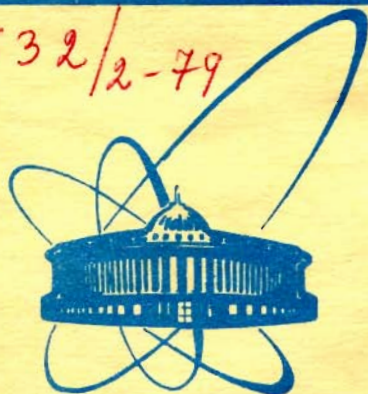


5532/2-79



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

Б-287

29/12-79  
P1 - 12663

Ю.А.Батусов, Л.Д.Визирева, Л.М.Марков,  
В.М.Сидоров, Ц.П.Спасов, Х.М.Чернев

ИСПУСКАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ОЖЕ

В П - МЕЗОАТОМАХ

И ВЫЛЕТ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

ПРИ ЗАХВАТЕ П<sup>-</sup>-МЕЗОНОВ ЛЕГКИМИ (С, N, O)

И ТЯЖЕЛЫМИ (Ag, Br) ЯДРАМИ В ФОТОЭМУЛЬСИИ

1979

P1 - 12663

Ю.А.Батусов, Л.Д.Визирева<sup>1</sup>, Л.М.Марков,<sup>2</sup>  
В.М.Сидоров, Ц.П.Спасов<sup>3</sup>, Х.М.Чернев<sup>3</sup>

ИСПУСКАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ОЖЕ

В П - МЕЗОАТОМАХ

И ВЫЛЕТ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

ПРИ ЗАХВАТЕ П<sup>-</sup>-МЕЗОНОВ ЛЕГКИМИ (С, N, O)

И ТЯЖЕЛЫМИ (Ag, Br) ЯДРАМИ В ФОТОЭМУЛЬСИИ

*Направлено в ЯФ*

<sup>1</sup> Высший химико-технологический институт,  
София /НРБ/.

<sup>2</sup> Высший машинно-электротехнический  
институт, София /НРБ/.

<sup>3</sup> Институт ядерных исследований и ядерной  
энергетики БАН, София /НРБ/.

Батусов Ю.А. и др.

P1 - 12663

Испускание электронов Оже в  $\pi^-$ -мезоатомах и вылет заряженных частиц при захвате  $\pi^-$ -мезонов легкими (C,N,O) и тяжелыми (Ag,Br) ядрами в фотоэмульсии

Определены вероятности испускания электронов Оже с энергией /20-100/ кэВ в  $\pi^-$ -мезоатомах легких (C,N,O) и тяжелых (Ag,Br) элементов:  $\alpha^{II} = /44 \pm 0,4/\%$ ,  $\alpha^{I} = /31 \pm 2/\%$ . Получены относительные вероятности испускания одной, двух, трех и четырех заряженных частиц при захвате  $\pi^-$ -мезонов ядрами (C,N,O) и (Ag,Br). Полный выход заряженных частиц на один акт захвата составляет /71,5  $\pm$  7,0/% для ядер C,N,O и /67,1  $\pm$  5,4/% - для ядер Ag,Br.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Batusov Yu.A. et al.

P1 - 12663

Emission of Auger Electrons in  $\pi^-$ -Mesic Atoms and Escape of Charged Particles at the Capture of  $\pi^-$ -Mesons with Light (C,N,O) and Heavy (Ag,Br) Nuclei in Photoemulsion

The probabilities of emission of (20 -100) keV Auger electrons in light (C,N,O) and heavy (Ag,Br) elements:  $\alpha^{II} = (44 \pm 0,4)\%$ ,  $\alpha^{I} = (31 \pm 2)\%$  heavy been determined. Relative probabilities of emission of one, two, three and four charged particles at the capture of  $\pi^-$ -mesons with C,N,O and Ag,Br nuclei are obtained. Total yield of charged particles over one capture is equal to (71,5  $\pm$  7,0)% for C,N,O nuclei and (67,1  $\pm$  5,4)% for Ag,Br nuclei.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Настоящая работа посвящена исследованию некоторых общих характеристик процесса захвата  $\pi^-$ -мезонов легкими (C,N,O) и тяжелыми (Ag,Br) ядрами в фотозмульсии, сопровождающегося вылетом заряженных частиц. Методика постановки эксперимента и анализ полученных результатов аналогичны использованным в работе<sup>1/</sup>, в которой изучался вылет заряженных частиц при  $\mu^-$ -захвате.

В фотозмульсионной камере, составленной из слоев ядерной эмульсии типа НИКФИ-БР и облученной в пучке  $\pi^-$ -мезонов на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, регистрировались остановки  $\pi^-$ -мезонов путем прослеживания вдоль следов первичных частиц. В местах остановок пионов при большом /2025X/ увеличении велись поиски следов электронов Оже, вероятность вылета которых позволяет идентифицировать случаи захвата  $\pi^-$ -мезонов на легких и тяжелых ядрах.

Для оценки примеси  $\mu^-$ -мезонов в пучке регистрировались случаи  $\mu^-$ -распада. Среди 2 570 остановок первичных частиц было зарегистрировано 14 таких случаев. Это позволило оценить примесь  $\mu^-$ -мезонов в пучке пионов, которая для случаев с вылетом и без вылета заряженных частиц составляет соответственно  $0,025 \pm 0,007\%$  и  $0,73 \pm 0,20\%$ . Независимая оценка этого вклада, проведенная путем выделения зоны остановок  $\pi^-$ - и  $\mu^-$ -мезонов<sup>2/</sup>, подтверждает эти результаты.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Было зарегистрировано всего 9 264 остановок  $\pi^-$ -мезонов. В 917 случаях наблюдался вылет одного или более электронов

Оже. Таким образом, вероятность вылета электронов Оже при атомном захвате  $\pi^-$ -мезонов элементами, входящими в состав ядерной эмульсии, равна  $20,7 \pm 0,5\%$ .

В табл. 1 приведено распределение зарегистрированных случаев в зависимости от числа испущенных заряженных частиц при ядерном захвате  $\pi^-$ -мезона и такое же распределение для случаев  $\pi^-$ -захвата с электроном Оже.

Для определения относительных вероятностей испускания заряженных частиц из легких и тяжелых ядер, захвативших  $\pi^-$ -мезон, были вычислены вероятности вылета электронов Оже.

Обозначим:  $\beta$  - частота остановок  $\pi^-$ -мезонов в легких ядрах,  $\alpha^L$  и  $\alpha^T$  - вероятности испускания одного и более электронов Оже из легкого и тяжелого ядра,  $N^L$ ,  $N^T$ ,  $N$  - числа остановок на легких и тяжелых ядрах и их суммарное число,  $(N^L)^e$ ,  $(N^T)^e$ ,  $N^e$  - числа остановок с вылетом электрона Оже из легкого и тяжелого ядра и их суммарное число.

Зная, что

$$\left. \begin{aligned} \alpha^L &= (N^L)^e / N^L; \\ \alpha^T &= (N^T)^e / N^T; \\ N^L &= \beta N; \quad N^T = (1-\beta)N; \\ N^e &= \alpha^L N^L + \alpha^T N^T, \end{aligned} \right\} /1/$$

для неизвестных  $\beta$ ,  $\alpha^L$  и  $\alpha^T$  можно составить следующую систему уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} N_{\rho+\sigma}^e / N_{\rho+\sigma} &= \alpha^L \beta + \alpha^T (1-\beta), \\ N_{\sigma}^e / N_{\sigma} &= \alpha^L \frac{N_{\sigma}^L}{N_{\sigma}} + \alpha^T \frac{N_{\sigma}^T}{N_{\sigma}}, \\ \frac{\alpha^L}{\alpha^T} &= \frac{1-\beta}{\beta} (N^L)^e / (N^T)^e. \end{aligned} \right. /2/$$

Индексы  $\sigma$  и  $\rho$  означают соответственно, что ядерный захват происходит с вылетом или без вылета заряженных частиц. Величины  $N_{\rho+\sigma}^L / N_{\rho+\sigma} = 0,445 \pm 0,021$  и  $N_{\rho+\sigma}^T / N_{\rho+\sigma} = 0,555 \pm 0,23$  определены в работе<sup>/3/</sup>, а  $(N^L)^e / (N^T)^e = 0,101 \pm 0,011$  известна из работы<sup>/4/</sup>. Величины  $N_{\rho+\sigma}^e / N_{\rho+\sigma}$  и  $N_{\sigma}^e / N_{\sigma}$  получены из данных табл. 1.

Таблица 1

Захват пионов ядрами в фотоэмульсии и испускание электронов Оже

Число лучей	Зарегистрированные случаи		Случаи с электроном Оже	
	Число	Проценты	Число	Проценты
0	2 780	30,0 $\pm$ 0,6	635	6,9 $\pm$ 0,3
1	2 832	30,6 $\pm$ 0,6	885	9,6 $\pm$ 0,3
2	1 825	19,7 $\pm$ 0,5	287	3,1 $\pm$ 0,2
3	1 216	13,1 $\pm$ 0,4	96	1,0 $\pm$ 0,1
4	513	5,6 $\pm$ 0,3	12	0,13 $\pm$ 0,04
5	94	1,0 $\pm$ 0,1	2	0,02 $\pm$ 0,01
6	4	0,05	-	-
Всего	9 264		1 917	20,7 $\pm$ 0,5

Независимую оценку вероятности вылета электрона Оже из легкого ядра можно сделать путем анализа случаев  $\pi^-$ -захвата ядрами (C,N,O) с испусканием фрагмента  ${}^8\text{Li}^{5+}$  в сопровождении Оже-электрона.

Повторный просмотр событий захвата пионов с образованием  ${}^8\text{Li}$ , найденных в работах<sup>5/</sup>, позволил установить, что в 65 событиях из 1 500 имеется электрон Оже.

Таким образом, получаем оценку вероятности вылета электрона Оже при захвате  $\pi^-$ -мезона легкими (C,N,O) ядрами в фотоэмульсии:

$$a^{\text{Л}} = \frac{65}{1500} = 0,043 \pm 0,05.$$

С учетом этой оценки решалась переопределенная система уравнений /2/ на ЭВМ методом наименьших квадратов. Для иско- мых величин  $\beta$ ,  $a^{\text{Л}}$  и  $a^{\text{T}}$  были получены следующие значения:

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta = 0,42 \pm 0,03, \\ a^{\text{Л}} = 0,044 \pm 0,004, \\ a^{\text{T}} = 0,32 \pm 0,02. \end{array} \right. \quad /3/$$

Найденные значения  $\alpha^J$  и  $\alpha^T$  и данные табл. 1 были использованы при решении системы уравнений /4/:

$$\left\{ \begin{array}{l} N^J / N + N^T / N = 1, \\ \alpha^J \frac{N^J}{N} + \alpha^T \frac{N^T}{N} = \frac{N^e}{N}. \end{array} \right. \quad /4/$$

Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2  
Относительные числа событий /в процентах/

Типы звезд	Ядра	C, N, O	Ag, Br
1-лучевые		3,8	96,2 $\pm$ 7,6
2-лучевые		59,5 $\pm$ 4,6	40,5 $\pm$ 4,6
3-лучевые		87,6 $\pm$ 3,4	12,4 $\pm$ 3,4
4-лучевые		100	-
Всего		41,7 $\pm$ 4,3	58,3 $\pm$ 4,3

Таблица 3  
Вероятности вылета заряженных частиц на один акт захвата /в процентах/

Число частиц	Ядра	C, N, O	Ag, Br
1		$W_1^J \sim 2,8$	$W_1^T = 50,6 \pm 5,1$
2		$W_2^J = 28,0 \pm 3,2$	$W_2^T = 13,7 \pm 1,8$
3		$W_3^J = 27,5 \pm 2,6$	$W_3^T = 2,8 \pm 0,8$
4		$W_4^J = 13,2 \pm 1,2$	-
Всего		$W^J = 71,5 \pm 7,0$	$W^T = 67,1 \pm 5,4$

Данные табл. 1 и 2 позволяют также определить относительную вероятность испускания заряженных частиц в зависимости от их числа при захвате  $\pi^-$ -мезонов на легких (C, N, O) и тяжелых (Ag, Br) ядрах.

Обозначим:  $n_1$  - число событий данного типа,  $N$  - полное число остановок  $\pi^-$ -мезонов,  $\gamma$  - частота остановок  $\pi^-$ -мезонов, обусловленная их захватом легкими ( $\gamma/\beta$ ) и тяжелыми ( $\gamma/1-\beta$ ) ядрами.

Полученные значения для относительной вероятности  $W_1 = \frac{n_1}{\gamma N}$  /вероятность на один акт захвата/ представлены в табл. 3.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Экспериментальные данные, полученные в результате изучения атомного и ядерного захватов пионов, можно сопоставить с аналогичными данными исследований захвата мюонов<sup>6</sup>, выполненных нами ранее. Сравнение показывает, что  $\pi^-$  и  $\mu^-$ -мезоны в фотоэмульсии ведут себя одинаково по отношению к их атомному захвату:  $44 \pm 2\%$  всех остановившихся  $\mu^-$ -мезонов<sup>1/</sup> и  $42 \pm 3\%$   $\pi^-$ -мезонов захватываются на атомные орбиты легких элементов. Практически равными являются и вероятности испускания одного или более электронов Оже при захвате  $\mu^-$ -мезона на тяжелых элементах в фотоэмульсии:  $\alpha_{\mu}^T = 31 \pm 1\%$  для  $\mu^-$ -мезоатомов<sup>1/</sup> и  $\alpha_{\pi}^T = 32 \pm 2\%$  - для  $\pi^-$ -мезоатомов. Однако аналогичные величины для легких элементов (C, N, O) различны:  $\alpha_{\mu}^L = 1,1 \pm 0,3\%$ , а  $\alpha_{\pi}^L = 4,1 \pm 0,4\%$ . Такая разница, по-видимому, свидетельствует о значительном отличии механизмов внутриатомных переходов ферми- и бозе-частиц в мезоатомах легких элементов, а также является следствием разности масс пиона и мюона. Для тяжелых (Ag, Br) мезоатомов такой разницы не наблюдается из-за того, что регистрируемые нами оже-электроны в этом случае испускаются из мезоатомных орбит, расположенных далеко от ядра, и поэтому вероятность их образования слабо чувствительна как к сорту мезонов, так и к детальной структуре тяжелых ядер. Сравнение экспериментально полученных данных по выходу оже-электронов из  $\mu^-$ -мезоатомов элементов, входящих в состав фотоэмульсии, с теоретическими расчетами каскадных переходов с учетом вылета электронов Оже из K- и L-оболочек



мезоатомов<sup>/7/</sup> показал их хорошее согласие. К сожалению, в настоящее время таких расчетов для  $\pi$ -мезонов нет.

Интересно провести сравнение вероятностей вылета заряженных частиц при  $\pi^-$ - и  $\mu^-$ -захвате. В отличие от ядерного захвата  $\mu^-$ -мезонов, где вылет заряженных частиц на акт захвата из тяжелых ядер в фотозумльсии сильно /в 2,5 раза/ подавлен по сравнению с их вылетом из легких ядер, в  $\pi^-$ -захвате вероятность испускания заряженных частиц из легких и тяжелых ядер одинакова. Этот экспериментальный факт можно объяснить как более высокой энергопередачей пиона ядру /в случае  $\mu^-$ -захвата основную энергию реакции уносит нейтрино/, так и отличием в механизмах ядерного многонуклонного<sup>/5/</sup> захвата пионов и резонансного<sup>/6/</sup> мюонов.

Для более детального анализа процессов захвата  $\pi^-$ - и  $\mu^-$ -мезонов ядрами в фотозумльсии необходим дальнейший, более строгий анализ как угловых корреляций, так и энергетических спектров вторичных заряженных частиц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Батусов Ю.А. и др. ЯФ, 1975, 21, с. 1215.
2. Батусов Ю.А. и др. ЯФ, 1973, 18, с. 962.
3. Demeur M. et al. Nuovo Cim., 1956, 4, p.509.
4. Cuevas J.E., Barkov A.G. Nuovo Cim., 1962, 26, p.855.
5. Агабабян Н.М. и др. ЯФ, 1973, 18, с. 256, 264.
6. Батусов Ю.А., Эрамбян Р.А. ЭЧАЯ, 1977, 8, с. 229.
7. Hüfner J. Z.Phys., 1966, 195, p.365.

Рукопись поступила в издательский отдел  
16 июля 1979 года.