

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

7-46, 83

1/2-83

P1-82-789

А.В.Банников, В.А.Васильев, Л.М.Коченда,<sup>1</sup>  
Б.Леваи, А.А.Марков,<sup>1</sup> В.И.Медведев,<sup>1</sup>  
В.И.Петрухин, Г.Л.Соколов,<sup>1</sup>  
И.И.Страковский,<sup>1</sup> Д.Хорват<sup>2</sup>

ИЗУЧЕНИЕ АТОМНОГО ЗАХВАТА  
ОСТАНОВИВШИХСЯ  $\pi$ -МЕЗОНОВ  
В БИНАРНЫХ СМЕСЯХ  $^3\text{He}$   
С ДРУГИМИ ГАЗАМИ

Направлено в журнал "Nuclear Physics"

<sup>1</sup> ЛИЯФ АН СССР, Гатчина.

<sup>2</sup> ЦИФИ ВАН, Будапешт.

1982

## ВВЕДЕНИЕ

Знание процессов, происходящих при атомном захвате отрицательно заряженных частиц, имеет большое значение как для физики экзотических атомов, так и для изучения элементарных процессов, протекающих при остановках первичной частицы в веществе. При этом необходимо разделить атомный захват и перехват захватившегося мезона. До сих пор все работы, кроме <sup>1/</sup>, на  $\pi^-$ -мезонах проводились с водородом или водородсодержащими веществами <sup>2,3/</sup>, где однозначное разделение атомного захвата и перехвата является трудной задачей.

Целью настоящей работы было изучение атомного захвата пионов атомами  ${}^3\text{He}$  и  $Z$  в бинарных газовых смесях  ${}^3\text{He}+Z$ , где  $Z$  есть  ${}^4\text{He}$ ,  $\text{Ne}$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{Kr}$ ,  $\text{Xe}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{SF}_6$ . Такая программа основывалась на допущении, что перехват пионов с  ${}^3\text{He}\pi^-$ -мезоатомов не происходит либо из-за большого размера нейтральных мезоатомов, либо из-за электрического отталкивания ионизированного  $({}^3\text{He}\pi^-)^+$ -мезоатома. В этом случае мы имеем интересную возможность выделить по ядерной перезарядке пионов на  ${}^3\text{He}$  процесс атомного захвата и получить ответы на такие важные вопросы: как зависит относительная вероятность посадки от концентрации и происходит ли атомный захват пропорционально тормозным способностям компонентов смесей.

## ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения были выполнены на  $\pi^-$ -мезонном пучке при импульсе 140 МэВ/с синхроциклотрона ЛИЯФ с применением аппаратуры для регистрации пар  $\gamma$ -квантов от распада  $\pi^0$ -мезонов черенковскими счетчиками полного поглощения <sup>2/</sup>. Состав рабочей смеси и уровень примесей в используемых смесях контролировались методом газовой хроматографии с точностью  $10^{-3}$  объемных процентов. Состав газовых смесей определялся взвешиванием с точностью до 20 мг /<0,5%/. Количество  ${}^3\text{He}$  в мишени было фиксировано для данной примеси газа  $Z$  и изменялось только при переходе к другой примеси  $Z'$ . Давление смесей в мишенях варьировалось в диапазоне 30-150 атм. Каждая мишень представляла собой сферу из нержавеющей стали  $\phi = 120$  мм и толщиной стенок 2 или 3 мм.

В нашем случае индикатором изучаемого процесса являлось образование  $\pi^0$ -мезона при ядерной перезарядке остановившегося  $\pi^-$ -мезона на ядре  ${}^3\text{He}$  ( $\pi^- + {}^3\text{He} \rightarrow \pi^0 + {}^3\text{H}$ ). Все другие каналы образования  $\pi^0$ -мезонов, кроме захвата  $\pi^-$ -мезона ядром  ${}^3\text{He}$ , в нашей

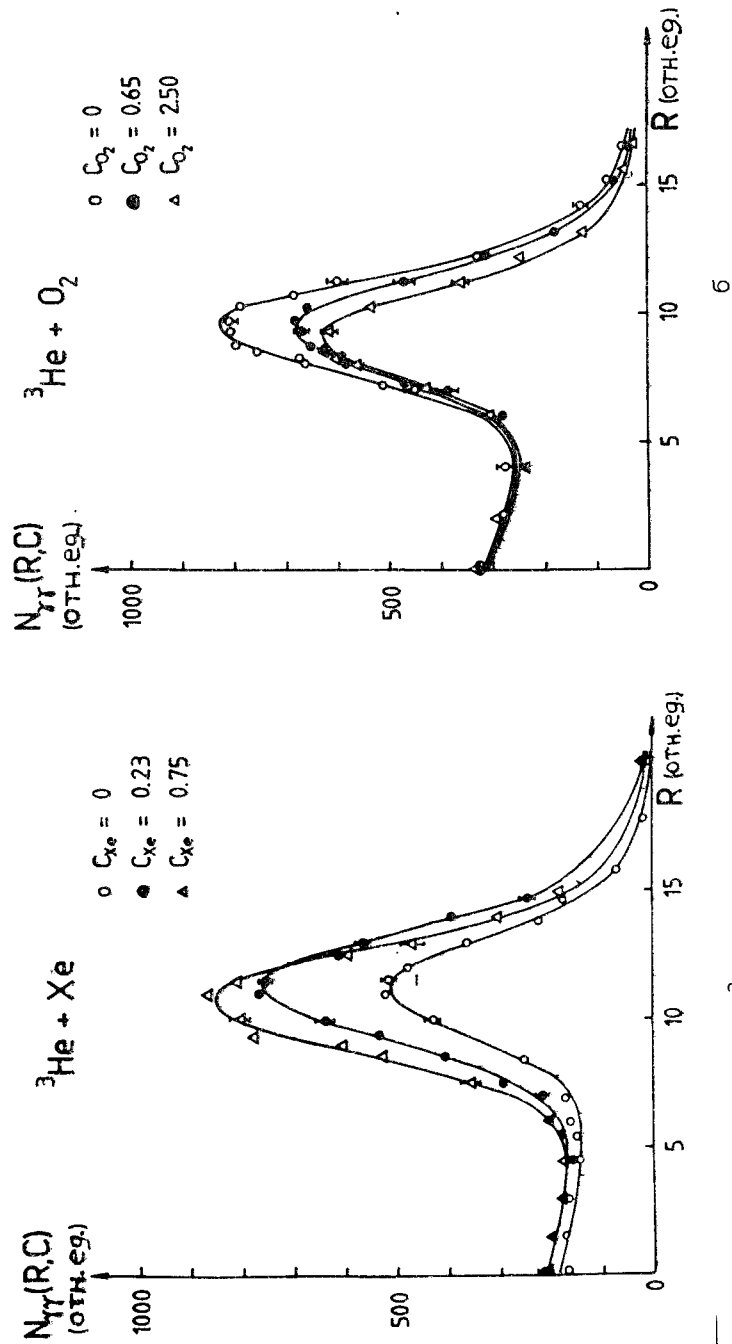


Рис. 1. Кривые выхода пар  $\gamma$ -квантов /  $\pi^0$ -мезонов / от газовых смесей: а/  ${}^3\text{He} + \text{Xe}$ , б/  ${}^3\text{He} + \text{O}_2$  в зависимости от толщины тормозящего фильтра R при нескольких атомарных концентрациях примеси  $C_Z$ .

постановке опыта пренебрежимы, поскольку ядерная перезарядка остановившихся пионов подавлена <sup>4,5/</sup> до уровня  $<10^{-4}$  для всех ядер, кроме H и  ${}^3\text{He}$ .

На рис. 1 в качестве примера показаны выходы пар  $\gamma$ -квантов в зависимости от толщины тормозного фильтра для систем  ${}^3\text{He} + \text{Xe}$  и  ${}^3\text{He} + \text{O}_2$ . В смесях  ${}^3\text{He} + \text{Xe}$  выход пар  $\gamma$ -квантов растет с увеличением концентрации примеси, а в смесях  ${}^3\text{He} + \text{O}_2$  - наоборот, падает /см. также рис. 3/.

Экспериментальные данные обрабатывались на ЭВМ с учетом эффекта тормозных толщин в предположении, что распределение пионов по пробегам описывается гауссовской функцией <sup>6/</sup>. Эквивалентные тормозные толщины рассчитывались по интерполяционной формуле <sup>7/</sup>. В результате обработки определялись вероятности  $W(C_Z)$  перезарядки остановившихся в смеси пионов на ядрах  ${}^3\text{He}$ :

$$W(C_Z) = \frac{n_{\pi^0}^{\text{CM}}}{n_{\text{ост}}^{\text{CM}}} = \omega_{\pi^0}^{\text{He}} \frac{n_{\text{яHe}}^{\text{CM}}}{n_{\text{ост}}^{\text{CM}}}, \quad /1/$$

где  $n_{\pi^0}^{\text{CM}}$  - число  $\pi^0$ -мезонов, образовавшихся в смеси;  $n_{\text{ост}}^{\text{CM}}$  - число  $\pi^-$ -мезонов, остановившихся в смеси;  $n_{\text{яHe}}^{\text{CM}}$  - число  $\pi^-$ -мезонов, захватившихся ядрами  ${}^3\text{He}$  в смеси;  $\omega_{\pi^0}^{\text{He}}$  - вероятность перезарядки пиона при захвате ядром  ${}^3\text{He}$ . В чистом  ${}^3\text{He}$  все остановившиеся пионы образуют мезоатомы  ${}^3\text{He}\pi^-$ , затем все они захватываются ядрами  ${}^3\text{He}$ , т.е.  $n_{\text{ост}}^{\text{He}} = n_{\text{яHe}}^{\text{He}}$  и

$$W(C_Z = 0) = W(0) = \frac{n_{\pi^0}^{\text{He}}}{n_{\text{ост}}^{\text{He}}} = \frac{n_{\pi^0}^{\text{He}}}{n_{\text{яHe}}^{\text{He}}} = \omega_{\pi^0}^{\text{He}}. \quad /2/$$

В наших экспериментах для калибровки измерялась стандартная мишень с водородом. Вероятность перезарядки остановившегося пиона при захвате протоном  $\omega_{\pi^0}^{\text{H}} = 0,605 \pm 0,010$  <sup>8/</sup>, и все наши данные нормированы на эту величину.

Результаты обработки наряду с тормозными толщинами мишеней в единицах г/см<sup>2</sup> углерода приведены в табл. 1. Для вероятности перезарядки пиона при захвате ядром  ${}^3\text{He}$  нами получено значение  $W(0) = \omega_{\pi^0}^{\text{He}} = 0,128 \pm 0,012$ , где ошибка соответствует стандартному отклонению. Наше значение несколько отличается от тех, которые были определены другими методами  $\omega_{\pi^0}^{\text{He}} = 0,158 \pm 0,008$  и  $0,178 \pm 0,023$  <sup>10/</sup>.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты анализируются на основе феноменологической модели <sup>2/</sup>, в которой предполагается, что все процессы определяются столкновениями мезоатома с атомами смеси.

Как видно из табл. 1, вероятность ядерной перезарядки пионов на  ${}^3\text{He}$  в смесях  $W(C_Z)$  падает с увеличением атомарной концентра-

Таблица 1

Ядерная перезарядка остановившихся пионов в смесях  ${}^3\text{He}+Z$ .  $C_Z$  - отношение числа атомов  $Z$  и  ${}^3\text{He}$  в смеси;  $W$  - вероятность перезарядки,  $\Delta$  - эквивалентная толщина мишени в единицах  $\text{г}/\text{см}^2$  углерода

Z	$C_Z$	W	$\Delta$	Z	$C_Z$	W	$\Delta$
${}^4\text{He}$	0	0,1255±0,0074	0,0521	Xe	0	0,1119±0,0054	0,0589
	1,01	0,0719±0,0029	0,1031		0,232	0,0379±0,0018	0,2809
Ne	0	0,1488±0,0040	0,0460	0,753	0,0156±0,0007	0,7958	
	0,112	0,1038±0,0039	0,0654	2,015	0,0062±0,0002	2,0997	
	0,470	0,0502±0,0015	0,1332	-----	-----	-----	
	1,404	0,0219±0,0007	0,3072	0	0,1182±0,0061	0,0485	
Ar	0	0,1420±0,0097	0,0568	0,089	0,0721±0,0047	0,1155	
	0,910	0,0270±0,0012	0,4213	1,426	0,0079±0,0004	1,2522	
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	0	0,1322±0,0046	0,0632	$\text{O}_2$	0	0,1360±0,0040	0,0413
	0,092	0,0980±0,0031	0,1024		0,220	0,0726±0,0022	0,0716
	0,222	0,0663±0,0023	0,1561		0,650	0,0360±0,0011	0,1380
0,478	0,0430±0,0024	0,2664	1,300		0,0192±0,0006	0,2310	
2,043	0,0126±0,0004	0,9645	2,500	0,0099±0,0004	0,4074		
Kr	0	0,1123±0,0053	0,0579	$\text{N}_2$	0	0,1263±0,0059	0,0428
	0,240	0,0384±0,0021	0,2230		0,091	0,1014±0,0046	0,0539
	0,808	0,0149±0,0008	0,6223		0,470	0,0446±0,0019	0,1018
	1,147	0,0112±0,0005	0,8685		1,000	0,0264±0,0011	0,1738
	-----	-----	-----		2,020	0,0145±0,0005	0,3070
	0	0,1165±0,0040	0,0399	$\text{CO}_2$	0	0,1283±0,0044	0,0399
	0,180	0,0477±0,0015	0,1262		0,450	0,0518±0,0017	0,0985
	0,470	0,0250±0,0008	0,2664		1,140	0,0271±0,0008	0,1900
1,950	0,0070±0,0003	1,0339	2,600	0,0131±0,0006	0,3797		
	-----	-----	-----	${}^3\text{F}_6$	0	0,1414±0,0050	0,0443
	-----	-----	-----		1,530	0,0184±0,0007	0,3236
	-----	-----	-----		2,580	0,0115±0,0004	0,5125
-----	-----	-----	3,570	0,0077±0,0004	0,7037		

ции примеси.  $W(C_Z)$  определяется двумя главными факторами: вероятностью посадки пиона на атомы  ${}^3\text{He}$ ,  $P(C_Z)$  и вероятностью перехвата пиона с  ${}^3\text{He}\pi^-$ -мезоатомом на атом примеси,  $Q(C_Z)$ .

По определению, вероятность посадки /атомного захвата/ равняется доле остановившихся в смеси пионов, которые образуют  ${}^3\text{He}\pi^-$ -мезоатомы:

$$P(C_Z) = n_{\text{He}\pi^-}^{\text{CM}} / n_{\text{ост}}^{\text{CM}} \quad /3/$$

Вероятность перехвата  $Q(C_Z)$  равняется доле  ${}^3\text{He}\pi^-$ -мезоатомов, в которых пионы не захватываются ядрами  ${}^3\text{He}$ :

$$Q(C_Z) = (n_{\text{He}\pi^-}^{\text{CM}} - n_{\text{яHe}}^{\text{CM}}) / n_{\text{He}\pi^-}^{\text{CM}} \quad /4/$$

Из формул /1/-/4/ получаем:

$$W(C_Z) = W(0)P(C_Z)(1 - Q(C_Z)) \quad /5/$$

Самым простым предположением для  $P(C_Z)$  является <sup>12/</sup>:

$$P(C_Z) = q_{\text{He}} n_{\text{He}} / (q_{\text{He}} n_{\text{He}} + q_Z n_Z) = 1 / (1 + A(Z/{}^3\text{He})C_Z) \quad /6/$$

где  $q_{\text{He}}$  и  $q_Z$  - константы скорости атомного захвата  $\pi^-$ -мезонов атомами  ${}^3\text{He}$  и  $Z$ ;  $n_{\text{He}}$  и  $n_Z$  - число атомов  ${}^3\text{He}$  и  $Z$  в единице объема мишени;  $C_Z = n_Z / n_{\text{He}}$  - относительная атомарная концентрация;  $A(Z/{}^3\text{He}) = q_Z / q_{\text{He}}$  - относительная /по  ${}^3\text{He}$ / вероятность посадки.

Как видно из рис.2, во всех изученных нами системах функция  $W(C_Z)$  достаточно хорошо описывается формулой /5/ в предположении, что  $Q(C_Z) = 0$  и  $P(C_Z)$  аппроксимируется формулой /6/. Величина  $W(0)/W(C_Z)$  линейно зависит от концентрации в широком диапазоне, что свидетельствует о том, что в смесях  ${}^3\text{He}+Z$  перехватом действительно можно пренебречь. Этот факт находится в хорошем согласии с теоретическими предсказаниями М.Леона<sup>11/</sup>, согласно которым не ожидается зависимости вероятности посадки  $A(Z/{}^3\text{He})$  от концентрации.

Поскольку для разных атомов и скорость торможения и сечения атомного захвата медленных пионов по-разному зависят от их энергии, добавление газа-примеси будет изменять вероятности атомного захвата в смеси. Если, например, средневзвешенное сечение атомного захвата атомов примеси будет расположено при большей энергии, чем аналогичное сечение для атомов гелия, то добавление газа-примеси будет подавлять захват пионов гелием. Как следует из рис.3, в этом предположении атомный захват пионов на  ${}^3\text{He}$  происходит в среднем при больших энергиях пионов, чем на атомы Ar, Kr, Xe, тогда как для смесей с  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{SF}_6$ , наоборот, захват на  ${}^3\text{He}$  происходит при меньших энергиях пиона, чем на эти газы. В этом случае должна наблюдаться зависимость вероят-

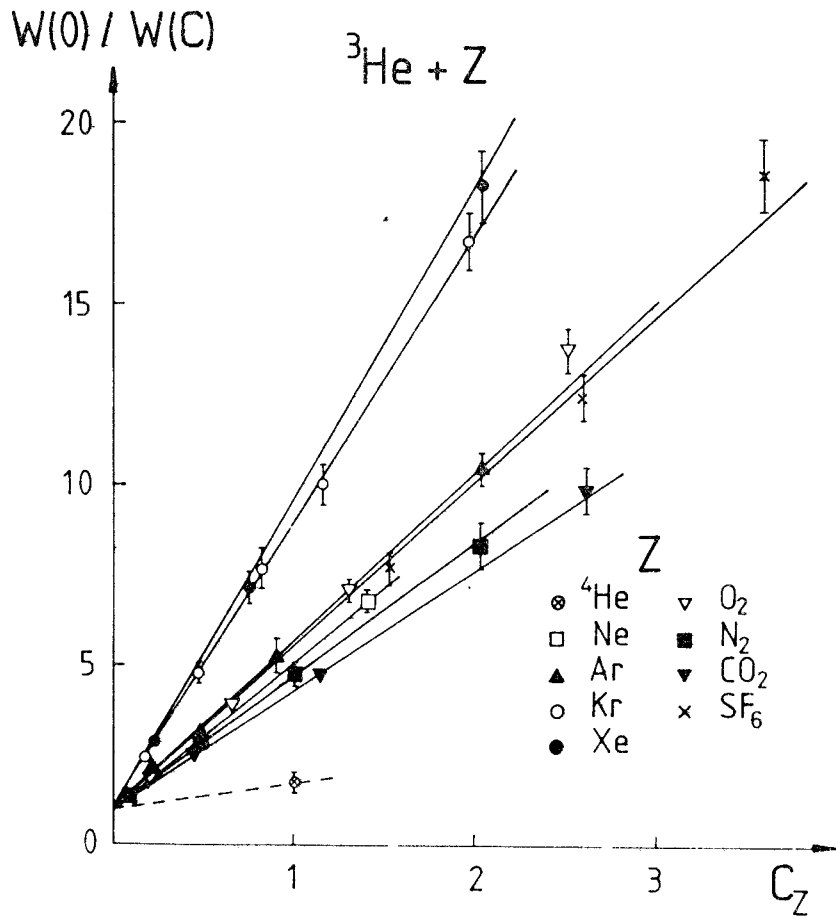


Рис.2. Обратная величина относительной вероятности перезарядки остановившихся  $\pi^-$ -мезонов на ядрах  ${}^3\text{He} + Z$  в газовых смесях  ${}^3\text{He} + Z$  в зависимости от атомарной концентрации примеси  $C_Z$ . Прямые проведены с использованием значений  $A(Z/{}^3\text{He})$  из табл.2 /см. текст/.

ности атомного захвата от концентрации примеси -  $A(Z/{}^3\text{He}) = A(C_Z)$ . Такая зависимость предсказывалась в работе [12]. В соответствии с этой работой мы считали, что в формуле [6]  $A(Z/{}^3\text{He}) = A(C_Z)$  и аппроксимировали  $A(C_Z)$  формулой [12]

$$A(C_Z) = A_0 \left( \frac{1 + \epsilon C_Z}{1 + C_Z} \right)^\nu, \quad (7)$$

где  $A_0 = \sigma_c^Z(\bar{E}_2) / \sigma_c^{\text{He}}(\bar{E}_2)$  - отношение сечений захвата пиона атомами  $Z$  и  $\text{He}$ , взятое при средней энергии  $\bar{E}_2$ , при которой происхо-

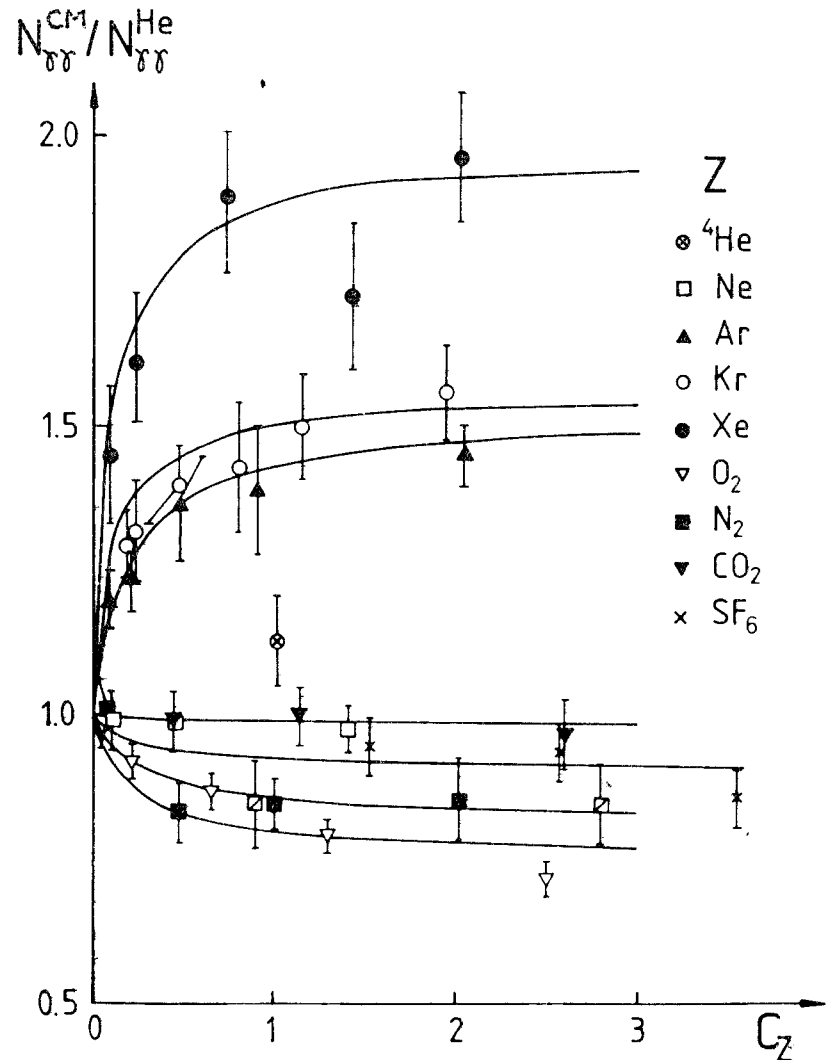


Рис.3. Относительный выход пар  $\gamma$ -квантов /  $\pi^0$ -мезонов/ от газовых смесей  ${}^3\text{He} + Z$  в зависимости от атомарной концентрации примеси  $C_Z$ . Кривые проведены по формуле [13] со значениями  $A(Z/{}^3\text{He})$  и  $\bar{S}_Z$  /см. табл.2/.  $\square$  - старые значения для системы  ${}^3\text{He} + \text{N}_2$ .

дит захват в чистом  $\text{He}$ ;  $\epsilon = \bar{E}_Z / \bar{E}_2$  - отношение средних энергий, при которых происходит захват в чистом  $Z$  и чистом  $\text{He}$ ;  $\nu = \nu_2 - \nu_Z$  - разность показателей энергетической зависимости сечений захвата атомами  $\text{He}$  и  $Z$ :  $\sigma_c^Z \sim 1/E^{\nu Z}$ .

Таблица 2

Результаты обработки экспериментальных данных для смесей  ${}^3\text{He} + Z$ .  $A(Z/{}^3\text{He})$  - относительная вероятность посадки /см. /6//;  $\bar{S}_Z$  - относительная по He тормозная способность атомов примесей /см. /13//;  $Z_{\text{эфф.}}$  - эффективный порядковый номер, полученный путем арифметического усреднения;  $L_Z$  - усредненное число слабосвязанных электронов на внешних оболочках атомов

Примесь	$Z_{\text{эфф.}}$	$L_Z$	$A(Z/{}^3\text{He})$	$\bar{S}_Z$	$\bar{S}_Z/A(Z/{}^3\text{He})$
${}^4\text{He}$	2	2	$0,75 \pm 0,13$	1,00	$1,33 \pm 0,23$
Ne	10	8	$4,13 \pm 0,15$	$4,04 \pm 0,02$	$0,98 \pm 0,04$
Ar	18	8	$4,54 \pm 0,16$	$6,97 \pm 0,04$	$1,54 \pm 0,05$
Kr	36	18	$8,00 \pm 0,23$	$12,54 \pm 0,14$	$1,57 \pm 0,05$
Xe	54	18	$8,66 \pm 0,31$	$17,20 \pm 0,11$	$1,99 \pm 0,07$
$\text{N}_2$	7	5	$3,74 \pm 0,16$	$3,05 \pm 0,02$	$0,82 \pm 0,04$
$\text{CO}_2$	7,3	5,3	$3,33 \pm 0,13$	$3,28 \pm 0,01$	$0,98 \pm 0,04$
$\text{O}_2$	8	6	$4,68 \pm 0,18$	$3,54 \pm 0,01$	$0,76 \pm 0,03$
$\text{SF}_6$	10	6,9	$4,57 \pm 0,15$	$4,14 \pm 0,02$	$0,91 \pm 0,03$

Нам не удалось найти разумной аппроксимации данных формулами /6/ и /7/. Коэффициенты  $\epsilon$  и  $\nu$  принимали нефизические значения при больших погрешностях. Таким образом, в пределах погрешностей наших измерений невозможно проверить предсказания /12/. Можно констатировать, что эти эффекты /12/ имеют малую величину, и вероятность атомного захвата мезонов в смеси  $A(Z/{}^3\text{He})$  не зависит от концентрации в согласии с предсказаниями М.Леона /11/.

Экспериментально определенные значения  $A(Z/{}^3\text{He})$  приведены в табл.2. Их зависимость от порядкового номера  $Z$  слаба. Предложенная в работе /3/ эмпирическая формула

$$A(Z/H) = \alpha_H (Z^{1/3} - 1) \quad /8/$$

давала хорошую аппроксимацию  $Z$ -зависимости атомного захвата пионов в смесях  $\text{H}_2 + Z$  при  $\alpha_H = 7,1 \pm 0,1$ . Совместная обработка всех наших данных по формулам /6/ и /8/ дает  $\alpha_{\text{He}} = 3,78 \pm 0,11$ . Если учесть относительную по водороду величину константы посадки для гелия  $A(\text{He}/\text{H}) = 1,84$  по /3/, то получается хорошее согласие:  $\alpha_{\text{He}} \approx \alpha_H / A(\text{He}/\text{H})$ . Аппроксимация по формуле /8/ дает большое  $\chi^2$  на одну степень свободы  $\sim 6,4$ . Возможно, что этот факт связан с ассоциированием атомов в молекулах  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{SF}_6$ , поскольку

включение в совместную обработку только благородных газов дает  $\alpha_{\text{He}} = 3,27 \pm 0,07$  и  $\chi^2 = 2,0$ .

Как отмечалось ранее /3/ и как видно из табл.2, значения относительных вероятностей посадки  $A(Z/{}^3\text{He})$  для благородных газов пропорциональны числу  $L_Z$  электронов, имеющих малый потенциал ионизации /внешние электроны/. Отсюда же следует и слабая зависимость  $A(Z/{}^3\text{He})$  от порядкового номера  $Z$ .

Мы попытались установить соотношение между процессами торможения и атомного захвата /посадки/ пионов в газовых смесях. Ранее, в наших старых работах /1/, предполагалось, что посадка пионов на атомные орбиты происходит в первом приближении пропорционально тормозным способностям компонентов газовых смесей. Из этого предположения следует, что, во-первых, при фиксированном количестве  ${}^3\text{He}$  в мишени выход пар  $\gamma$ -квантов не должен меняться с концентрацией  $C_Z$ , во-вторых, относительные вероятности посадки  $A(Z/{}^3\text{He})$  и относительные тормозные способности  $S_Z$  должны быть равными.

Выход пар  $\gamma$ -квантов  $N_{\gamma\gamma}$  пропорционален числу образовавшихся в мишени  $\pi^0$ -мезонов  $n_{\pi^0}$ . Поэтому, сравнивая формулы /1/ и /2/, получим:

$$N_{\gamma\gamma}^{\text{см}} / N_{\gamma\gamma}^{\text{He}} = n_{\pi^0}^{\text{см}} / n_{\pi^0}^{\text{He}} = (W(C) / W(0)) (n_{\text{ост}}^{\text{см}} / n_{\text{ост}}^{\text{He}}). \quad /9/$$

Число заряженных частиц, остановившихся в смеси газов  ${}^3\text{He} + Z$ , можно определить, полагая, что оно пропорционально тормозной толщине мишени /7/. Тормозная толщина смеси  $\Delta^{\text{см}}$  в хорошем приближении представляет собой сумму тормозных толщин отдельных компонент смеси:

$$\Delta^{\text{см}} = \Delta^{\text{He}} + \Delta^Z. \quad /10/$$

Поэтому в /9/ можно заменить отношение числа остановок отношением тормозных толщин компонент смеси:

$$N_{\gamma\gamma}^{\text{см}} / N_{\gamma\gamma}^{\text{He}} = (W(C_Z) / W(0)) (\Delta^{\text{He}} + \Delta^Z) / \Delta^{\text{He}}. \quad /11/$$

Тормозная толщина мишени в первом приближении пропорциональна усредненной по энергии мезона тормозной способности одного атома  $\bar{B}_Z$  и числу атомов в единице объема мишени  $n_Z$ :

$$\Delta^Z \sim \bar{B}_Z n_Z. \quad /12/$$

При сравнении соотношений /5/, /6/, /11/ и /12/ получим:

$$N_{\gamma\gamma}^{\text{см}} / N_{\gamma\gamma}^{\text{He}} = (1 + \bar{S}_Z C_Z) / (1 + A(Z/{}^3\text{He}) C_Z), \quad /13/$$

где  $\bar{S}_Z = \bar{B}_Z / \bar{B}_{\text{He}}$  - относительная по гелию тормозная способность атомов компонента  $Z$  в мишени.  $\bar{S}_Z$  можно определить, используя

аппроксимацию вида

$$\Delta_{\text{He}}^{\text{см}} / \Delta = 1 + \bar{S}_Z C_Z \quad /14/$$

В табл.2 приведены определенные по формуле /14/ усредненные относительные тормозные способности  $\bar{S}_Z$  атомов Z. Сплошные кривые на рис.3 проведены в соответствии с формулой /13/ при использовании  $A(Z/{}^3\text{He})$  и  $\bar{S}_Z$  из табл.2. Насыщение кривых для всех без исключения примесей Z на рис.3 при  $C_Z > 1$  также означает, что перехват не имеет места. На этом рисунке явно видно, что старые данные для  ${}^3\text{He} + \text{N}_2$  и настоящие измерения хорошо совпадают. При больших значениях  $C_Z$  кривые приближаются к величине  $\bar{S}_Z / A(Z/{}^3\text{He})$ . Если предположение, что посадка пионов происходит пропорционально тормозным способностям  $1/V$ , выполняется для всех примесей Z, т.е.  $q_Z / \bar{V}_Z = q_{\text{He}} / \bar{V}_{\text{He}}$  то  $\bar{S}_Z / A(Z/{}^3\text{He})$  должно быть равным единице. Однако, как видно из табл.2,  $\bar{S}_Z / A(Z/{}^3\text{He}) > 1$  для Ar, Kr, Xe;  $\sim 1$  для Ne и  $\text{CO}_2$  и  $< 1$  для  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{SF}_6$ . В этих результатах отражается тот факт, что первоначальная посадка пионов на атомные орбиты в смесях  ${}^3\text{He} + Z$  происходит непропорционально тормозным способностям компонентов. Интересно отметить, что  $\bar{S}_Z / A(Z/{}^3\text{He})$  линейно растет с увеличением  $Z^{1/3}$ . В то же время не видно явного влияния сродства примесей к электрону, поскольку значения  $\bar{S}_Z / A(Z/{}^3\text{He})$  для  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{SF}_6$  близки /табл.2/.

В <sup>12</sup> указывалось на возможность существования изотопического эффекта при образовании мезоатомов в смесях изотопов. Наибольшей величины изотопический эффект достигает для самых легких атомов. По оценкам <sup>12</sup>, для смеси  ${}^3\text{He} + {}^4\text{He}$  отношение вероятностей атомного захвата пионов  $\delta_{4,3}^{\text{He}} = A({}^4\text{He}/{}^3\text{He}) = 0,94$ . По нашим измерениям  $\delta_{4,3}^{\text{He}} = 0,75 \pm 0,13$  /см. табл.2/, что, с учетом большой погрешности этих измерений, можно рассматривать как указание на наличие изотопического эффекта в атомном захвате мезонов.

Этот эффект и точное знание величины  $\delta_{1,2,3}^{\text{H}}$ , которая будет больше отличаться от 1 для изотопов водорода, могут оказаться существенными при изучении  $\mu$ -катализа ядерных реакций <sup>18</sup> и требуют поэтому экспериментального определения.

Нам приятно выразить благодарность С.П.Круглову и И.А.Ютландову за содействие, А.Минковой и А.К.Качалкину за помощь в работе, Г.Я.Коренману и В.М.Суворову за полезные обсуждения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Петрухин В.И., Прокошкин Ю.Д., Филиппов А.И. ЯФ, 1967, 6, с.1008.
2. Петрухин В.И., Прокошкин Ю.Д., Суворов В.М. ЖЭТФ, 1968, 55, с.2173.
3. Петрухин В.И., Суворов В.М. ЖЭТФ, 1976, 70, с.1145.

4. Petrukhin V.I., Prokoshkin Yu.D., Nucl.Phys., 1964, 54, p.414.
5. Bassaleck B. et al. Nucl.Phys., 1981, A362, p.445.
6. Хорват Д. ОИЯИ, 10-12229, Дубна, 1979.
7. Barkas W.H., Berger M.J. In: Studies in Penetration of Charged Particles in Matter. NAS-NRC 1133, 1964, p.103.
8. Cocconi V.T. et al. Nuovo Cim., 1961, 22, p.494.
9. Займидорога О.А. и др. ЖЭТФ, 1965, 48, с.1276.
10. Truol P. et al. Phys.Rev.Lett., 1974, 32, p.1268.
11. Leon M. Phys.Rev., 1978, A17, p.2112.
12. Korenman G.Ya., Rogovaya S.I. Radiation Effects, 1980, 46, p.189.
13. Пономарев Л.И. ОИЯИ, P4-81-800, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 ноября 1982 года.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
D17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
D6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
D3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
D13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
D1,2-12036	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
D1,2-12450	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
D1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
D11-80-13	Труды VII. Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D4-80-271	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-385	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

<p>Банников А.В. и др. P1-82-789 Изучение атомного захвата остановившихся <math>\pi^-</math>-мезонов в бинарных смесях <math>^3\text{He}</math> с другими газами</p> <p>Проведено систематическое изучение атомного захвата отрицательно заряженных пионов атомами <math>^3\text{He}</math> в бинарных газовых смесях <math>^3\text{He}+Z</math>, где <math>Z</math> есть <math>^4\text{He}</math>, <math>\text{Ne}</math>, <math>\text{Ar}</math>, <math>\text{Kr}</math>, <math>\text{Xe}</math>, <math>\text{N}_2</math>, <math>\text{O}_2</math>, <math>\text{CO}_2</math> и <math>\text{SF}_6</math>. Полученные результаты анализируются в рамках феноменологической модели. Показано, что перехват пионов с мезоатомов <math>^3\text{He}\pi^-</math> на более тяжелые атомы <math>Z</math> не происходит. Установлено, что относительная по <math>^3\text{He}</math> вероятность атомного захвата <math>\Lambda(Z/^3\text{He})</math> не зависит от концентрации примеси <math>Z</math> в газовой смеси <math>^3\text{He}+Z</math>. Посадка пиона на атомную орбиту происходит непропорционально тормозной способности компонентов смеси. Вероятность атомного захвата пионов в смеси <math>^3\text{He}+^4\text{He}</math> <math>\Lambda(^4\text{He}/^3\text{He}) = 0,75 \pm 0,13</math>, что может рассматриваться как указание на наличие изотопического эффекта. Измерена вероятность ядерной перезарядки <math>\pi^- + ^3\text{He} \rightarrow \pi^0 + ^3\text{H}</math>, она оказалась равной <math>0,128 \pm 0,012</math>.</p> <p>Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, Ленинградском институте ядерной физики АН СССР и Центральном институте физических исследований ВАН.</p> <p>Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982</p>
<p>Bannikov A.V. et al. P1-82-789 Studies on the Atomic Capture of Stopped Negative Pions in Binary Mixtures of <math>^3\text{He}</math> with Other Gases</p> <p>Systematic study has been carried out on the atomic capture of negative pions by <math>^3\text{He}</math> in binary gas mixtures of <math>^3\text{He}+Z</math>, where <math>Z</math> is <math>^4\text{He}</math>, <math>\text{Ne}</math>, <math>\text{Ar}</math>, <math>\text{Kr}</math>, <math>\text{Xe}</math>, <math>\text{N}_2</math>, <math>\text{O}_2</math>, <math>\text{CO}_2</math> and <math>\text{SF}_6</math>. The results are analysed in the framework of a phenomenological model. It is shown, that there is no pion transfer from the <math>^3\text{He}\pi^-</math> mesic atoms to the heavier atoms of <math>Z</math>. The atomic capture ratio <math>\Lambda(Z/^3\text{He})</math> in <math>^3\text{He}+Z</math> mixtures does not depend on the impurity concentration. The probability of pion capture onto the atomic orbit is not proportional to the stopping powers of the components of the mixture. The atomic capture ratio of pions in the <math>^3\text{He}+^4\text{He}</math> mixture is <math>\Lambda(^4\text{He}/^3\text{He}) = 0.75 \pm 0.13</math>, which might be the indication of isotopic effect. The branching ratio for the charge exchange reaction of <math>\pi^- + ^3\text{He} \rightarrow \pi^0 + ^3\text{H}</math> is found to be <math>0.128 \pm 0.012</math>.</p> <p>The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR; the Leningrad Institute of Nuclear Physics, the USSR Academy of Sciences, and the Central Institute of Nuclear Researches, Hungarian Academy of Sciences.</p> <p>Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982</p> <p>Перевод О.С.Виноградовой.</p>