

М-646

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1 - 11827

МИРСАЛИХОВА  
Флора Хамидовна

ИСПУСКАНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
В ПРОЦЕССАХ ПОГЛОЩЕНИЯ  $\mu^-$ -МЕЗОНОВ  
АТОМНЫМИ ЯДРАМИ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1978

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель

кандидат физико-математических наук Ю.А.Батусов.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор

В.И.Остроумов,

кандидат физико-математических наук В.П.Перелыгин.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт физики высоких энергий, Серпухов.

Защита диссертации состоится "15" декабря 1978 года в 15<sup>00</sup> часов на заседании Специализированного совета Д-56/3 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна, Моск.обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "2" сентября 1978 года

Ученый секретарь Специализированного совета

кандидат физико-математических наук

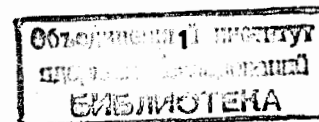
Ю.А.Батусов

### Общая характеристика работы

Актуальность и научная ценность работы. Одним из интересных направлений в изучении взаимодействия  $\mu^-$ -мезонов с атомными ядрами можно назвать исследование процессов  $\mu^-$ -захвата. Расщепление ядра, поглотившего мюон, сильно зависит как от его структуры, так и от механизма реакции. Особое место занимают процессы с испусканием заряженных частиц, так как они не связаны непосредственно с элементарным актом поглощения  $\mu^-$ -мезона:  $\mu^- + p \rightarrow n + \nu$ . Испускание заряженных частиц зависит от вторичных процессов внутри ядра и корреляций между нуклонами.

Систематические исследования процессов испускания заряженных частиц в  $\mu^-$ -захвате позволяют выделить ряд общих закономерностей этого явления.

Получено, что интегральный выход заряженных частиц в результате захвата мюона тяжелыми ядрами мал. Максимум выхода заряженных частиц приходится на ядра ( $2S - 1d$ )-оболочки. Это находится в хорошем согласии с теоретическими расчетами по резонансному механизму поглощения мюонов атомными ядрами. Иная ситуация имеет место для ядер, соответствующих середине и концу  $1p$ -оболочки. Суммарный выход заряженных частиц, предсказываемый теорией, оказывается в несколько раз меньше значения, полученного в эксперименте. Основные черты процесса в этом случае пока



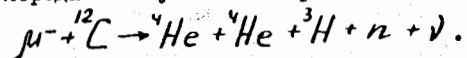
не удается описать, и вопрос о механизме испускания заряженных частиц в  $\mu^-$ -захвате ядрами Ir-оболочки остается открытым.

Таким образом, экспериментальное изучение процессов поглощения  $\mu^-$ -мезонов с испусканием заряженных частиц является актуальным. Выделение определенных каналов реакций и их анализ позволит изучить структурные особенности исследуемых ядер и лучше понять механизм взаимодействия мюонов с атомными ядрами.

Основной целью данных исследований является экспериментальное изучение определенных каналов реакций  $\mu^-$ -захвата ядрами Ir-оболочки в фотоэмульсии с испусканием заряженных частиц.

Научная новизна. Все рассмотренные в диссертации каналы реакций  $\mu^-$ -захвата с испусканием заряженных частиц исследованы впервые. Изучены реакции поглощения  $\mu^-$ -мезонов атомными ядрами в фотоэмульсии с испусканием  $^8\text{He}$ ,  $^8\mu$ ,  $^8\text{B}$ .

Исследован наиболее вероятный канал поглощения  $\mu^-$ -мезона ядром углерода с испусканием заряженных частиц:



Изучена реакция  $\mu^-$ -захвата первым стабильным ядром Ir-оболочки  ${}^6\text{Li}$ :  $\mu^- + {}^6\text{Li} \rightarrow {}^3\text{H} + {}^3\text{H} + \nu.$

Определены относительные вероятности исследованных реакций.

Измерены угловые и энергетические спектры вторичных частиц.

Для наиболее вероятных каналов проанализированы механизмы захвата  $\mu^-$ -мезонов.

Апробация. Результаты работы докладывались на международных конференциях в Упсале (1973 г.) и Санта-Фе (1975 г.), опубликованы в статьях /1-5/.

Исследования выполнены в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

### Содержание работы

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения.

В первой главе обсуждаются методика постановки эксперимента, метод поиска и измерения событий, описываются программы обработки экспериментальных данных на ЭВМ. Рассматриваются общие закономерности атомного и ядерного захвата  $\mu^-$ -мезонов.

Исследования проводились фотоэмульсионным методом. В экспериментах было использовано 9 эмульсионных камер, составленных из электронно-чувствительных слоев эмульсии НИКФИ-БР и *ILFORD K-5*, облученных в пучке  $\mu^-$ -мезонов с энергией 60 и 80 МэВ в низкофоновой лаборатории на  $\mu^-$ -мезонном тракте синхротрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ (рис.1).

При просмотре проявленных фотоэмульсионных слоев регистрировались остановки  $\mu^-$ -мезонов в фотоэмульсии:  $\mu \rightarrow e$  распады,  $\rho$ -остановки (захват  $\mu^-$ -мезонов ядрами без последующего испускания заряженной частицы),  $\sigma$ -звезды (остановки, сопровождаемые испусканием заряженных частиц, из которых хотя бы одна имела пробег более 1 мкм и определенное направление).

В эксперименте зарегистрировано и проанализировано 50000  $\sigma$ -звезд.

Из анализа распределения  $\sigma$ -звезд вдоль направления пучка  $\mu^-$ -мезонов получено, что в зоне просмотра примесь  $\sigma$ -звезд от захвата  $\mu^-$ -мезонов равна  $(1,0 \pm 0,2)\%$ .

Обработка экспериментальных данных проводилась на ЭВМ БЭСМ-6 и СДС-6500 по системе программ кинематического анализа ядерных реакций в фотоэмульсии, разработанной на основе программы, описанной в сообщении ОИЯИ, IO-589I (1971).

Фотоэмульсия состоит из двух различных групп элементов - легкой (C, N, O) и тяжелой (Ag, Br) компоненты. Для выделения и исследования определенных каналов реакций  $\mu^-$ -захвата в фотоэмульсии необходимо знать общие характеристики взаимодействия  $\mu^-$ -мезонов с ядрами. Результаты такого анализа представлены в работах, выполненных в фотоэмульсионном секторе Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в течение 1965-1972 года (Ю.А.Батусов, С.А.Буняттов, Л.Визирева, Г.Р.Гулканян, Ф.Мирсалихова, В.М.Сидоров, Х.Чернев ЯФ 18,962 (1973); ЯФ 21, 1215 (1975)). На рис. 2 приводится схема, составленная на основе данных этих работ. Она дает наглядную картину общих закономерностей атомного и ядерного захвата  $\mu^-$ -мезонов в ядерной фотоэмульсии.

Замедляясь в фотоэмульсии,  $\mu^-$ -мезон захватывается на атомную орбиту, образуя связанную систему - мезоатом. Это в (44±2)% случаев мезоатомы легких (C, N, O), в (56±2)% - тяжелых (Ag, Br) элементов. В мезоатомах легких элементов  $\mu^-$ -мезон в (88±9)% случаев успевает претерпеть  $\mu \rightarrow e$  распад и только в (12±1)% захватывается ядром. Для тяжелой компоненты эти цифры равны соответственно (5±0,5)% и (95±9)%.

Как видно из данных, приведенных на рис.2, вероятность испускания заряженных частиц при захвате  $\mu^-$ -мезонов легкими (C, N, O) ядрами в 2,6 раза превышает вылет их из тяжелых (Ag, Br) ядер. Полный выход заряженных частиц при захвате легкими ядрами составляет  $W^{\wedge} = (7,4 \pm 1,4)\%$ , тяжелыми -  $W^T = (2,9 \pm 0,2)\%$ . Необходимо подчеркнуть, что имеющиеся теоретические оценки вероятности испус-

кания заряженных частиц при захвате  $\mu^-$ -мезонов ядрами C, N, O не более 2-х процентов, что также находится в противоречии с полученным в эксперименте значением  $W^{\wedge}$ .

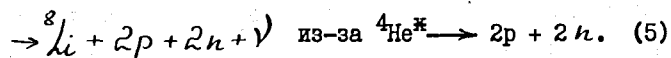
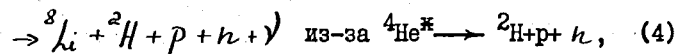
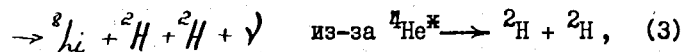
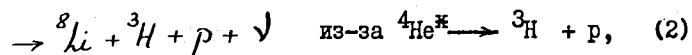
Во второй главе диссертации приводятся результаты исследования реакций захвата  $\mu^-$ -мезонов ядрами C, N, O с испусканием  ${}^8\text{He}$ ,  ${}^8\text{Li}$ ,  ${}^8\text{B}$ . Ядра  ${}^8\text{He}$ ,  ${}^8\text{Li}$ ,  ${}^8\text{B}$  образуют в фотоэмульсии характерный Т-образный след, легко идентифицируемый. В результате просмотра 4-х фотоэмульсионных камер было зарегистрировано 685  $\zeta_{\mu}$ -звезд с Т-образным следом. Определено, что вероятность образования  $\zeta_{\mu}$ -звезды с Т-образным следом на одну остановку  $\mu^-$ -мезона в фотоэмульсии равна  $W_{\zeta_{\mu}} = (0,30 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ . Выделенные события анализировались по возможным каналам реакций  $\mu^-$ -захвата ядрами C, N, O с испусканием  ${}^8\text{He}$ ,  ${}^8\text{Li}$ ,  ${}^8\text{B}$ . Проведено разделение событий по возможным каналам реакций, определены их относительные вероятности. Эти результаты представлены в таблицах 1, 2, 3.

Анализ полученных результатов показывает, что наиболее вероятным каналом испускания  ${}^8\text{Li}$  при захвате  $\mu^-$ -мезонов легкими ядрами в фотоэмульсии является реакция  $\mu^{-12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{Li}({}^3\text{He}n\gamma)$  (I).

Из анализа угловых и энергетических распределений вторичных частиц от реакции (I) было установлено, что эта реакция идет путем образования промежуточного возбужденного ядра  ${}^4\text{He}^*$  с энергией (22,5±2) МэВ. Хорошее описание экспериментальных распределений достигается при моделировании процесса (I) через резонансное поглощение  $\mu^-$ -мезонов и захват малонуклонной ассоциацией [ ${}^4\text{Li}$ ].

Если предположить, что образование возбужденного ядра  ${}^4\text{He}^*$

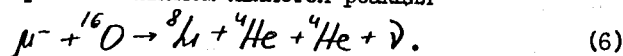
является обязательным условием для таких процессов, то из-за различных каналов распада возбужденного гелия должны наблюдаться реакции, приведенные в таблице I:



На основании измеренных энергетических распределений и угловых корреляций вторичных частиц от реакций (2) - (5) были проанализированы их возможные механизмы. Рассмотрено образование возбужденного ядра  ${}^4\text{He}^*$  при резонансном поглощении  $\mu^-$ -мезона и в результате захвата его частью ядра углерода - кластером  $[{}^4\text{Li}]$ .

На рис. 3 представлены угловые распределения продуктов реакции (2). Сравнение экспериментальных данных с расчетами по резонансному механизму и поглощению кластером  $[{}^4\text{Li}]$  позволяет говорить о преобладающей роли кластерного механизма  $\mu^-$ -захвата ядром углерода с испусканием  ${}^8\text{Li}$ .

Результаты кинематического анализа многолучевых  $\sigma_\mu$ -звезд по возможным каналам реакций на кислороде и азоте показывают, что наиболее вероятным каналом является реакция



Удовлетворительное описание экспериментальных распределений по данной реакции получается при моделировании процесса по схеме поглощения  $\mu^-$ -мезона кластером  $[{}^8\text{Be}]$ .

Фотоэмульсионный метод позволяет надежно идентифицировать ядра  ${}^8\text{He}$  по двум электронам распада. Был зарегистрирован один случай, относящийся к событиям с образованием  ${}^8\text{He}$ . По результатам кинематического анализа он отнесен к реакции  $\mu^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{He} + {}^3\text{He} + p + \nu$ . Верхняя граница относительной вероятности образования  ${}^8\text{He}$  по данной реакции:

$$W({}^8\text{He}) < 0,5 \cdot 10^{-5}.$$

В реакциях  $\mu^-$ -захвата ядрами углерода и кислорода проведен поиск связанной многонейтронной системы - тетранейтрона  ${}^4n$  по реакции  $\mu^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{B} + n + \nu$  и нейтроноизбыточного ядра  ${}^4\text{H}$  по реакции  $\mu^- + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^8\text{B} + n + \nu$ . Получено, что верхние границы относительных вероятностей образования этих ядер по данным реакциям равны:

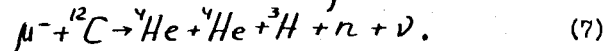
$$W({}^4n) < 5,4 \cdot 10^{-5},$$

$$W({}^4\text{H}) < 10^{-5}.$$

Реакции  $\mu^-$ -захвата с испусканием  ${}^8\text{He}$ ,  ${}^8\text{Li}$ ,  ${}^8\text{B}$  являются экзотическими и составляют малую часть от общей вероятности испускания заряженных частиц ядрами Ir-оболочки. Поэтому для более глубокого изучения процессов захвата  $\mu^-$ -мезонов с испусканием

заряженных частиц были исследованы наиболее вероятные каналы реакций  $\mu^-$ -захвата. Результаты этих исследований представлены в третьей главе диссертации.

а) На основе предположений о доминирующей роли состояний гигантского резонанса в работах Балашова, Эрамжяна и др. (JINR, М-4601, 1969; Изв. АН СССР, 33, 2087, 1969; ХФТИ, 73-9, 25, 1973) были сделаны теоретические предсказания об основных каналах расщепления ядер при захвате  $\mu^-$ -мезонов и в ряде случаев рассчитаны характеристики этих процессов. В этих расчетах было показано, что для ядра углерода основным каналом с образованием заряженных частиц является захват  $\mu^-$ -мезона по реакции:



С целью экспериментального изучения этой реакции из числа зарегистрированных в фотоэмульсионных камерах трехлучевых

$\sigma_\mu$ -звезд было выделено и измерено 652 случая. В результате кинематического анализа этих событий было выделено 317 случаев, отнесенных к реакции (7). Рассчитана верхняя граница относительной вероятности реакции  $\mu^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^4\text{He} + {}^3\text{H} + n + \nu$ :

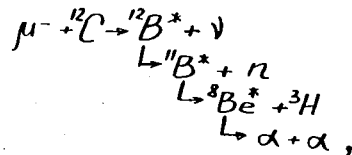
$$W \leq (2,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}.$$

Измеренные угловые и энергетические распределения позволяют проанализировать механизм реакции.

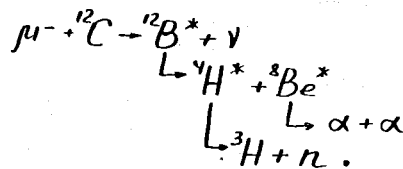
В резонансной модели поглощения  $\mu^-$ -мезонов сложными ядрами надпороговое возбуждение промежуточного ядра объясняется заселением высоколежащих нуклонных состояний из глубоких заполненных оболочек.

В конкретном случае ядра  ${}^{12}\text{C}$  такой механизм допускает сле-

дующие схемы протекания реакции (7):



II



III

По обоим механизмам две  $\alpha$ -частицы образуются при развале промежуточного ядра  ${}^8\text{Be}$ . Действительно, эффективная масса двух заряженных частиц и соответствующая им энергия возбуждения группируется в интервале масс (7454,3 + 7458,3) МэВ (рис.4), где 7454,3 МэВ соответствуют массе основного состояния  ${}^8\text{Be}$ .

Для сравнения экспериментальных распределений с теоретическими расчетами проводилось моделирование реакции по схемам II и III.

Удовлетворительное описание экспериментальных энергетических и угловых распределений (рис.4, 5) получается при моделировании процесса по схеме II. Однако в экспериментальном спектре возбуждения  ${}^{12}\text{B}$ , где максимум распределения хорошо совпадает с положением теоретически вычисленного уровня, имеется превышение в высокоэнергетической части. События, попавшие в интервал (10262 + 10274) МэВ энергетического спектра бора-II (рис.4), можно считать идущими по схеме II. В этом случае относительная вероятность реакции  $\mu^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^4\text{He} + {}^3\text{H} + n + \nu$  по схеме II:

$$W(\text{II}) = (1,1 \pm 0,1) \cdot 10^{-2}.$$

Эта величина не противоречит теоретической оценке относительной вероятности реакции по резонансной модели.

Другим возможным механизмом поглощения  $\mu^-$ -мезона в ядре углерода может быть захват его малонуклонной ассоциацией  $[^4\text{He}]$ .

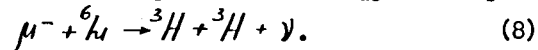
Из сравнения эффективных чисел ассоциаций  $[^4\text{Li}]$  и  $[^4\text{He}]$  в ядре углерода и относительных вероятностей реакций



(считая их протекающими через кластерный механизм) следует, что тогда вероятность захвата  $\mu^-$ -мезона ассоциацией  $[^4\text{Li}]$  примерно в 50 раз больше, чем  $[^4\text{He}]$ .

б) Изучение определенных каналов реакций  $\mu^-$ -захвата ядрами Ir-оболочки показало, что они обладают ярко выраженными индивидуальными свойствами. В связи с этим возникает необходимость детального исследования всех возможных реакций  $\mu^-$ -захвата.

Особый интерес могут представлять экспериментальные данные по  $\mu^-$ -захвату первым стабильным ядром Ir-оболочки  $^6\text{Li}$ , в частности реакция расщепления ядра  $^6\text{Li}$  на два фрагмента равной массы:



Для изучения этой реакции в Центре ядерных исследований в Страсбурге-Кроненбурге (Франция) были изготовлены специальные слои фотоэмульсии, загруженные ядрами лития-6 в количестве  $32 \text{ мг/см}^3$ . Камеры, составленные из этих слоев, облучались в пучке  $\mu^-$ -мезонов с энергией 60 МэВ от синхротрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Параллельно были облучены две камеры из стандартных слоев эмульсии, предназначенные для измерения фоновых событий.

В загруженной ядрами  $^6\text{Li}$  и стандартной эмульсии регистрировались двухлучевые  $\sigma_\mu$ -звезды. Для дальнейшего анализа были отобраны и измерены 4498 событий. В результате их кинематического анализа к реакции  $\mu^- ^6\text{Li} \rightarrow ^3\text{H} ^3\text{H} \nu$  были отнесены  $n = (60 \pm 14)$  случаев, удовлетворяющих критерию  $\chi^2 \leq 2$  и расположенных в интервале энергии нейтрино  $E_\nu = (86 + 87,6) \text{ МэВ}$  (рис.6).

С учетом числа выделенных событий получено, что относительная вероятность реакции  $\mu^- ^6\text{Li} \rightarrow ^3\text{H} ^3\text{H} \nu$  равна  $W = (9,7 \pm 3,1) \cdot 10^{-2}$ .

Это значение в несколько раз больше теоретических оценок Винке (*Phys. Rev.*, С3, 2179, 1971; С9, 943, 1974), выполненных на основе модели треугольных диаграмм, и согласуется с расчетами по резонансной модели поглощения  $\mu^-$ -мезонов (Эрамжян и др., ХФТИ, 73-9, 25, 1973).

Однако измеренный в эксперименте энергетический спектр трионов из реакции (8) (рис.7) не описывается как по расчетам на основе треугольных диаграмм, так и по резонансной модели захвата  $\mu^-$ -мезонов.

Возможен другой механизм захвата  $\mu^-$ -мезона по реакции  $\mu^- ^6\text{Li} \rightarrow ^3\text{H} ^3\text{H} \nu$  - поглощение его малонуклонной ассоциацией  $[^3\text{He}]$  в ядре  $^6\text{Li}$ . Было проведено моделирование реакции (8) по этому механизму, в предположении, что характеристики процесса описываются только фазовым объемом. Полученные в таком приближении результаты моделирования приведены на рис.6, 7, 8. Видно, что они качественно согласуются с экспериментальными распределениями.

в) Изучение определенных каналов процесса  $\mu^-$ -захвата легкими ядрами в фотоэмульсии позволило, основываясь на анализе выделенных реакций, получить энергетические спектры вторичных за-

рженных частиц:  $p, d, t, {}^3\text{He}, {}^4\text{He}, {}^8\text{Li}$ . Высокоэнергетическая часть спектров вторичных заряженных частиц от захвата  $\mu^-$ -мезонов различными ядрами изучалась в работах Зинова и др. (ЖЭТФ, 60, 19, 1971; Р15-11215, ОИЯИ, 1978). Измеренные в диссертации спектры впервые получены в энергетической области (0-15) МэВ. На рис. 9 представлены экспериментальные данные Зинова по выходу трития из ядра углерода и результаты измерения спектра ядра трития из реакции  $\mu^- {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^4\text{He} {}^3\text{He} {}^3\text{H} \nu$ . Видно, что величины, полученные в двух экспериментах, хорошо согласуются и в большой степени дополняют друг друга.

#### Основные результаты

1. Фотоэмульсионным методом проанализировано 50000  $\sigma_\mu$  звезд, образованных при взаимодействии  $\mu^-$ -мезонов с атомными ядрами.

2. Впервые исследованы реакции захвата  $\mu^-$ -мезонов легкими ядрами в фотоэмульсии с испусканием ядер  ${}^8\text{He}, {}^8\text{Li}, {}^8\text{B}$ .

а) Зарегистрировано и проанализировано 685  $\sigma_\mu$ -звезд с Т-образным следом, образованных в результате поглощения  $\mu^-$ -мезонов ядрами в фотоэмульсии. Вероятность образования  $\sigma_\mu$ -звезды с Т-образным следом на одну остановку  $\mu^-$ -мезона равна:

$$W_{\sigma(\tau)} = (0,30 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}.$$

б) Определено, что основным каналом испускания  ${}^8\text{Li}$  при захвате  $\mu^-$ -мезонов легкими ядрами в фотоэмульсии является реакция на углероде:  $\mu^- {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{Li} {}^3\text{He} \nu$ .

в) Относительная вероятность канала  $\mu^- {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{Li} {}^3\text{H} \nu$  на порядок ниже основного:

$$(1,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-4} \leq W \leq (1,9 \pm 0,4) \cdot 10^{-4}.$$

г) Анализ экспериментальных данных по всем возможным реакциям  $\mu^-$ -захвата ядрами углерода с испусканием  ${}^8\text{Li}$  указывает на образование в промежуточном состоянии возбужденного ядра  ${}^4\text{He}^*$  преимущественно с энергией  $(22,5 \pm 2)$  МэВ. Энергетические и угловые распределения вторичных частиц от реакций  $\mu^-$ -захвата ядрами углерода с испусканием  ${}^8\text{Li}$  качественно согласуются с расчетами, выполненными в предположении захвата  $\mu^-$ -мезона малонуклонной ассоциацией  $[{}^4\text{Li}]$  в ядре углерода.

д) Исследованы реакции поглощения  $\mu^-$ -мезонов ядрами кислорода и азота. Получено, что наиболее вероятным каналом является реакция  $\mu^- {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^8\text{Li} {}^4\text{He} \nu$  с относительной вероятностью  $(0,93 \pm 0,2) \cdot 10^{-4} \leq W \leq (2,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-4}$ .

Экспериментальные данные качественно описываются в предположении поглощения  $\mu^-$ -мезона частью ядра кислорода - ассоциацией  $[{}^8\text{Be}]$ .

е) В реакциях  $\mu^-$ -захвата ядрами углерода и кислорода проведен поиск связанной многонейтронной системы  ${}^4n$  и нейтроноизбыточных ядер  ${}^8\text{He}$  и  ${}^4\text{H}$ . Верхние границы относительных вероятностей образования этих ядер в следующих реакциях равны:

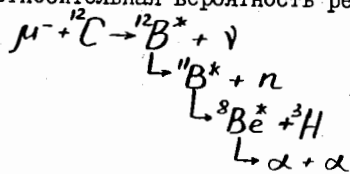
$$\begin{aligned} W({}^4n) &< 5,4 \cdot 10^{-5} \quad (\mu^- {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^3\text{B} {}^4n \nu), \\ W({}^8\text{He}) &< 0,5 \cdot 10^{-5} \quad (\mu^- {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{He} {}^3\text{He} \nu), \\ W({}^4\text{H}) &< 10^{-5} \quad (\mu^- {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^3\text{B} {}^4\text{H} \nu). \end{aligned}$$

3. Впервые исследована реакция  $\mu^- {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^4\text{He} {}^4\text{He} {}^3\text{H} \nu$ , являющаяся наиболее вероятным каналом  $\mu^-$ -захвата ядром углерода с испусканием заряженных частиц.

а) Получено, что верхняя граница относительной вероятности реакции равна  $W \leq (2,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}$ .

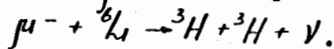


б) Рассмотрены возможные механизмы этого процесса. Получено, что относительная вероятность реакции по схеме



составляет  $W(\Pi) = (1, 1 \pm 0, 1) \cdot 10^{-2}$ , что качественно согласуется с теоретической оценкой, следующей из резонансной модели.

4. С помощью фотоэмульсии, загруженной ядрами лития-6, впервые изучена реакция  $\mu^-$ -захвата ядром лития:



а) Определена относительная вероятность этой реакции

$$W = (9, 7 \pm 3, 1) \cdot 10^{-2}.$$

б) Экспериментальные угловые и энергетические распределения вторичных частиц из реакции удовлетворительно описываются при моделировании процесса через захват  $\mu^-$ -мезона частью ядра лития-6 - малонуклонной ассоциацией  $[{}^3\text{He}]$ .

5. Измерены спектры вторичных заряженных частиц от захвата  $\mu^-$ -мезонов легкими ядрами в фотоэмульсии. Исследования в работе спектры хорошо согласуются и значительно дополняют экспериментальные данные, полученные другими методами.

Таблица I Относительные вероятности каналов  $\mu^-$ -захвата ядром углерода с испусканием лития-8

Каналы реакций	$\mu^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{Li} + \nu +$			
	${}^3\text{He} + n^*$	${}^3\text{H} + p$	${}^2\text{H} + {}^2\text{H}$	$2p + 2n$
Число всех идентифицированных событий	308	35	16	65
$W_1$	$(1, 6 \pm 0, 2) \cdot 10^{-3}$	$(1, 9 \pm 0, 4) \cdot 10^{-4}$	$(9, 0 \pm 2, 0) \cdot 10^{-5}$	$3, 5 \cdot 10^{-4}$
Число однозначно идентифицированных событий	220	18	2	
$W_2$	$(1, 1 \pm 0, 2) \cdot 10^{-3}$	$(1, 0 \pm 0, 3) \cdot 10^{-4}$	$(1, 1 \pm 0, 8) \cdot 10^{-5}$	

\* Д.А.Батусов и др., ЯФ, I4, I206, 1971

Таблица 2 Относительные вероятности каналов  $\mu^-$ -захвата ядром кислорода с испусканием  $^8\text{Li}$

$$\mu^- + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^8\text{Li} + \nu +$$

Каналы реакций	${}^4\text{He} + {}^4\text{He}$	${}^6\text{Li} + {}^2\text{H}$	${}^4\text{He} + {}^3\text{He} + n$	${}^6\text{Li} + p + n$	${}^3\text{He} + {}^3\text{He} + 2n$
Число всех идентифицированных событий	62	21	12	12	1
$W_1$	$(2,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-4}$	$(0,7 \pm 0,2) \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$10^{-6}$
Число однозначно идентифицированных событий	28	2			
$W_2$	$(0,9 \pm 0,2) \cdot 10^{-4}$	$(0,7 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$			

16

Таблица 3 Относительные вероятности каналов  $\mu^-$ -захвата ядрами азота с испусканием  $^8\text{Li}$

$$\mu^- + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^8\text{Li} + \nu +$$

Каналы реакций	${}^4\text{He} + {}^2\text{H}$	${}^3\text{He} + {}^3\text{H}$	${}^4\text{He} + p + n$	${}^3\text{He} + {}^2\text{H} + n$	${}^3\text{He} + p + 2n$
Число всех идентифицированных событий	52	41	34	16	2
$W_1$	$(7,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-4}$	$(5,8 \pm 0,1) \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$10^{-5}$
Число однозначно идентифицированных событий	7	6			
$W_2$	$(1,0 \pm 0,4) \cdot 10^{-4}$	$(0,9 \pm 0,4) \cdot 10^{-4}$			

17

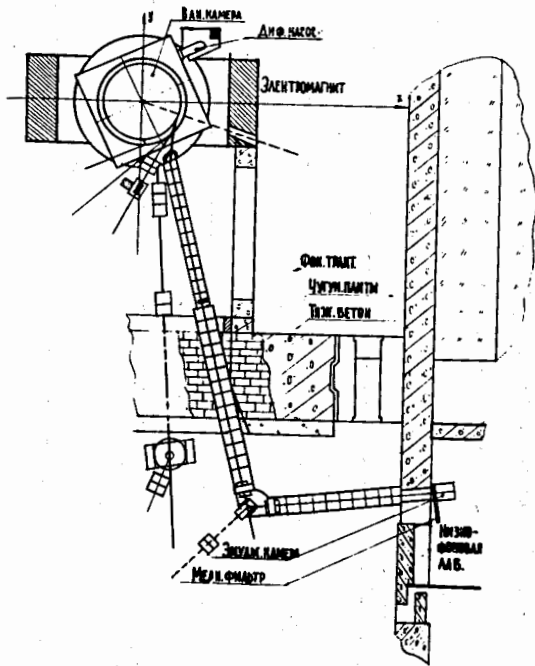


Рис.1 Схема эксперимента

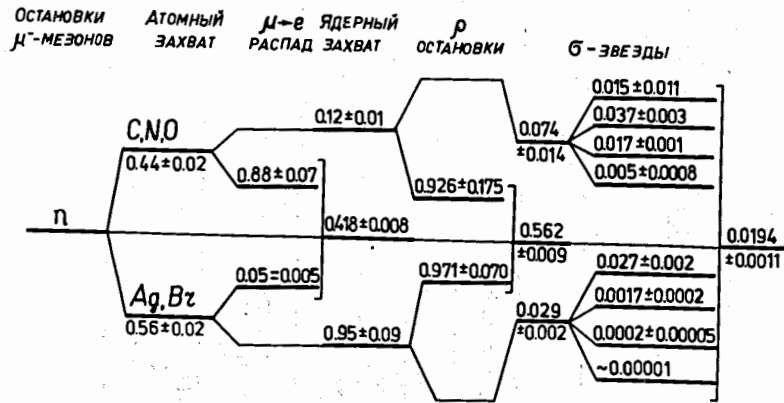


Рис.2 Схема взаимодействия  $\mu^-$ -мезонов с легкой (C, N, O) и тяжелой (Ag, Br) компонентой фотоэмульсии.

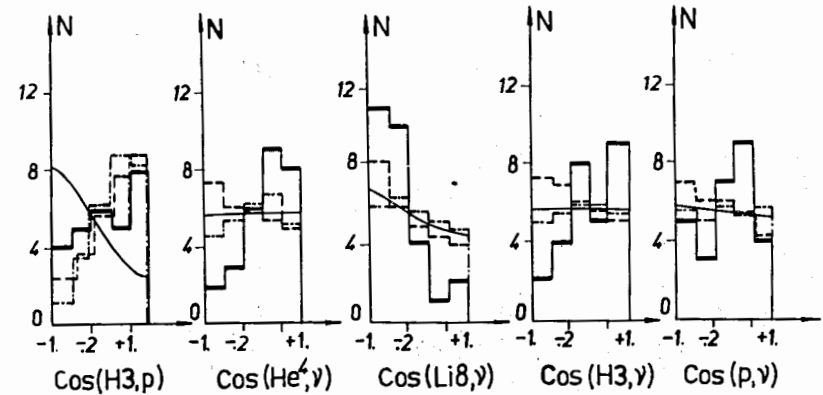


Рис.3 Угловые распределения для реакции  $\mu^-^{12}\text{C} \rightarrow \text{Li}^8\text{He}\gamma\nu$ . Сплошная гистограмма - эксперимент; пунктир - расчет по резонансному механизму; штрих-пунктир - расчет по кластерному механизму; кривая - фазовый объем.

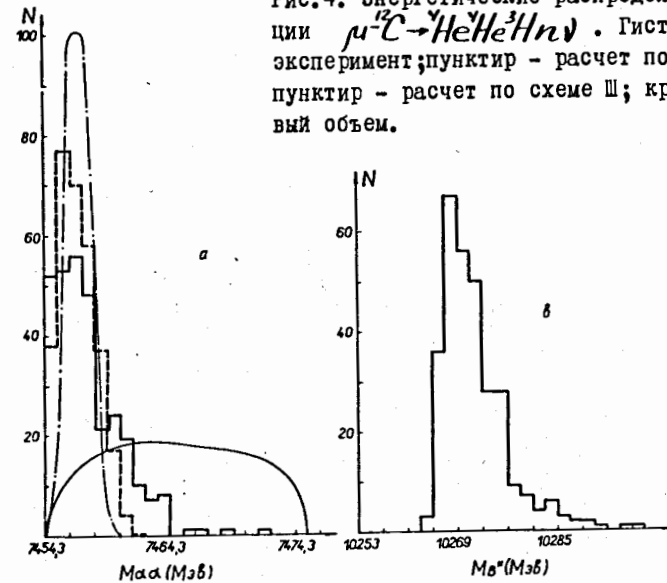


Рис.4. Энергетические распределения для реакции  $\mu^-^{12}\text{C} \rightarrow \text{He}^4\text{He}^3\text{He}\nu$ . Гистограмма - эксперимент; пунктир - расчет по схеме II; штрих-пунктир - расчет по схеме III; кривая - фазовый объем.

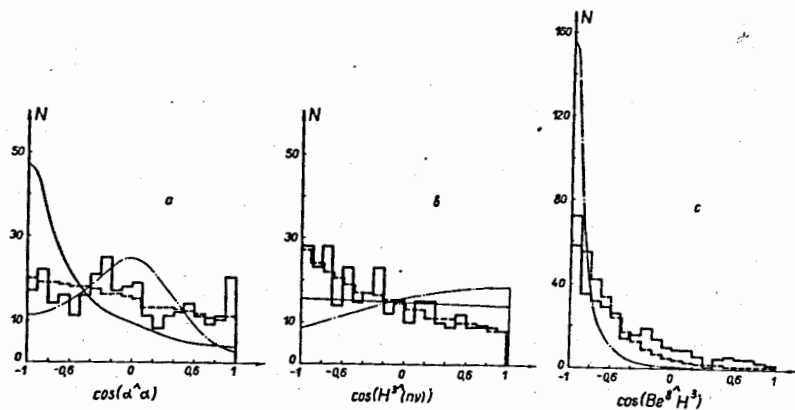


Рис.5 Угловые распределения для реакции  $\mu^{-12}\text{C} \rightarrow \text{He}^4\text{He}^3\text{H}n\nu$ . (обозначения те же, что и на рис.4).

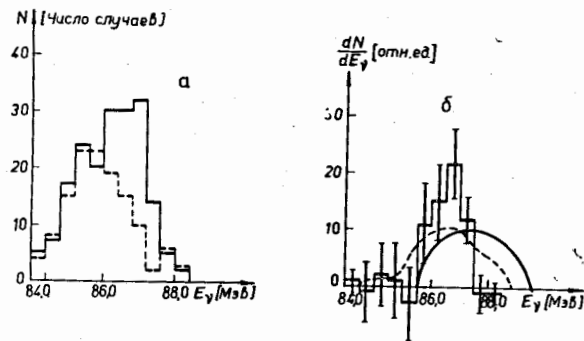


Рис.6 а) Распределение по энергии нейтрино; пунктир - события из фоновых камер; б) Спектр нейтрино для выделенных событий реакции  $\mu^{-6}\text{Li} \rightarrow \text{H}^3\text{H}^3\nu$ ; сплошная кривая - расчет на основе кластерного механизма захвата  $\mu^{-}$ -мезона

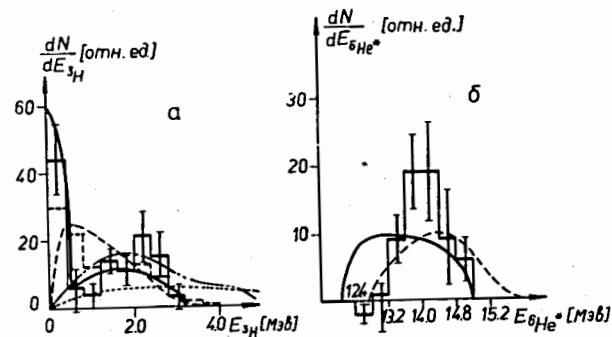


Рис.7 а) Энергетическое распределение ядер трития от реакции (8); б) Распределение по энергиям возбуждения промежуточного ядра  ${}^6\text{He}^*$ . Сплошная кривая - расчет на основе кластерного механизма захвата  $\mu^{-}$ -мезона; пунктирная кривая - расчет на основе треугольных диаграмм; штрих-пунктирная кривая - расчет по резонансной модели поглощения.

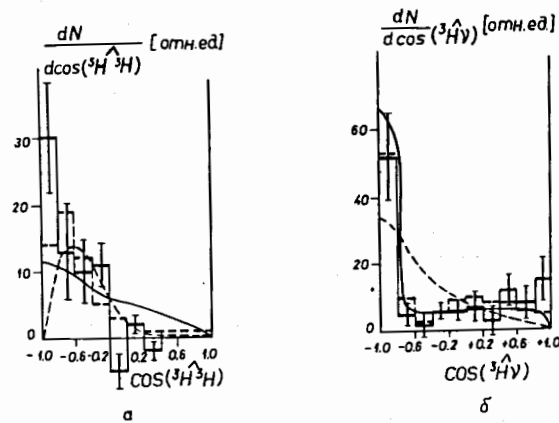


Рис.8 Угловые распределения событий реакции  $\mu^{-6}\text{Li} \rightarrow \text{H}^3\text{H}^3\nu$ ; сплошная кривая - расчет на основе кластерного механизма захвата  $\mu^{-}$ -мезона.

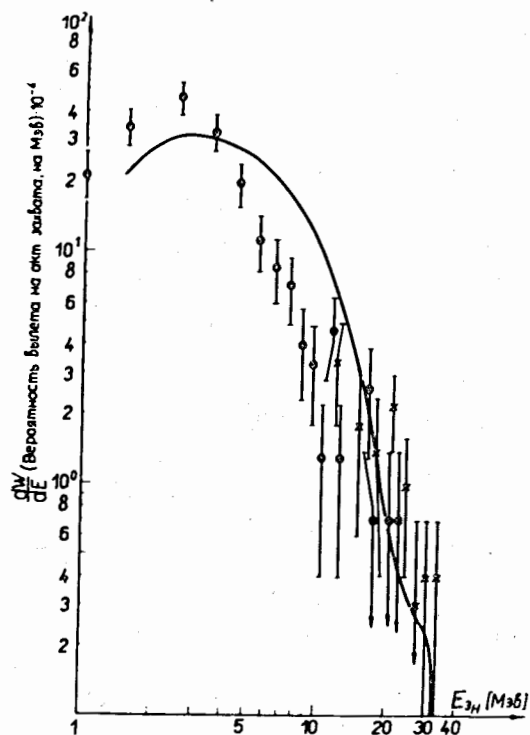


Рис.9 Энергетический спектр ядер трития; точки - данные диссертации; крестики - данные Зинова В.Г. и др. (Р15-11215, ОИЯИ, 1978).

Опубликованные работы по теме диссертации:

1. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, Л.Визирева, Г.Гулканян, Ф.Мирсалихова, В.М.Сидоров, Х.М.Чернев, Р.А.Эрамлян, ЯФ, 22, 320 (1975).
2. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, Л.Д.Визирева, Г.Р.Гулканян, Ф.Х.Мирсалихова, В.М.Сидоров, Х.М.Чернев, Р.А.Эрамлян, ЯФ, 27, 1137, (1978).

3. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, Л.Д.Визирева, Д.А.Галстян, Г.Р.Гулканян, Н.И.Костанашвили, П.Кээр, Ж.-П.Массюэ, Ф.Х.Мирсалихова, В.М.Сидоров, Х.М.Чернев, Р.А.Эрамлян, Препринт ОИЯИ, Р1-11326 (1978).
4. Ju.A.Batusov, S.A.Bunyatov, L.Visireva, G.R.Gulcanian, F.Mirsalikhova, V.M.Sidorov, Ch.Chernev. 5-th Int.Conf.of High Energy Phys. and Nucl. Structure, uppsala, Swoden, June 18-22 (1978).
5. Ju.A.Batusov, S.A.Bunyatov, L.Visireva, G.R.Gulcanian, F.Mirsalikhova, V.M.Sidorov. V1-th Int. Conf. of High Energy Phys. and Nucl. Structure. Santa Fe and Los-Alamos, USA, June, 9-14 (1975).

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 августа 1978 года.