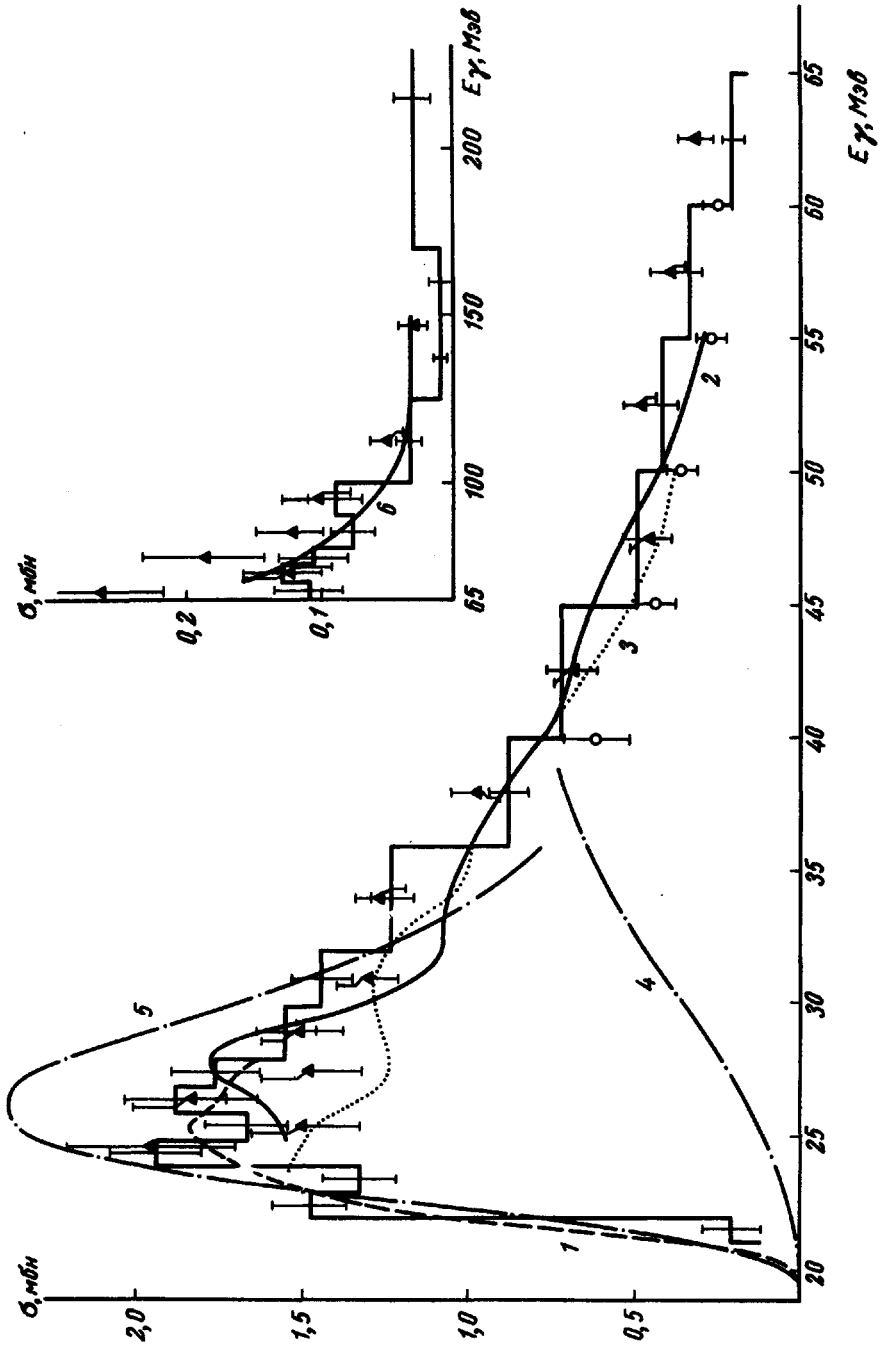


Рис.1. Эффективные сечения реакций  $\text{He}^4(\gamma, p)\text{H}^3$  (гистограмма) и  $\text{He}^4(\gamma, n)\text{He}^3$  (треугольники)

ной волновой функцией, взятой в экспоненциальной форме (кривая 4), находится в резком противоречии с экспериментом. Кривая 5 лучше согласуется с экспериментальными данными, но соответствует слишком большому радиусу ядра  $He^4 < R^2 >^{1/2} = 2,35 \text{ ф}$  и слишком низкой энергии связи.

Расчет Джибути и Тагвиашвили [7] (кривая 6), выполненный на основе двухчастичной модели, удовлетворительно описывает наблюдаемое сечение в области энергий  $\gamma$ -квантов от 70 до 150  $Mev$ , но сильно расходится с экспериментом при меньших энергиях. Расчет Джибути и др. [8], выполненный с учетом зависимости одночастичного потенциала от скорости с волновой функцией Ирвинга, сильно расходится с экспериментом при энергиях фотонов выше 30  $Mev$ .

Таким образом, проблема совместного описания энергии связи и радиуса ядра  $He^4$ , а также формы и абсолютной величины эффективного сечения реакций  $He^4(\gamma, p)H^3$  и  $He^4(\gamma, n)He^3$  остается открытой.

Угловые распределения протонов и нейтронов в реакциях  $(\gamma, p)$  и  $(\gamma, n)$  приведены соответственно на рис. 2 и рис. 3. Плавные кривые на графиках вычислены методом наименьших квадратов в форме, соответствующей  $E1, E2$  и  $M1$  переходам

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = A (\sin^2\theta + \beta \sin^2\theta \cos\theta + \gamma \sin^2\theta \cos^2\theta + \delta). \quad (1)$$

Вычисления проводились также с другими вариантами формы (1), в которых один или несколько параметров полагались равными нулю. В таблице приведены наилучшие наборы параметров. В последней графе таблицы приведена вероятность  $P$  получить при данной форме углового распределения величину  $\chi^2$  большей, чем найдено в настоящем эксперименте.

Из рис. 2, 3 и таблицы видно, что при малых энергиях  $\gamma$ -квантов угловые распределения протонов и нейтронов в пределах ошибок совпадают с распределением вида  $\sin^2\theta$ . При больших энергиях в угловом распределении протонов появляется передняя асимметрия, возрастающая монотонно с увеличением энергии  $\gamma$ -квантов. Характерной особенностью угловых распределений нейтронов является изменение знака коэффициента асимметрии  $\beta_n$  с энергией. В области энергий фотонов  $E_\gamma = 30 + 36 \text{ Mev}$ , в которой наблюдается особенно быстрое возрастание передней асимметрии углового распределения протонов в реакции  $(\gamma, p)$ , коэффициент асимметрии углового распределения нейтронов становит-

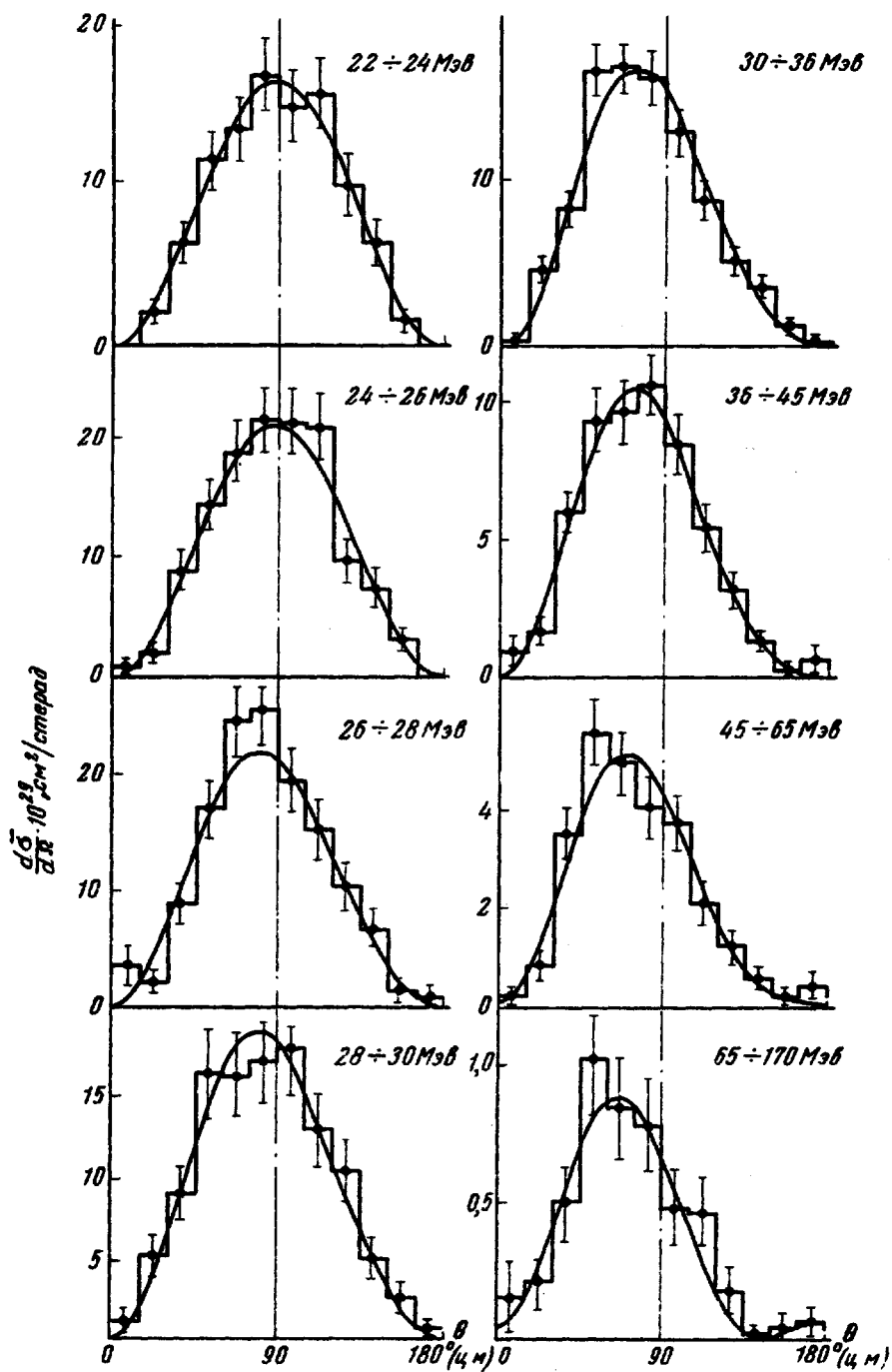
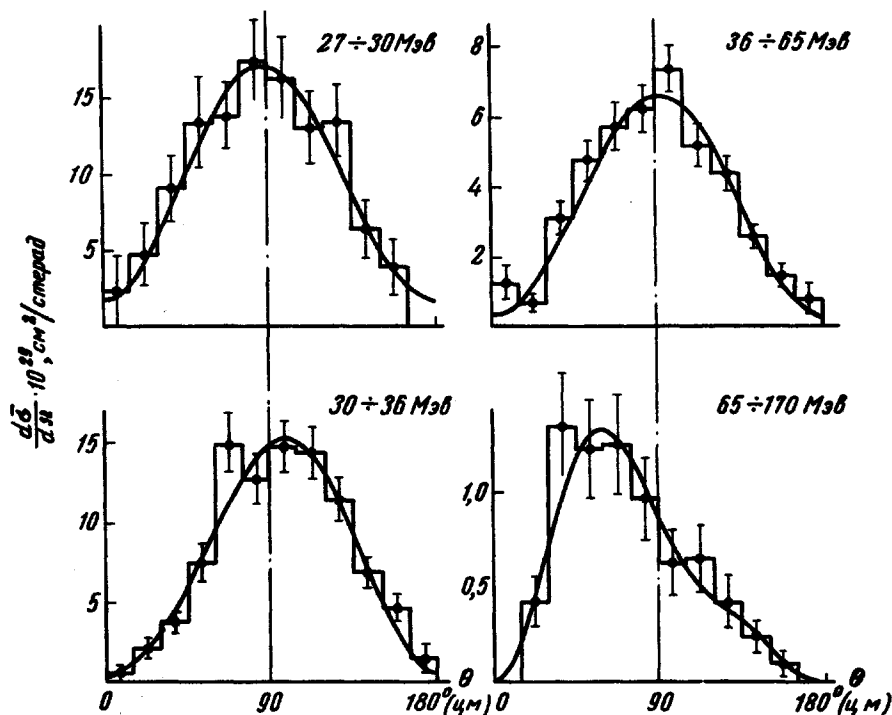


Рис. 2. Угловые распределения протонов в реакции  $\text{He}^4(\gamma, p)\text{He}^3$ .

ся отрицательным. В области энергий  $E_\gamma = 36 + 65 \text{ Мэв}$  угловое распределение нейтронов становится почти симметричным, а при энергиях фотонов выше  $65 \text{ Мэв}$  его максимум резко смещается вперед, причем коэффициент асимметрии  $\beta_n$  в пределах ошибок становится равным коэффициенту асимметрии  $\beta_p$  углового распределения протонов в реакции  $(\gamma, p)$ .

Передняя асимметрия угловых распределений фотонейтронов наблюдалась ранее и для других ядер [9 – 12]. Так, в реакции  $^{16}\text{O}(\gamma, n)^{15}\text{O}$  при



Угловые распределения нейтронов в реакции  $\text{He}^4(\gamma, n)\text{He}^3$

энергиях фотонов выше  $30 \text{ Мэв}$  максимум углового распределения нейтронов смещается вперед так же сильно, как и в угловом распределении протонов в реакции  $^{16}\text{O}(\gamma, p)^{15}\text{N}$  [11]. О знакопеременности коэффициента асимметрии угловых распределений нейтронов в реакции  $\text{He}^4(\gamma, n)\text{He}^3$  сообщили недавно также Аркатов и др. [13]. Шевченко и др. [14], Фуджи и Сугимото [15], Балашев и др. [16], рассматривая вопрос о квадрупольном гигантском резонансе в рамках модели оболочек, показали, что изменение знака асимметрии углового распределения нейтронов с энергией может быть связано с расщеплением квадрупольного резонанса на две резко разделенные по энергии группы состояний (с  $T = 0$  и  $T = 1$ ), обусловленным частично-дырочным взаимодействием.

Расчет Фуджи и Сугимото [15] качественно описывает изменение асимметрии углового распределения нейтронов, наблюдаемое в настоящем эксперименте.

Угловые распределения протонов и нейтронов  
в реакциях  $He^4(\gamma, p)H^3$  и  $He^4(\gamma, n)He^3$   
(в системе центра масс)

$E_\gamma, \text{Мэв}$	$A, \text{мкбн/степ}$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$P, \%$
Протоны					
22-24	$165 \pm 9$	$0,04 \pm 0,11$	-	-	93
24-26	$210 \pm 11$	$0,07 \pm 0,10$	-	-	47
26-28	$213 \pm 11$	$0,33 \pm 0,10$	-	-	10
28-30	$184 \pm 11$	$0,34 \pm 0,11$	-	-	79
30-36	$155 \pm 6$	$0,66 \pm 0,07$	-	-	14
36-45	$93 \pm 4$	$0,79 \pm 0,07$	-	-	55
45-65	$43 \pm 3$	$0,98 \pm 0,10$	-	$0,03 \pm 0,02$	22
65-170	$6,1 \pm 0,9$	$1,48 \pm 0,22$	-	$0,08 \pm 0,06$	75
Нейтроны					
27-30	$162 \pm 19$	$0,10 \pm 0,18$	-	$0,12 \pm 0,08$	89
30-36	$142 \pm 9$	$-0,36 \pm 0,09$	-	$0,04 \pm 0,03$	30
36-65	$68 \pm 4$	$-0,03 \pm 0,08$	-	$0,04 \pm 0,03$	4
65-170	$8,7 \pm 1,2$	$1,43 \pm 0,32$	$1,5 \pm 0,6$	-	87
30-170	$44 \pm 2$	$0,05 \pm 0,07$	-	$0,13 \pm 0,02$	81

В заключение автор выражает глубокую благодарность В.В.Балашову и В.Н.Фетисову за обсуждение работы, а также В.А.Дубровиной, Г.В.Соколенко, Г.Г.Тарану за участие в обработке экспериментальных результатов.

Физический институт  
им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
17 июня 1968 г.

Литература

- [ 1 ] J. E. Perry, S. Vane, Phys. Rev., 99, 1368, 1955.  
[ 2 ] D. S. Gemmell, G. A. Jones. Nucl. Phys., 33, 102, 1962.

- [ 3 ] H. G. Clerk, J. R. Stewart, P. R. C. Morrison. *Phys. Rev.*, **18**, 315, 1965.
- [ 4 ] В.П.Денисов, Л.А.Кульчицкий. *ЯФ*, **6**, 437, 1967.
- [ 5 ] D. L. Livesey, I. G. Main. *Nuovo, Cim.*, **10**, 590, 1958.
- [ 6 ] В. Н. Bransden, A. C. Douglas, H. H. Robertson, *Phil. Mag.* **2**, 1211, 1957.
- [ 7 ] Р.И.Джибути, А.В.Тагвиашвили. *ЖЭТФ*, **39**, 1756, 1960.
- [ 8 ] Р.И.Джибути, В.И.Мамасахлисов, Т.С.Мачарадзе. *ЯФ*, **2**, 59, 1965.
- [ 9 ] Л.А.Кульчицкий, В.Пресперия. *ЖЭТФ*, **39**, 1001, 1960.
- [10] G. C. Reinhardt, W. D. Whitehead. *Nucl. Phys.*, **30**, 201, 1962.
- [11] А.Н.Горбунов, В.А.Осипова. *ЖЭТФ*, **16**, 27, 1963.
- [12] F. R. Allum, T. W. Quirk, B. M. Spicer. *Nucl. Phys.*, **53**, 545, 1964.
- [13] Ю.М.Аркатов, П.И.Вацет, В.И.Волошук, А.П.Ключарев, В.Л.Марченко, А.Ф. Ходячих. Программа и тезисы докладов XVIII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Изд. Наука , 1968 г., стр. 230.
- [14] В.Г.Шевченко, Н.П.Юдин, Б.А.Юрьев. *ЖЭТФ*, **45**, 180, 1963.
- [15] S. Fujii, O. Sugimoto, *Nucl. Phys.*, **56**, 73, 1964.
- [16] В.В.Балашов, П.Долешал, Г.Я.Коренман, В.Л.Коротких, В.Н.Фетисов. *ЯФ*, **2**, 643, 1965.