

X-807



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-96-75

На правах рукописи
УДК 539.144

ХОРОЗОВ

Сергей Александрович

ПОИСК И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЯДЕР
В РЕАКЦИЯХ С РЕЛЯТИВИСТСКИМИ ИОНАМИ

Специальность: 01.04.16 — физика ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Дубна 1996

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
профессор

В.В.Глаголев

доктор физико-математических наук,
профессор

В.А.Карнаухов

доктор физико-математических наук,
профессор

А.Б.Куренин

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, г.Москва.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1996 г. в
_____ час. на заседании Специализированного совета Д-047.01.02
при Лаборатории высоких энергий Объединенного института
ядерных исследований, конференц-зал ЛВЭ, г.Дубна,
Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1996г.

Ученый секретарь Специализированного совета доктор физико-
математических наук _____ М.Ф.Лихачев.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

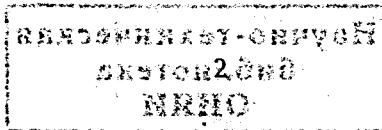
Из теории пионной конденсации, предложенной Мигдалом [1] в начале семидесятых годов, вытекала возможность существования стабильных или метастабильных состояний ядер с плотностью, в несколько раз отличающейся от плотности обычных ядер. Немного позднее Ли и Вик [2] на основании σ-модели тоже пришли к выводу о возможности существования сверхплотных ядер. Возможные варианты образования метастабильных состояний ядерной материи рассматривались также Понтекорво [3] и Нагамией [4]. К середине восьмидесятых годов было выполнено довольно много работ по экспериментальному поиску экзотических ядер, однако использованные в этих экспериментах методики не позволяли проводить поиск объектов с временами жизни, меньшими миллисекунды. Поэтому одной из актуальных задач в физике атомного ядра была *разработка методов поиска и проведение экспериментов по поиску короткоживущих экзотических ядер.*

Исследование гиперядер, которые дают уникальную информацию о гиперон-нуклонном взаимодействии, начало бурно развиваться после их открытия Данышем и Пневским [5] в 1952 году. Основные методы исследования - ядерные фотоэмульсии и гелиевые пузырьковые камеры - к середине семидесятых годов дали значительный объем информации о свойствах гиперядер, но практически исчерпали свои

возможности. В семидесятых годах начинает развиваться новое направление - исследование реакций обмена странностью. С появлением пучков релятивистских ионов появляется еще одна интереснейшая методическая возможность проведения исследований в области физики гиперядер - изучение релятивистских гиперядер. По существу это единственный путь, который может дать возможность надежно и точно измерять времена жизни гиперядер, энергии связи лямбда-гиперона в легчайших слабосвязанных гиперядрах, исследовать ядерные системы с несколькими гиперонами, идентифицировать и исследовать гиперядра, не наблюдавшиеся в проведенных ранее экспериментах. Поэтому *разработка методов регистрации и проведение экспериментов с релятивистскими гиперядрами* является очень важной актуальной задачей в физике атомного ядра и элементарных частиц.

Основные цели работы.

1. Разработка методов регистрации короткоживущих радиоактивных и метастабильных сверхплотных ядер и их экспериментальный поиск.
2. Разработка метода регистрации релятивистских гиперядер, измерение сечений их образования и времен жизни.



Научная новизна работы.

Проведенные эксперименты по поиску β, π^0 -радиоактивных сверхплотных ядер позволили впервые установить верхнюю границу сечений их образования в области времен жизни ($10^{-7}\text{с}-10^{-3}\text{с}$). Эксперимент по поиску метастабильных сверхплотных ядер дал верхнюю границу сечений их образования в практически неисследованной области времен жизни ($10^{-7}\text{с}-1\text{с}$) и дал на порядок более жесткую, чем предыдущие исследования, верхнюю границу сечений в области времен жизни ($1\text{с}-10^5\text{с}$).

Проведен цикл исследований с релятивистскими гиперядрами, в котором впервые получены достоверные данные о сечениях их образования и оценка энергетической зависимости этих сечений, получена наиболее надежная оценка времени жизни ${}^3_{\Lambda}\text{H}$, с рекордной точностью измерено время жизни ${}^4_{\Lambda}\text{H}$.

Научно-практическая ценность полученных результатов.

Полученные результаты открывают возможность качественно новых широкомасштабных исследований в области физики гиперядер. Программа таких исследований разрабатывается в настоящее время сотрудничеством СФЕРА-ГИБС.

Полученные экспериментальные данные по поиску сверхплотных и сверхразреженных ядер, по сечениям образования гиперядер в реакциях с релятивистскими ионами и временам жизни гиперядер представляют большой интерес для

теории ядерной материи и теории гиперон-нуклонного взаимодействия.

Результаты проведенных методических исследований неоднократно использовались и используются другими коллективами при планировании и проведении экспериментов как на ускорительном комплексе ЛВЭ ОИЯИ, так и на других ускорителях.

Апробация работы.

Результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались на научных семинарах Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, на IX Международном семинаре по проблемам физики высоких энергий (г.Дубна, июнь 1988 г.), на Международном симпозиуме по физике гиперядер в Леньяро (Италия, 1988), на XXIII конференции по слабым ядерным процессам и структуре ядра в Осаке (Япония, 1989), на Всесоюзной конференции по космическим лучам (Алма-Ата, 1989), на 4-ом Международном симпозиуме "Мезоны и легкие ядра" (Бехин, Чехословакия, 1989) и Международной конференции по физике гиперядер и странных частиц в Ванкувере (Канада, 1994).

Публикации.

Основное содержание диссертации отражено в 15 публикациях, список которых приведен в данном автореферате.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Диссертация содержит 84 страницы текста, включая 20 рисунков, 2 таблицы и список литературы из 90 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** кратко изложена ситуация, сложившаяся к моменту начала исследований, в физике гиперядер и физике сверхплотных ядер и обоснована актуальность дальнейших исследований.

В **первой главе** описаны методические исследования, которые были необходимы для постановки экспериментов по поиску аномальных (сверхплотных, сверхразреженных и других нестабильных) ядерных систем.

Была исследована высокочастотная структура пучка в канале медленного вывода синхрофазотрона, ее зависимость от режимов работы ускорителя, соотношения интенсивностей ускоренного и выведенного пучков и ряда других параметров. Эти исследования позволили подобрать режим, в котором число частиц между сгустками ("банчами") не превосходит 10^6 от полной выведенной интенсивности.

Исследование зависимости световыхода от плотности ионизации для сцинтилляторов на основе полистирола позволило разработать систему счетчиков, надежно

регистрирующих протоны в энергетическом интервале 5-25 МэВ при подавлении счета электронов не менее, чем на три порядка.

Во **второй главе** приводится описание и результаты экспериментов по поиску сверхплотных β -радиоактивных ядер, π^0 -радиоактивных ядер и метастабильных сверхплотных (сверхразреженных) состояний ядерной материи.

На рисунке 1 показаны полученные в эксперименте верхние границы (с 90% уровнем достоверности) сечений образования сверхплотных радиоактивных ядер вместе с данными работы [5].

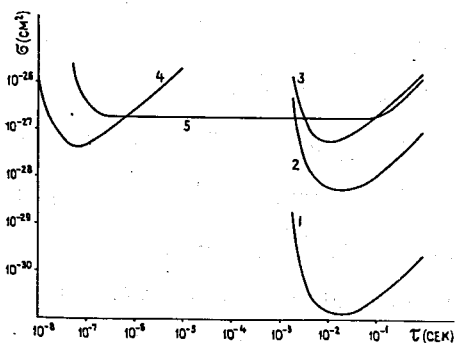


Рис.1. Верхние границы сечений образования сверхплотных бета-радиоактивных ядер (кривая 4), π^0 -радиоактивных ядер (кривая 5) в C+Pb и данные работы [5] для бета-радиоактивных ядер в p+Pb (1), He+Pb (2) и C+Pb (3).

На рисунке 2 представлены верхние границы (с 90% уровнем достоверности) сечений образования метастабильных

сверхплотных ядер в зависимости от их времени жизни и энергии возбуждения на пуклон.

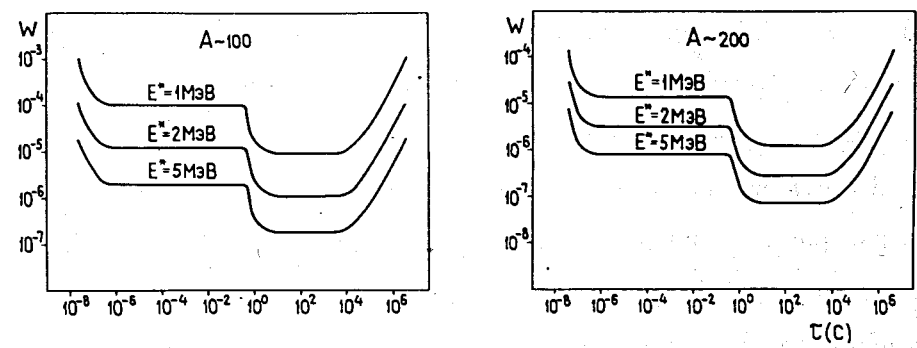


Рис.2. Верхняя граница вероятности образования метастабильных ядер с энергией возбуждения E^* и временем жизни τ в неупругих $^{16}\text{O}+\text{Pb}$ столкновениях при 1 ГэВ/пуклон.

В **третьей главе** приведено краткое описание установки ГИБС с двухметровой стримерной камерой в магнитном поле, проанализированы характеристики триггерных систем, предлагавшихся в разных работах для регистрации релятивистских гиперядер. Показано, что предлагавшиеся варианты не дают необходимой эффективности и/или не обладают достаточной избирательностью. Проанализированы характеристики предложенной нами триггерной системы, основанной на принципе увеличения заряда дочернего ядра

$${}^A_Z X \rightarrow \pi^- + {}^A_{(Z+1)} Y,$$

ее эффективность и избирательность. Описаны методические исследования сцинтилляционных счетчиков с длинными световодами, приведены характеристики счетчиков, использовавшихся в эксперименте по исследованию гиперядер, системы контроля амплитудных режимов счетчиков и блок-схема электроники триггера.

В четвертой главе описаны методы контроля эффективности регистрации гиперядер, критерии идентификации гиперядер и приведены полученные в результате проведенных исследований оценки сечений образования гиперядер в различных реакциях (см. таблицу 1) и времена жизни гиперядер ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ и ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ (см.

Гиперядро	Время жизни(пс)	Работа	Гиперядро	Время жизни(пс)	Работа
${}^3_{\Lambda}\text{H}$	90^{+220}_{-40}	[6]	${}^4_{\Lambda}\text{H}$	180^{+250}_{-70}	[6]
	105^{+20}_{-18}	[7]		120^{+60}_{-30}	[11]
	285^{+127}_{-105}	[8]		200^{+80}_{-80}	[12]
	264^{+84}_{-52}	[9]		268^{+166}_{-107}	[8]
	128^{+35}_{-26}	[10]			
	240^{+170}_{-100}	наши данные		220^{+50}_{-40}	наши данные

Таблица 2.

таблицу 2). Приведенные в таблице 1 теоретические значения сечений были рассчитаны специально для условий нашего эксперимента группой теоретиков из Японии и Чехии [14,15]. В таблице 2 вместе с нашими данными приведены результаты всех опубликованных к концу восьмидесятых годов экспериментов. Показано, что выбранная постановка эксперимента обеспечивает практически бесфоновую регистрацию гиперядер, а единственный источник физического фона - реакция перезарядки ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He}$ на рабочем газе камеры - не только не создает проблем, но и может быть использована для независимого контроля эффективности регистрации гиперядер.

Что касается результатов измерения времен жизни гиперядер, то спустя 4 года после публикации наших данных группа исследователей из Японии получила $\tau({}^4_{\Lambda}\text{H})=195^{+25}_{-30}$ пс

Пучок	Энергия ГэВ/нукл	Гиперядро	Сечение теор. (мкбн)	Число гиперядер	Сечение эксп. (мкбн)
${}^4\text{He}$	3,7	${}^4_{\Lambda}\text{H}$	0,29	21	$0,4^{+0,4}_{-0,2}$
${}^4\text{He}$	3,7	${}^3_{\Lambda}\text{H}$	0,06	1?	<0,1
${}^4\text{He}$	2,2	${}^4_{\Lambda}\text{H}$	0,08	1?	<0,08
${}^3\text{He}$	5,14	${}^3_{\Lambda}\text{H}$	0,03	2	$0,05^{+0,05}_{-0,02}$
${}^6\text{Li}$	3,7	${}^4_{\Lambda}\text{H}$	0,2	4	$0,3^{+0,3}_{-0,15}$
${}^6\text{Li}$	3,7	${}^3_{\Lambda}\text{H}$	0,09	2	$0,2^{+0,2}_{-0,15}$
${}^7\text{Li}$	3,0	${}^7_{\Lambda}\text{Li}$	0,11	0	<1
${}^7\text{Li}$	3,0	${}^6_{\Lambda}\text{He}$	0,25	0	<0,5

Таблица 1.

[13], что в пределах одной ошибки согласуется с нашим результатом.

В заключении сформулированы основные выводы:

1. Разработаны методы поиска радиоактивных и метастабильных сверхплотных ядер; разработан метод исследования релятивистских гиперядер.
2. Впервые получены верхние границы сечений образования β -радиоактивных сверхплотных ядер с временами жизни 10^{-7} - 10^{-6} с и π^0 -радиоактивных сверхплотных ядер с временами жизни 10^{-7} -1 с.
3. В эксперименте по поиску метастабильных сверхплотных (сверхразреженных) ядер впервые исследован интервал времен жизни 10^{-7} -1 с, а в интервале времен жизни 1- 10^5 с получена на порядок более жесткая, чем в аналогичных экспериментах других авторов, верхняя граница сечений их образования.
4. Впервые получены достоверные экспериментальные данные о сечениях образования гиперядер в пучках релятивистских ионов.
5. С рекордной точностью измерено время жизни гиперядра ${}^4_{\Lambda}\text{H}$, получена наиболее достоверная оценка времени жизни ${}^3_{\Lambda}\text{H}$.
6. Показано, что полученные результаты открывают

принципиально новые возможности широкомасштабных исследований в физике гиперядер.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В РАБОТАХ:

1. М.Х.Апкина, Г.Л.Варденга, В.Д.Володин, ..., С.А.Хорозов. "Поиск нестабильных сверхплотных ядер". Препринт ОИЯИ 1-83-275, Дубна, 1983. ЖЭТФ 85 (1983) 1532.
2. В.И.Волков, А.И.Голохвастов, В.П.Заболотин, ..., С.А.Хорозов. "Высокочастотная структура пучка в канале медленного вывода синхрофазотрона ОИЯИ". Депоированное сообщение ОИЯИ Б1-9-83-248. Дубна, 1983.
3. А.И.Голохвастов, Ю.Лукстныш, С.А.Хорозов. "Поиск метастабильных состояний ядер по запаздывающему испусканию протонов". Депоированное сообщение ОИЯИ Б1-1-84-496. Дубна, 1984.
4. Н.Н.Воробьева, М.Газзицкий, А.И.Голохвастов, ..., С.А.Хорозов. "Зависимость световыхода от плотности ионизации для сцинтиллятора на основе полистирола". Сообщение ОИЯИ 13-84-375. Дубна, 1984.
5. С.А.Авраменко, М.Х.Апкина, Г.Л.Варденга, ..., С.А.Хорозов. "Поиск метастабильных состояний ядер по

- запаздывающему испусканию протонов". Препринт ОИЯИ P1-85-340, Дубна, 1985. ЖЭТФ **91** (1986) 353.
6. S.Avramenko, V.Aksinenko, V.Butenko, ..., S.Khorozov "The observation of ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ relativistic hypernuclei produced in ${}^4\text{He}$ collisions with light nuclei at 18 GeV/c". JINR communication E1-87-337. Dubna, 1987.
 7. С.А.Авраменко, А.У.Абдурахимов, В.Д.Аксиненко, ..., С.А.Хорозов, "Образование и распад релятивистских гиперядер водорода". Препринт ОИЯИ Д1-88-691, Дубна, 1988. ЖЭТФ, письма, **48** (1988) 474.
 8. Авраменко С.А., Абдурахимов А.У., Аксиненко В.Д., ... , С.А.Хорозов, "Наблюдение релятивистских гиперядер ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ при взаимодействии ${}^4\text{He}$ (18 ГэВ/с) с легкими ядрами." Труды IX Международного семинара по проблемам физики высоких энергий (14-19 июня 1988 г., Дубна). Том II. Д1,2-88-652. Дубна, 1988, с. 172.
 9. A.U.Abdurakhimov, V.D.Aksinenko, M.Kh.Anikina, ..., S.A.Khorozov, "Experimental study of relativistic hypernuclei using the HYBS-spektrometer". Nuovo Cimento **102A** (1989) 645.
 10. S.Avramenko, V.Aksinenko, M.Anikina, ..., S.Khorozov, Production and decay of relativistic hypernuclei". in Proc. of Yamada Conference XXIII "Nuclear Weak Processes and Nuclear Structure" Osaka, Japan, June 12-15 1989, p.468. Edited by M.Morita, H.Ejiri, H.Ohtsubo, T.Sato. World Scientific, Singapore.

11. С.Н.Базылев, Ю.А.Беликов, А.И.Голохвастов, ..., С.А.Хорозов, "Автоматизированная система контроля триггера установки ГИБС". Сообщение ОИЯИ P10-90-533. Дубна, 1990.
12. Ю.А.Беликов, А.И.Голохвастов, В.П.Кондратьев, ..., С.А.Хорозов, И.Е.Шевченко. "Триггерная система для регистрации релятивистских гиперядер". Сообщение ОИЯИ P1-91-209. Дубна, 1991.
13. A.U.Abdurakhimov, V.D.Aksinenko, M.Kh.Anikina, ..., S.A.Khorozov, "Lightest hypernuclei production cross sections measurement in relativistic ion beams" in Proc. of the X Int. Seminar on High Energy Physics Problems: "Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics", World Scientific, 1991, p. 469.
14. S.Avramenko, V.Aksinenko, M.Anikina, ..., S.Khorozov, "A study of the production and lifetime of the lightest relativistic hypernuclei". JINR preprint E1-92-284. Dubna, 1992. Nucl.Phys. **A547** (1992) 95c.
15. S.A.Avramenko, Yu.A.Belikov, A.I.Golokhvastov, S.A.Khorozov ao . "A hypernuclear program for the nuclotron accelerator". JINR Rapid Communication 5[68]-94,14. Nucl.Phys. **A585** (1995) 91c.

Цитированная литература

1. Мигдал А.Б. ЖЭТФ, 61 (1971) 2209.
2. Lee T.D. and Wick G.C. Phys.Rev. D9 (1974) 891.
3. Понтекорво Б.М. ЯФ 11 (1970) 846.
4. Nagamya S. in Proc. of the VI Balaton Conference on Nuclear Physics. Balatonfured, Hungary, 1983.
5. Абдивалиев А. и др. ЖЭТФ 81 (1981) 1153.
6. Prem R.J. and P.H.Steinberg Phys.Rev. 136 (1964) B1803.
7. Block M.M. ao in "Proc. of Int. Conference on Hyperfragments", St. Serque, Switzerland, 1963. CERN, Geneva, 1964, p. 147.
8. Plillips R.E. and J.Schneps Phys.Rev. 180 (1969) 1307.
9. Keyes G. ao Phys.Rev. D1 (1970) 66.
10. Bohm G. ao Nucl.Phys. B16 (1970) 46.
11. Crayton B. ao in "Proc.of the Int.Conference on High Energy Physics" Geneva, 1962. Edited by J.Prentki. CERN, Geneva, 1962, p. 460.
12. Murphy C.T. in "Proc. of Int. Conference on Hypernuclear Physics". Argonne, 1969, p. 438.
13. Outa H. ao Nucl.Phys. A547 (1992) 109c.
14. Bando H., M.Sano, J.Zofka and M.Wakai Nucl.Phys. A501 (1989) 900.
15. Zofka J., M.Wakai, M.Sano and H.Bando Phys.Lett. B235 (1990) 25.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 марта 1996 года.