

2-896



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

15-11172

**ЧУЛТЭМ  
Даржаагийн**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ  
ОСТАНОВИВШИХСЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ПИОНОВ  
ТЯЖЕЛЫМИ И СРЕДНИМИ ЯДРАМИ**

**Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика**

**Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени доктора физико-математических наук**

**Дубна 1978**

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем  
Объединенного института ядерных исследований

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук С.С.Герштейн (ИФВЭ, Серпухов),  
доктор физико-математических наук В.М.Сидоров (ЛЯП, ОИЯИ, Дубна),  
доктор физико-математических наук А.Б.Курепин (ИЯИ АН СССР,  
Москва).

Ведущее предприятие:

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1978 года.

Защита диссертации состоится в \_\_\_\_\_ час. " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1978г.  
на заседании специализированного совета Д-047.01.03 при Лабора-  
тории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований,  
г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

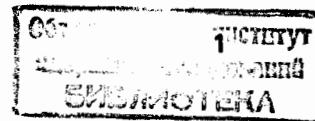
Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук

Ю.А.Батусов

Квант поля ядерных сил - пион, теоретически предсказанный  
Х.Юкавой, впервые был открыт в 1947 году в космических лучах с  
помощью фотоэмульсионного метода.

В первой же работе помимо  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + e^+$  распада было обна-  
ружено ядерное поглощение отрицательных пионов (сигма звезды), от-  
ветственное за сильное взаимодействие. Интенсивное изучение этого  
процесса началось с создания пионных пучков на ускорителях. Иссле-  
дования, проводившиеся в разных странах в течение 30 лет, дали много  
важных сведений о механизме ядерного поглощения медленных пионов и  
процессах, сопровождающих эту реакцию. Экспериментальные ис-  
следования сводились к определению множественности и спектра ис-  
пускаемых нейтронов, определению вероятности и спектра заряженных  
фрагментов, измерению спектра гамма-лучей, ширины и сдвигов уров-  
ней пионных атомов, определению вероятности вылета коррелирован-  
ных пар нуклонов, вероятности деления и спектра осколков и т.д.

В результате этих исследований твердо установлено, что взаи-  
мдействие медленных отрицательных пионов с атомными ядрами про-  
исходит через стадию образования пионных атомов и фактически каж-  
дый остановившийся в веществе отрицательный пион поглощается атом-  
ным ядром.



Эта реакция характеризуется большой (140 МэВ) передаваемой энергией и малым вносимым импульсом и угловым моментом. Согласно современным представлениям, поглощение отрицательного пиона с мезоатомной орбиты протекает в результате взаимодействия пиона с ядерными кластерами — нуклонными ассоциациями на поверхности атомного ядра.

За последние годы было опубликовано несколько обзоров экспериментальных и теоретических работ о поглощении пионов ядрами, в связи с чем автор счел возможным не делать в диссертации подобного обзора.

В диссертации изложены новые экспериментальные результаты, полученные с использованием высокоинтенсивного пучка пионов на синхротронном ОИЯИ. Исследования выполнены в течение 1974–1977 годов. Это совпало с началом нового периода, когда интерес к проблеме пион-ядерного взаимодействия снова возрос в связи с вводом в действие мезонных фабрик, позволяющих провести измерения на качественно новом уровне.

Целью исследований, составляющих содержание реферируемой диссертации, являлось получение новых, точных экспериментальных данных о поглощении остановившихся отрицательных пионов ядрами в малоизученной области средних и тяжелых ядер.

Диссертация состоит из семи глав.

В первой главе кратко описывается методика исследования, основанная на идентификации остаточных ядер в реакции поглощения пиона.

Метод активации как в радиохимическом, так и бездеструктивном его варианте является наиболее удобным методом исследования ядерного поглощения пиона при высокой интенсивности пучка.

Результаты экспериментов, вошедшие в диссертацию, получены, в основном, с применением метода активации по схеме:

облучение — охлаждение — измерение.

Времена облучения и измерения варьировались в зависимости от периода полураспада ожидаемых ядер — продуктов реакции и составляли от нескольких минут до нескольких часов.

Измерение спектров производилось с помощью  $Ge(Li)$ -детекторов. Их обработка осуществлялась на ЭВМ HP-2116с и БЭСМ-6.

Идентификация образующихся в реакции изотопов производилась по энергиям гамма-лучей и соотношению их интенсивностей. В отдельных случаях идентификация проверялась по спаду активности в серии последовательно измеренных спектров. Относительные выходы изотопов вычислялись из интенсивности гамма-лучей с учетом таких факторов, как эффективность их регистрации, времени облучения, охлаждения и измерения, а также коэффициентов самопоглощения в мишени. Измеренные и изобарные отношения вычислялись на основании простых соотношений, вывод которых дается в Приложении к диссертации.

Во второй главе обсуждается результат эксперимента по определению относительных выходов изотопов таллия, образующихся в реакции поглощения пиона ядрами свинца<sup>1,2/</sup>.

В случае моноизотопных (обогащенных) мишеней относительные выходы изотопов характеризуют распределение множественности вылетающих нейтронов.

На рис.1 представлено это распределение, из которого видно:

1. Среднее число нейтронов, испускаемых при поглощении пиона тяжелыми ядрами ( $A \approx 200$ ), порядка десяти, что хорошо согласуется с известными данными, полученными путем непосредственной регистрации числа нейтронов или измерения их энергии;

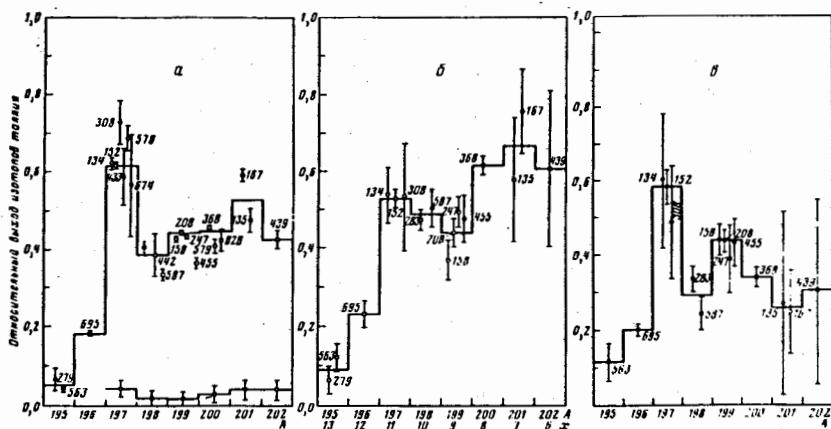


Рис. 1. Относительные выходы изотопов таллия в реакции  $Pb + \pi^-$ .  
 а - мишень из естественной смеси изотопов,  
 б - мишень, обогащенная изотопом  $^{208}Pb$ ,  
 в - мишень, обогащенная изотопом  $^{206}Pb$ .

2. Форма распределения характеризуется большой шириной, а также некоторой структурой в виде двух максимумов.

Обе эти особенности распределения нашли успешное объяснение на основе каскадно-испарительной модели Ильинова и др.<sup>/3/</sup>

В работе<sup>/3/</sup> показано, что два максимума в распределении множественности нейтронов могут проявляться только в тяжелых ядрах ( $A \approx 200$ ) и эти максимумы ответственны за разные механизмы поглощения.

Экспериментальный результат хорошо описывается, если предположить, что 3/4 случаев поглощения происходит на квазидейтронах, а 1/4 - на альфа-частичных кластерах.

Третья глава посвящена обсуждению явления возбуждения высокоспиновых ядерных состояний при поглощении пиона. Речь идет об об-

наружения ранее неизвестного явления, которое проявилось в активационных опытах как возбуждение ядерных изомеров со спином, существенно превосходящим суммарный угловой момент пиона и ядра в начальном состоянии<sup>/4,5,6/</sup>.

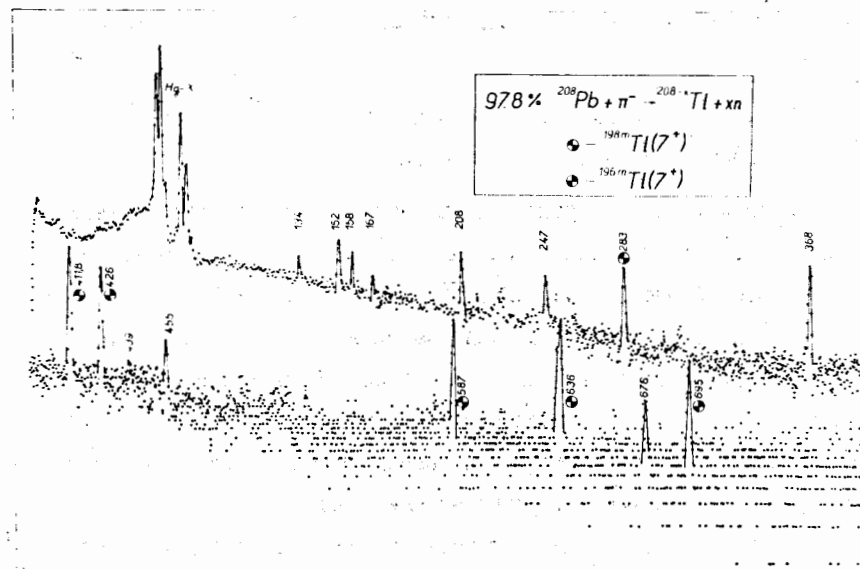


Рис. 2. Спектр гамма-лучей изотопов таллия, образующихся в реакции  $^{208}Pb(\pi^-, xn)$ .

Этот факт впервые обнаружен нами путем наблюдения высокоспиновых изомеров  $^{169}Tl$  и  $^{198}Tl$  со спином  $7\hbar$  в реакции  $^{208}Pb(\pi^-, xn)$ . В этом случае угловой момент конечного ядра более чем в 2 раза превосходит начальный угловой момент (см. рис. 2). Вероятность образования высокоспиновых изомеров превосходила в несколько раз вероятность образования низкоспиновых изомеров  $^{196}Tl$  и  $^{198}Tl$  со спином  $2\hbar$ .

Для выяснения этого, на первый взгляд, необычного факта были приняты два направления экспериментального исследования:

1) Выяснить, является ли возбуждение высокоспиновых состояний остаточных ядер универсальным явлением, характеризующим сам процесс поглощения пиона, или случайным фактом, характерным для узкого круга ядер.

2) Попытаться выяснить сам механизм возбуждения высокоспиновых ядерных состояний при поглощении пиона.

Исследования в первом направлении дали яркое подтверждение универсальности явления. Эксперименты велись в основном на ядрах из областей изомерных островов  $Z \leq 82$ <sup>7-11/</sup> и  $Z \leq 50$ <sup>12/</sup>, которые являлись весьма удобными с экспериментальной точки зрения (см. таблицу 1). Впоследствии наши данные подтвердились и работами физиков СиНа и ЦЕРНа, наблюдавших возбуждение вращательной полосы остаточного ядра в спектре "мгновенных" гамма-лучей при поглощении пиона некоторыми деформированными ядрами.

Из наших экспериментов также следует, что исследуемое явление не зависит от деформации ядра<sup>5,6,13/</sup>.

Таблица 1

Реакции	Высокоспиновые изомеры
Bi (Π <sup>-</sup> , xn)	204 <sup>m</sup> Pb(9 <sup>-</sup> ), 203 <sup>m</sup> Pb(13/2 <sup>+</sup> ), 202 <sup>m</sup> Pb(9 <sup>-</sup> ), 201 <sup>m</sup> Pb(13/2 <sup>+</sup> ), 199 <sup>m</sup> Pb(13/2 <sup>+</sup> ), 197 <sup>m</sup> Pb(13/2 <sup>±</sup> )
Pb (Π <sup>-</sup> , xn) Bi (Π <sup>-</sup> , pxn)	198 <sup>m</sup> Tl(7 <sup>+</sup> ), 196 <sup>m</sup> Tl(7 <sup>+</sup> )
Tl (Π <sup>-</sup> , xn) Pb (Π <sup>-</sup> , pxn)	199 <sup>m</sup> Hg(13/2 <sup>+</sup> ), 197 <sup>m</sup> Hg(13/2 <sup>+</sup> ), 195 <sup>m</sup> Hg(13/2 <sup>+</sup> ), 193 <sup>m</sup> Hg(13/2 <sup>+</sup> ).
Hg(Π <sup>-</sup> , xn) Tl (Π <sup>-</sup> , pxn)	200 <sup>m</sup> Au(12 <sup>-</sup> ), 198 <sup>m</sup> Au(12 <sup>-</sup> ), 196 <sup>m</sup> Au(12 <sup>-</sup> )

(продолжение таблицы)

Au (Π <sup>-</sup> , xn) Hg (Π <sup>-</sup> , pxn)	197 <sup>m</sup> Pt(13/2 <sup>+</sup> ), 195 <sup>m</sup> Pt(13/2 <sup>+</sup> ), 193 <sup>m</sup> Pt(13/2 <sup>+</sup> )
Pt (Π <sup>-</sup> , xn) Au (Π <sup>-</sup> , pxn)	190 <sup>m</sup> Ir(11 <sup>-</sup> )
Ta (Π <sup>-</sup> , xn)	177 <sup>m</sup> Hf(37/2 <sup>-</sup> )
Er (Π <sup>-</sup> , xn) Tm (Π <sup>-</sup> , pxn)	158 <sup>m</sup> Ho(9 <sup>+</sup> ), 160 <sup>m</sup> Ho(9 <sup>+</sup> ), 162 <sup>m</sup> Ho(6 <sup>-</sup> )
In(Π <sup>-</sup> , xn) Sn(Π <sup>-</sup> , pxn) Sb(Π <sup>-</sup> , 2pxn)	111 <sup>m</sup> Cd(11/2 <sup>-</sup> )
Cd (Π <sup>-</sup> , xn)	106 <sup>m</sup> Ag(6 <sup>+</sup> ), 105 <sup>m</sup> Ag(7/2 <sup>+</sup> ), 104 <sup>m</sup> Ag(5 <sup>+</sup> ) 103 <sup>m</sup> Ag(7/2 <sup>+</sup> )
Cd (Π <sup>-</sup> , pxn)	111 <sup>m</sup> Pd(11/2 <sup>-</sup> ), 109 <sup>m</sup> Pd(11/2)
Pd (Π <sup>-</sup> , xn)	106 <sup>m</sup> Rh(5 <sup>+</sup> ), 101 <sup>m</sup> Rh(9/2 <sup>+</sup> ), 99 <sup>m</sup> Rh(9/2 <sup>+</sup> )
Ag (Π <sup>-</sup> , pxn)	105 <sup>m</sup> Rh(7/2 <sup>+</sup> ), 97 <sup>g</sup> Rh(9/2 <sup>+</sup> )
Pd (Π <sup>-</sup> , pxn) Ag (Π <sup>-</sup> , 2pxn)	95 <sup>g</sup> Ru(7/2 <sup>+</sup> )
Pd (Π <sup>-</sup> , 2pxn) Ag (Π <sup>-</sup> , 3pxn)	101 <sup>g</sup> Tc(9/2 <sup>+</sup> ), 96 <sup>m</sup> Tc(4 <sup>+</sup> ), 95 <sup>g</sup> Tc(9/2 <sup>+</sup> ) 94 <sup>g</sup> Tc(6/7 <sup>+</sup> ), 93 <sup>g</sup> Tc(9/2 <sup>+</sup> )
Pd (Π <sup>-</sup> , 3pxn) Ag (Π <sup>-</sup> , 4pxn)	93 <sup>m</sup> Mo(21/2 <sup>+</sup> )

Исследование второго направления было стимулировано работой Ильинова и др.<sup>13/</sup>, где дано объяснение явления возбуждения высокоспиновых ядерных состояний пионами на основе квазидейтронного

механизма поглощения. Согласно этому объяснению, закручивание остаточного ядра может происходить в результате отдачи вылетающего из ядра быстрого нуклона.

Расчеты, основанные на такой гипотезе, показали, что должна наблюдаться ярко выраженная корреляция между угловым моментом остаточного ядра и множественностью вылетающих нейтронов.

Нами экспериментально определялась вероятность возбуждения высокоспиновых изомеров  $^{108m}\text{In}$  ( $I=6\hbar$ ) и  $^{110m}\text{In}$  ( $I=7\hbar$ ) в результате поглощения пиона четными изотопами олова ( $A=112-124$ ,  $I=0$ ).

на рис.3 представлен полученный результат<sup>/14/</sup>, который хорошо согласуется с предсказаниями квазидейтронной модели возбуждения высокоспиновых ядерных состояний при пи-захвате.

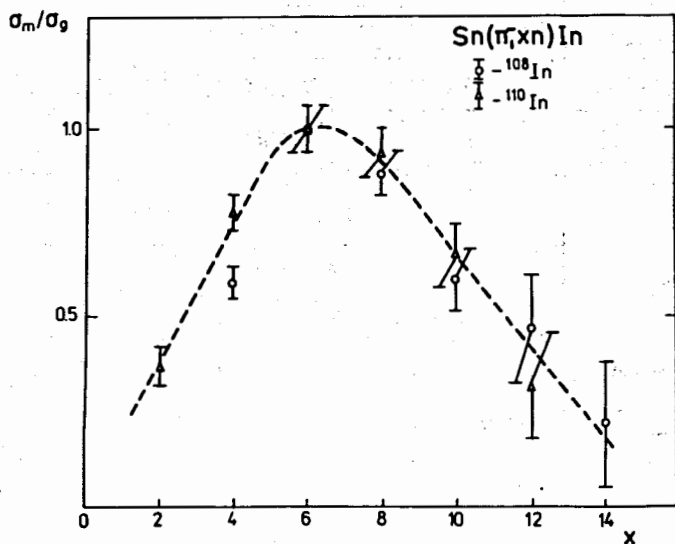


Рис.3. Зависимость изомерного отношения в реакции  $\text{Sn}(\pi^-, xn)^{108,110}\text{In}$  от множественности нейтронов. Все величины нормированы к случаю  $x=6$ .

Четвертая глава посвящена исследованию расщепления средних и тяжелых ядер остановившимися пионами. Эксперименты проводились на ядрах  $\text{Bi}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Tl}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{Pt}$  из области  $Z \approx 82$  и  $\text{Sb}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{In}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Pd}$  из области  $Z \approx 50$ .

Как было уже сказано, эти исследования велись для подтверждения явления возбуждения высокоспиновых ядерных состояний пионами. С другой стороны, при переходе от области тяжелых ядер к области средних ядер предоставляется возможность проследить влияние кулоновского барьера на эмиссию заряженных частиц.

Этот вопрос до последнего времени оставался слабоизученным. Наши измерения, основанные на идентификации остаточных ядер, показали, что для тяжелых ядер множественность заряженных частиц не превосходит 1-2, а для средних ядер она увеличивается до 4.

Теоретические расчеты множественности заряженных частиц при  $\pi$ -захвате как по статистической, так и по экситонной модели находятся для средних ядер в удовлетворительном согласии с нашими экспериментальными данными.

Новые же данные, полученные на мезонных фабриках Лос-Аламоса и СиНа, также подтверждают наши результаты. Для нейтрондефицитных изотопов наряду с кулоновским барьером на выход заряженных частиц влияет соотношение энергий связи нейтронов и протонов. Замечено, что в реакции  $\text{Ag}(\pi^-, xn\text{p})$  распределение числа нейтронов не зависит от числа протонов и имеет границу на  $N=50$ , т.е. при достижении замкнутой оболочки вместо нейтронов вылетают протоны. Естественно, эта ситуация возможна при малых энергиях возбуждения, когда испускается большое число нуклонов<sup>/12/</sup>.

Пятая глава посвящена исследованию деления средних и тяжелых ядер пионами. С помощью низкофоновых слюдяных детекторов определены относительные вероятности деления ядер от  $\text{Ag}$  до  $\text{U}$  (15 ядер).

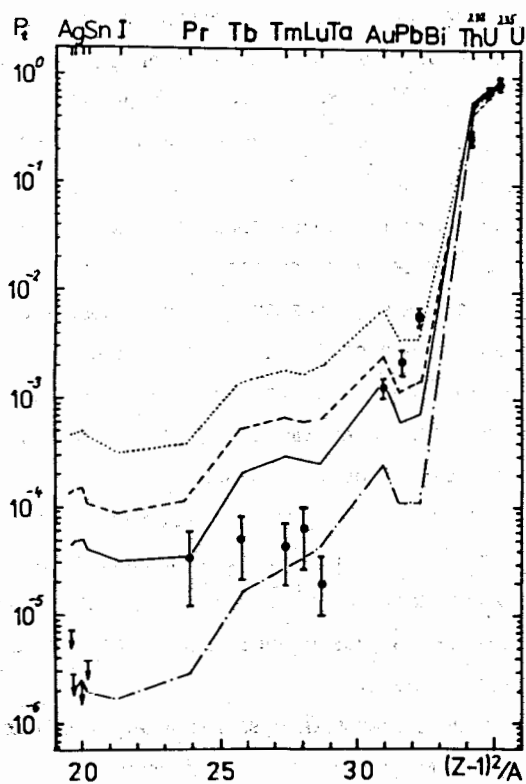


Рис.4. Вероятность деления ядер остановившимися пионами.

Точки - наш эксперимент<sup>/15/</sup>.  
 Линии - различные варианты теории<sup>/35/</sup>.

На рис.4 показаны наши экспериментальные точки<sup>/15,16/</sup> в сравнении с расчетными значениями из работы Ильинова и др.<sup>/3/</sup>.

Аналогичный результат получен впоследствии на мезонной фабрике СИН с применением детектора "спиннер".

В диссертации также исследовалось влияние канала деления на распределение множественности нейтронов<sup>/17/</sup>. В случае сильноделя-

щегося ядра  $^{232}\text{Th}$  распределение множественности нейтронов значительно уже, чем в случае слабоделящегося ядра  $\text{Pb}$ .

Этот эксперимент выполнен в радиохимическом варианте. Регистрировались альфа-распады изотопов астата, являющихся внучатыми изотопов актиния.

В шестой главе рассматривается результат исследований однонуклонного и двухнуклонного поглощения пиона в связи с некоторыми проблемами структуры атомного ядра. Одной из таких проблем является пионная конденсация.

Закон сохранения энергии и импульса требуют для однонуклонного поглощения пионов в ядре импульса внутриядерного нуклона порядка 500 МэВ/с. С другой стороны, импульсное распределение нуклонов в ядре имеет границу значительно ниже этой величины, что соответствует сильному подавлению однонуклонного поглощения пиона. Однако в работе<sup>/18/</sup> было показано, что в случае существования пионного конденсата в ядре должно происходить усиление однонуклонного поглощения пиона в  $10^2-10^3$  раз, и, по мнению авторов, опыт по измерению вероятности однонуклонного поглощения медленного пиона атомными ядрами может явиться критическим экспериментом для ответа на вопрос: есть ли пионный конденсат в ядре?

В нашей работе<sup>/19/</sup> определен верхний предел вероятности реакции  $^{181}\text{Ta}(\pi^-, n)^{180\text{m}}\text{Hf}$ . Он оказался равным  $10^{-5}$ .

Полученный результат показывает, во-первых, что нерadiационный захват пиона в ядре происходит главным образом на нуклонных ассоциациях, а не на отдельных нуклонах.

Этот вывод согласуется с анализом высокоэнергетической части спектра нейтронов, испускаемых при захвате остановившихся пионов ядрами, где не обнаружен пик от однонуклонного поглощения. Во-вторых, если действительно существует однозначная связь между одно-

нуклонным поглощением пиона и пи-конденсатом, то наш результат является прямым указанием на то, что в реальных ядрах пи-конденсат отсутствует.

Другой проблемой, обсуждаемой в данной главе, является текстура ядерной поверхности. В нашей работе<sup>/10,20/</sup> определялось отношение сечений образования изотопов  $^{200}\text{Pb}$  и  $^{200}\text{Tl}$  в результате реакций  $\text{Bi}(\pi^-, 9n)$  и  $\text{Bi}(\pi^-; p8n)$ . Из этого отношения  $\Psi$  найдено отношение  $np$ -и  $pp$ -кластеров на поверхности ядра  $R$ :

$$R = \frac{N_{np}}{N_{pp}} \approx \frac{\Psi - 1}{2} = 5,0 \pm 2,8,$$

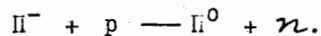
Полученный результат показывает преимущественную обогащенность поверхности тяжелого ядра  $np$ -кластерами, по сравнению с  $pp$ -кластерами.

Это явление было хорошо известным для легких ядер, а в случае тяжелых ядер существовала большая неопределенность.

Рассмотренные в этой главе два примера показывают, что опыты по пи-захвату являются важными не только для выяснения механизма самой реакции, но и служат инструментом для исследования структуры ядра.

В седьмой главе предложен новый экспериментальный подход к исследованию мезохимических эффектов.

Известно, что мезохимические эффекты исследуются для обширного класса водородсодержащих соединений по степени подавления реакции перезарядки пиона:



Однако экспериментальные данные об относительных вероятностях образования пионных атомов в химических соединениях тяжелых элементов весьма скудны.

Из-за сильного пион-ядерного взаимодействия отсутствуют как распад отрицательного пиона с мезоатомных орбит, так и радиационные переходы между низколежащими состояниями пионного атома. Поэтому для изучения влияния химических связей на вероятность образования мезоатома измерялись лишь относительные интенсивности рентгеновских лучей, испускаемых при переходе пиона с одного высоколежащего уровня на другой.

Предлагаемая нами методика определения относительной вероятности образования мезоатомов в химических соединениях основана на идентификации по наведенной радиоактивности<sup>/21/</sup>.

С использованием этой методики мы исследовали вероятность образования пионного атома йода в йодидах щелочных элементов:  $\text{LiI}$ ,  $\text{NaI}$ ,  $\text{KI}$ ,  $\text{RbI}$  и  $\text{CsI}$ . В случае этого простейшего типа бинарных соединений результат эксперимента удовлетворительно согласуется с предсказаниями "Z-закона" Ферми-Теллера.

Мы исследовали также соединения  $\text{CdTe}$  и  $\text{ZnSe}$ , а также соответствующие им механические смеси<sup>/22/</sup>. Полученные данные весьма сходны с данными Грина и Кунсельмана, исследовавших эти соединения по интенсивности мезорентгеновского излучения.

Поскольку возможно влияние степени зернистости среды на изучаемый эффект, столь точный и простой метод идентификации образования мезоатома может быть использован для решения обратной задачи, т.е. для изучения поведения медленных мезонов в зависимости от макроскопической структуры вещества.

Рассмотренные в этой главе эксперименты демонстрируют возможности метода активации ядер остановившимися отрицательными пионами для исследования процессов, происходящих на атомной стадии взаимодействия пиона с веществом.



Основные результаты диссертация вкратце можно сформулировать следующим образом.

1. Измерено распределение множественности нейтронов, испускаемых в реакции  $\rho b (\pi^-, xn)$ . При этом обнаружены два отдельных максимума в распределении, которые интерпретируются соответствующими двум разным (квазидейтронному и альфа-частичному) механизмам поглощения пиона.

2. Обнаружено ранее неизвестное явление интенсивного возбуждения высокоспиновых ядерных состояний при поглощении пиона.

3. В результате проведения экспериментов на большом числе ядер показано, что возбуждение высокоспиновых ядерных состояний связано с самим механизмом поглощения пиона и наличие его не зависит от таких характеристик ядра, как масса, заряд, деформация.

4. Обнаружена корреляция между множественностью испускаемых при  $\pi$ -захвате нейтронов и вероятностью возбуждения высокоспиновых состояний остаточных ядер. Этот факт свидетельствует о том, что явление возбуждения высокоспиновых состояний действительно связано с поглощением пиона квазидейтронными кластерами на поверхности ядра.

5. Показано, что множественность заряженных частиц в случае поглощения пиона тяжелыми ядрами не превосходит 1-2, а в средних ядрах увеличивается до 4.

Замечен эффект конкуренции между эмиссией нейтронов и эмиссией протонов на испарительной стадии реакции.

6. Определены относительные вероятности деления средних и тяжелых ядер (от  $Ag$  до  $U$ ) остановившимися пионами. Исследовался эффект конкуренции между эмиссией нейтронов и каналом деления в случае сильноделющихся ядер.

7. Определена верхняя граница вероятности однонуклонного поглощения пиона ( $10^{-5}$ ), которая указывает на отсутствие пионного конденсата в нормальных ядрах.

8. Показано, что число  $n\rho$ -кластеров на поверхности тяжелых ядер значительно превосходит число  $p\rho$ -кластеров.

9. Предложен новый метод для мезохимических исследований, существенно расширяющий их возможности (метод активации). На примере простейших бинарных соединений продемонстрировано достоинство метода.

#### Литература

1. В.С.Бутцев, Я.Вандлик, Ц.Вылов, Ж.Ганзориг, Л.Гумнерова, Н.Г.Зайцева, С.М.Поликанов, О.В.Савченко, Д.Чултэм. Тезисы докладов XXV ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Ленинград, 1975, стр.149.
2. В.С.Бутцев, Я.Вандлик, Ц.Вылов, Ж.Ганзориг, Л.Гумнерова, Н.Г.Зайцева, С.М.Поликанов, О.В.Савченко, Д.Чултэм. ЯЯ, т.23, стр. 17, 1976.
3. A.S.Iljinov, V.I.Nazaruk, S.E.Chigrinov. Nucl.Phys., A268, 513, 1976.
4. В.С.Бутцев, Ж.Ганзориг, С.М.Поликанов, Д.Чултэм. XXV Совещание по ядерной спектроскопии и структуре ядра.(Ленинград), 1975, стр.150.
5. В.С.Бутцев, Ю.К.Гаврилов, Ж.Ганзориг, С.М.Поликанов, Д.Чултэм. Письма в ЖЭТФ, т.21, стр.400, 1975.
6. D.Chultem, Proc.of Int.Conf.on Selected Topics in Nucl. Structure. June 15-19,1976, Dubna, vol.II, p.344.
7. В.М.Абазов, В.С.Бутцев, Ю.К.Гаврилов, Ж.Ганзориг, С.М.Поликанов, Е.П.Череватенко, Д.Чултэм. XIV Совещание по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1975, стр.154.

8. С.Р.Аврамов, В.С.Бутцев, Ю.К.Гаврилов, Ж.Ганзориг, С.М.Поликанов, В.Д.Фромм, Д.Чултэм. XIУ Совецание по ядерной спектроскопии и теории ядра, Дубна, 1975, стр.141.
9. S.R.Avramov, V.S.Butsev, D.Chultem, Yu.K.Gavrilov, Dz.Ganzorig, S.M.Polikanov. VI Int.Conf.on High Energy Phys. and Nucl. Structure. Santa Fe and Los Alamos, USA, 1975, Contr.papers,190.
10. В.М.Абазов, В.С.Бутцев, Ю.К.Гаврилов, В.Пресперин, Д.Чултэм. ОИЯИ, P15-10684, 1977.
11. V.M.Abazov, S.R.Avramov, V.S.Butsev, E.P.Cherevatenko, D.Chultem, W.D.Fromm, Dz.Ganzorig, Yu.K.Gavrilov, S.M.Polikanov. Nucl.Phys., A274 (1976) 463.
12. V.S.Butsev, D.Chultem, Yu.K.Gavrilov, Dz.Ganzorig, V.Presperin, JINR, E15-10210, 1976, Dubna; Nucl.Phys., A285 (1977) 379).
13. В.М.Абазов, В.С.Бутцев, Г.Л.Бутцева, Е.П.Череватенко, Д.Чултэм. XXVII Совецание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Ташкент, 1977, стр.96. Из-во "Наука, Ленинград.
14. В.С.Бутцев, Ю.К.Гаврилов, С.М.Поликанов, Е.П.Череватенко, Д.Чултэм. ОИЯИ E15-9825, Дубна, 1976.  
Письма в ЖЭТФ, т.24, стр.117, 1976.
15. Ю.А.Батусов, Ж.Ганзориг, О.Отгонсурэн, Д.Чултэм, Ядерная физика, т.23, вып.6, 1976.
16. Yu.A.Batusov, D.Chultem, Dz.Ganzorig, O.Otgonsuren. VI Int.Conf.on High Energy Phys.and Nucl.Structure. Santa Fe and Los Alamos,1975, Contributed papers, p.117.
17. В.С.Бутцев, Л.Вашаров, Ж.Ганзориг, Ю.В.Норсеев, Д.Чултэм. ОИЯИ, P15-10665, 1977, Дубна.
18. М.А.Троицкий, М.В.Колдаев, Н.И.Чекунаев. Письма в ЖЭТФ, т.24, 1976.
19. V.S.Butsev, D.Chultem. JINR E15-10226, Dubna, 1976, Phys.Lett., 67B, N 1, p.33, 1977.

20. D.Chultem. Two-Nucleon Absorption of Stopped Negative Pions and the Texture of the Nuclear Surface. Contributions to the Int.Conf.on Nuclear Structure, Japan, 1977. p 813
21. V.S.Butsev, D.Chultem, Yu.K.Gavrilov, Dz.Ganzorig, Yu.V.Norseev, V.Presperin. JINR E15-9658, Dubna, 1976, Phys.Lett., 63B, p.47, 1976.
22. В.М.Абазов, В.С.Бутцев, О.Кнотек, Н.А.Лебедев, В.Пресперин, Е.П.Череватенко, Д.Чултэм. ОИЯИ, Д1, 2, 14 - 10908, 1977, стр. 127.  
Кн. "мезоны в веществе". Труды Международного симпозиума по проблемам мезонной химии и мезомолекулярных процессов в веществе, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 декабря 1977 года.