



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи
УДК 539.126
539.128.4

4-93-97

САПОЖНИКОВ
Михаил Григорьевич

**ИЗУЧЕНИЕ АННИГИЛЯЦИИ АНТИПРОТОНОВ
НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ С ЛЕГКИМИ ЯДРАМИ
НА НАКОПИТЕЛЕ LEAR (ЦЕРН)**

**Специальность: 01.04.16 — физика атомного ядра
и элементарных частиц**

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

Дубна 1993

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

член-корреспондент РАН,
профессор
доктор физико-математических наук,
профессор
доктор физико-математических наук

С.С.Герштейн

И.М.Граменицкий
А.С.Ильинов

Ведущая организация:
ИТЭФ, г. Москва

Автореферат разослан:

1993 г.

Защита диссертации состоится
на заседании Специализированного совета Д-047.01.03 Лаборатории
ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований,
г. Дубна, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного
института ядерных исследований.

Ученый секретарь Совета,
доктор физико-математических наук,
профессор

Ю.А.Батусов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Задачи антипротон-ядерной физики можно условно разделить на две категории. Первая - это изучение общих характеристик $\bar{p}A$ -динамики, то есть программа, во многом аналогичная протон-ядерным или пион-ядерным исследованиям последних лет. Вторая категория проблем - изучение специфических явлений, возникающих при аннигиляции антипротонов в ядрах. Как реагирует ядро на выделение в малом объеме почти 2 ГэВ энергии? Насколько велико взаимодействие в конечном состоянии большого числа аннигиляционных мезонов? Возможна ли аннигиляция на многонуклонных кластерах? Отличаются ли вероятности аннигиляции на свободном и связанном нуклонах? Все это примеры задач "чисто" антипротонной тематики. Именно эти проблемы обсуждаются в диссертации, которая посвящена исследованию процесса аннигиляции медленных антипротонов с легкими ядрами.

Изучение аннигиляции антипротонов с легкими ядрами проводилось в эксперименте PS 179 на накопителе LEAR в ЦЕРН на установке со стримерной камерой в магнитном поле.

Актуальность тематики нашего эксперимента в значительной мере обусловлена отсутствием систематических данных по взаимодействию антипротонов с ядрами. В эксперименте был обнаружен ряд новых, интересных эффектов, которые стимулировали большую теоретическую активность для их объяснения. Это относится прежде всего к обнаружению неожиданно большого выхода Λ -гиперонов даже при аннигиляции покоящихся антипротонов (т.е. при энергии, существенно ниже порога образования Λ в аннигиляции на свободном нуклоне, который составляет $p_{th} = 1435$ МэВ/с). Знание некоторых сечений аннигиляции на легких ядрах имеет особенно большое значение для космологии и позволило дать ограничение на количество антивещества в ранней Вселенной. Был сделан ряд работ по изучению реакций Понтекорво — нового класса процессов антипротон-ядерной аннигиляции.

Основная цель работы

Целью работы было получение экспериментальных данных о реакциях аннигиляции антипротонов с легкими ядрами при разных энергиях и анализ этих данных в рамках различных моделей.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

Научная новизна и практическая ценность работы

Систематическое изучение аннигиляции медленных антипротонов с ядрами ^3He и ^4He было проведено впервые, других данных по взаимодействию антипротонов с этими ядрами нет и поныне.

Обработка данных эксперимента PS 179 позволила обнаружить ряд новых, интересных эффектов:

- сильную изоспиновую зависимость амплитуды аннигиляции в высших парциальных волнах;
- существенное подавление реакции развала ядра антипротонами;
- неожиданно большой выход Λ -гиперонов даже при аннигиляции покоящихся антипротонов.

Были получены систематические сведения о характеристиках аннигиляции антипротонов с ядрами ^3He и ^4He при разных энергиях. Исследована роль эффектов взаимодействия в конечном состоянии. Измерение сечения выхода ^3He в $p^4\text{He}$ аннигиляции позволило получить ограничение на предельно допустимое количество антивещества в ранней Вселенной. Выполнен анализ нового класса процессов антипротон-ядерной аннигиляции — реакций Понтекорво.

Полученные результаты представляют собой практическую ценность для планирования новых экспериментов по изучению антипротон-ядерного взаимодействия. Особенно интересно использование реакций Понтекорво для поиска экзотических мезонных состояний. Открытие повышенного выхода гиперонов в pA аннигиляции при низких энергиях очень важно, поскольку это наглядно демонстрирует существенную роль эффектов перерасеяния аннигиляционных мезонов. Это интересное свойство антипротон-ядерной аннигиляции делает возможным исследование широкого спектра нетривиальных явлений: Λ и Σ -гиперядер, многокварковых странных состояний типа N -дибариона, изучение поглощения η - и ω -мезонов, получение разнообразных нуклидов.

Апробация работы

Результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались автором на международных конференциях по физике антипротонов на LEAR (Виллар, 1987; Стокгольм, 1990), конференции по антипротонной физике (Турин, 1989), конференции по взаимодействию антипротонов с нуклонами и ядрами NAN-91 (Москва, 1991), симпозиуме "Мезоны и легкие ядра" (Прага, 1991), семинаре "Адронная спектроскопия-92" (Протвино,

1992), симпозиуме "Пион-нуклонные и нуклон-нуклонные взаимодействия" (Гатчина, 1989), семинаре по проблемам физики высоких энергий, релятивистской ядерной физики и КХД (Дубна, 1990), семинаре по физике промежуточных энергий INES-89 (Москва, 1989), сессиях ОЯФ АН СССР.

Публикации

Основное содержание диссертации отражено в 37 публикациях, которые приведены в списке литературы.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Она содержит 189 страниц текста, 34 рисунка и список литературы из 182 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации дано описание экспериментальной установки и процедуры измерений.

Изучение аннигиляции антипротонов с ядрами ^3He и ^4He проводилось в эксперименте PS 179 на накопителе LEAR в ЦЕРН на установке со стримерной камерой в магнитном поле. Схема установки показана на Рис.1.

Стримерная камера, размером $90 \times 70 \times 18$ см³, работала при нормальном давлении, т.е. представляла собой тонкую газовую мишень толщиной ≈ 15 мг/см². Стримерная камера работала в так называемом самошунтирующем режиме, когда высоковольтный импульс обрывается самим разрядом в камере. Такой режим позволяет получить следы частиц с высокой яркостью уже при довольно малых концентрациях гасящих примесей (на уровне 1%). Поэтому газ камеры представлял собой достаточно однородную мишень.

Антипротоны с интенсивностью $1 \div 5 \cdot 10^4$ част/сек входили в камеру, минуя телескоп счетчиков $C_1 - C_2$. Триггер происходил, если антипротон входил в камеру и отклонялся в результате любого взаимодействия на угол, больший 5° от направления пучка (т.е. в антисовпадательный счетчик C_3 (см. Рис. 1), расположенный за камерой, не

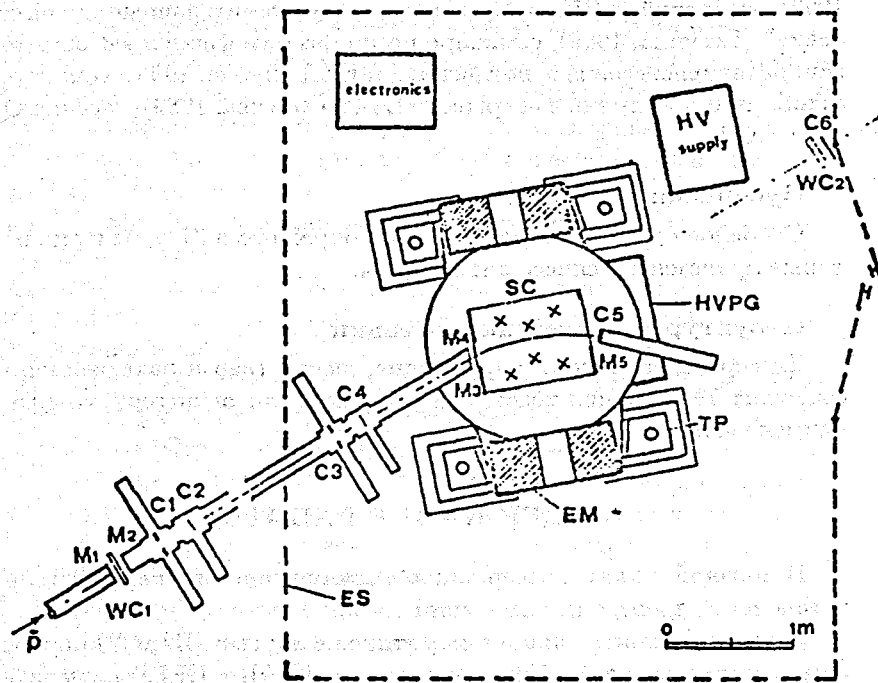


Рис. 1. Экспериментальная установка PS 179: SC - стримерная камера; C_{1-6} - триггерные сцинтилляционные счетчики; WC_{1-2} - проводочные пропорциональные камеры; EM - электромагнит; HVPG - генератор высоковольтных импульсов; TP - подвижная платформа; ES - электростатический экран; M_{1-5} - тонкие стенки.

попадала никакая частица). Такая схема триггера позволяла изучать все возможные конечные состояния реакции аннигиляции, упругого и неупругого рассеяния антипротонов.

Фотографирование осуществлялось стереопарой фотоаппаратов. Как правило, на одном кадре всегда было только одно событие аннигиляции.

Экспериментальные данные были получены при 4-х значениях импульса антипротонов - 105, 192.8, 306.2 и 607.7 МэВ/с.

Всего в эксперименте было просмотрено около $5 \cdot 10^5$ фотографий. Важным преимуществом камеры с газовым наполнением является

возможность регистрации частиц с малыми импульсами. Например, протоны с энергией 170 кэВ или α -частицы с энергией 300 кэВ имеют пробег 1 см в газе гелия — т.е. являются хорошо видимыми. Это означает, что мы видим практически все треки от протонов-спектрометров. Для сравнения, в экспериментах по изучению $\bar{p}d$ аннигиляции в пузырьковой камере протонов-спектрометров не было видно в 73% событий. Стримерная камера с газом при нормальном давлении - идеальный прибор для измерения множественностей в аннигиляции антипротонов.

Вторая глава посвящена исследованию основных характеристик $\bar{p}^4\text{He}$ аннигиляции — множественностей, сечений отдельных каналов, импульсных распределений частиц в конечном состоянии.

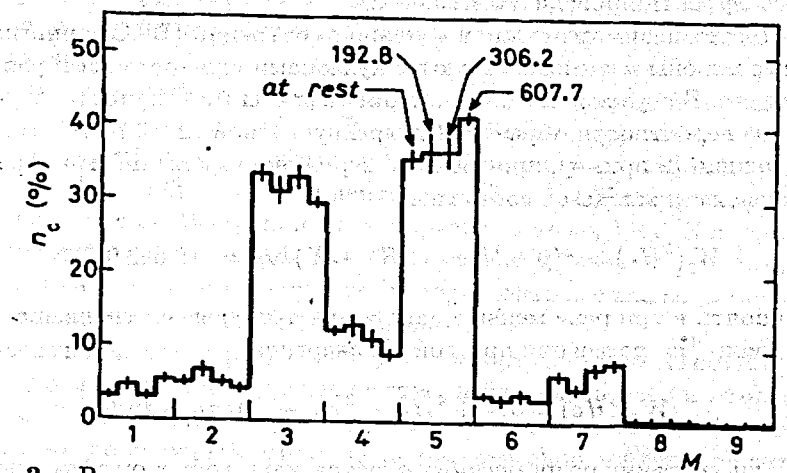


Рис. 2. Распределение по множественности заряженных частиц в неупругом $\bar{p}^4\text{He}$ -взаимодействии. По оси ординат отложена величина $W = \sigma_i/\sigma_R$ (%). Для удобства восприятия на эту гистограмму нанесены результаты при всех энергиях.

Для надежного определения множественностей и топологических сечений $\bar{p}^4\text{He}$ аннигиляции отбирались события с вершиной в центральной части камеры. Эффективность просмотра для нахождения события взаимодействия составила 99,5% на всей длине камеры. Систематическая ошибка за счет неопределенностей в знании толщины мишени и мониторинговании пучка составляла 2,5%.

На Рис. 2 показано распределение по множественности заряженных частиц в неупругом $\bar{p}^4\text{He}$ -взаимодействии. Первый столбец в каждой ячейке гистограммы соответствует множественности, измеренной для аннигиляции покоящихся антипротонов, второй — при энергии 19,6 МэВ, третий — при 48,7 МэВ и четвертый — при 179,6 МэВ. Полное число событий, включенное в эту гистограмму составило: — 2677 событий для аннигиляции покоящихся антипротонов, 612 — при энергии 19,6 МэВ, 1042 — при 48,7 МэВ, 2859 — при 179 МэВ.

Как хорошо видно из Рис. 2, распределение по множественности заряженных частиц практически не зависит от энергии налетающего антипротона. Это указывает на неожиданно большое подавление реакций безаннигиляционного развала ядра типа (\bar{p}, \bar{p}') , подробное обсуждение этого эффекта проводится в Главе 2.

За счет взаимодействия в конечном состоянии (ВКС) аннигиляционные мезоны взаимодействуют с нуклонами ядра-остатка и разваливают его. В случае $\bar{p}^4\text{He}$ аннигиляции эффекты ВКС приводят к уменьшению вероятности образования трехнуклонной системы в связанном состоянии. Например, при 180 МэВ вероятность для ^3He выжить после аннигиляции как целое составляет

$$W_{\bar{p}}(^3\text{He}) = \sigma(\bar{p} + ^4\text{He} \rightarrow ^3\text{He} + X) / \sigma_R = (15.6 \pm 0.7)\%.$$

Это почти в три раза меньше, чем соответствующее отношение в случае пион- ^4He рассеяния при той же энергии:

$$W_{\pi}(^3\text{He}) = \sigma(\pi + ^4\text{He} \rightarrow ^3\text{He} + X) / \sigma_R \approx 46\%.$$

В диссертации подробно обсуждается, каким образом эффекты ВКС проявляются в импульсных спектрах частиц в конечном состоянии.

Весьма интересно, что знание сечений процессов $\bar{p}^4\text{He}$ аннигиляции с образованием трехнуклонной системы в связанном состоянии представляет значительный интерес для астрофизики. Я.Б.Зельдович и Б.М.Понтекорво привлекли внимание нашей группы к необходимости экспериментального изучения таких процессов.

В работе [1] было показано, что можно связать сечения образования ^3He в $\bar{p}^4\text{He}$ аннигиляции с количеством антивещества в ранней Вселенной.

Стандартная барион-асимметричная модель Вселенной исключает возможность существования во Вселенной значительных количеств антивещества начиная с момента времени $t > 10^{-8}$ с от начала расширения (см., например, [2]). С другой стороны, современная астрофизика, а также теории великого объединения взаимодействий элементарных частиц предсказывают возможность существования в ранней Вселенной некоторых источников антивещества. Ими могут быть, например, распады тяжелых метастабильных частиц (типа гравитино), испарение первичных черных дыр, а также домены антивещества. — области с избытком отрицательного барионного заряда, существование которых предсказывается некоторыми моделями великого объединения. К настоящему времени такие источники антивещества могли полностью исчезнуть, проаннигилировав с обычным веществом, однако последствия их аннигиляции могут быть довольно значительны и поддаваться обнаружению.

Так хорошо известно, что вторым по распространенности элементом во Вселенной является ^4He . В работе [1] было обращено внимание на то, что антипротоны от источников антивещества могли бы аннигилировать с ^4He с образованием дейтерия и ^3He . Так как концентрации дейтерия и ^3He во Вселенной на 4 порядка меньше, чем ^4He , то достаточно небольшой доле ^4He ($\approx 10^{-4}$) испытать развал в результате аннигиляции с антипротонами, чтобы образовать все наблюдаемое сегодня обилие дейтерия и ^3He во Вселенной.

Предполагая, что в результате $\bar{p}^4\text{He}$ аннигиляции не может образоваться больше ^3He , чем его количество, наблюдающееся в настоящее время во Вселенной и измерив эффективный выход ^3He в $\bar{p}^4\text{He}$ аннигиляции можно получить ограничение на предельно допустимое количество антивещества в ранней Вселенной.

Из наших измерений [3,4] при разных энергиях антипротонов оказалось, что

$$R = \frac{n_{\bar{p}}}{n_p} < (0.8 - 1.2) \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

Если бы в ранней Вселенной отношение R было бы больше, чем предел (1), то это привело бы к "перепроизводству" ^3He , его концентрация во Вселенной оказалась бы больше, чем наблюдаемая.

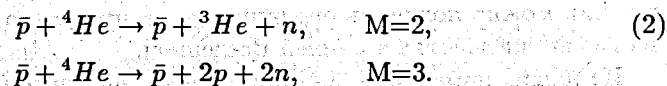
Необходимо подчеркнуть, что полученная нами оценка на величину R является единственным экспериментальным ограничением на ко-

личество антивещества в ранней Вселенной в период $10^3 < t < 10^{13}$ с от начала расширения. Оно полностью основывается на наблюдательных данных по концентрациям ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$ и выходу ${}^3\text{He}$ в $\bar{p}{}^4\text{He}$ аннигиляции. Имевшиеся ранее оценки на возможную величину R , которые были сделаны из анализа данных по планковскому характеру спектра реликтового излучения, позволяли заключить лишь, что $R < 1$.

Знание верхнего предела для R позволяет наложить сильные ограничения на плотность в ранней Вселенной первичных черных дыр, на концентрацию сверхтяжелых метастабильных частиц (например, на концентрацию гравитино с массой 10^2 ГэВ), а также на целый ряд других параметров источников антивещества в ранней Вселенной (см., более подробное обсуждение в работах [2,5]).

В третьей главе приводятся экспериментальные результаты по измерению сечений безаннигиляционного развала ядра ${}^4\text{He}$. Оказалось, что в антипротон-ядерном взаимодействии такие реакции довольно сильно подавлены. Этот вывод можно сделать уже из анализа распределений по множественности, показанных на Рис.2, где видно, что распределение по множественности заряженных частиц практически не зависит от энергии налетающего антипротона. Особенно удивителен тот факт, что с энергией практически не меняется относительный выход событий с 2 и 3 заряженными частицами в конечном состоянии.

Дело в том, что в реакции с $M=2,3$ могут давать вклад не только реакции аннигиляции, но и процессы безаннигиляционного развала ядра, типа



Однако порог таких реакций составляет 24,8 МэВ. Следовательно, для покоящихся антипротонов и при энергии $T=19,6$ МэВ наблюдаемые распределения по множественности содержат только события аннигиляции (заметим, что порог реакции перезарядки $\bar{p}{}^4\text{He} \rightarrow \bar{n}{}^3\text{He}$ составляет 28 МэВ). При более высоких энергиях канал (\bar{p}, \bar{p}') открыт, и если бы этот процесс имел значительное сечение, то относительный выход частиц с $M=2,3$ должен заметно возрасти. Однако, как видно из Рис. 2,

это не так — появление каналов неупругого рассеяния практически не меняет относительный выход частиц с $M=2,3$ при высоких энергиях.

Уже из этих данных можно оценить, что σ_b по крайней мере меньше 5-10% от σ_R [8].

Такое заключение подтверждают и результаты прямых измерений, выполненных при энергии $T=179.6$ МэВ [13]. (К сожалению, статистика при энергии 48.7 МэВ недостаточна для того, чтобы сделать аналогичный анализ).

События развала ядра выделялись с помощью кинематического фитирования, а также с помощью критериев на ионизацию трека. В качестве теста процедуры выделения реакций развала мы проанализировали события при энергии 19.6 МэВ — т.е. при энергии ниже порога реакций (2). Ни одно событие при этой энергии не было отнесено к категории реакций развала.

Окончательно, было найдено, что среди двухлучевых событий случаи реакции развала ядра составляют $(30.8 \pm 9.0)\%$, а среди трехлучевых событий — $(15.1 \pm 3.4)\%$. Соответствующие сечения таковы:

$$\begin{aligned} \sigma_b(M=2) &= 4.2 \pm 1.3 \text{ mb} \\ \sigma_b(M=3) &= 11.3 \pm 2.6 \text{ mb} \\ \sigma_b(\text{tot}) &= 15.5 \pm 2.9 \text{ mb}. \end{aligned}$$

То есть $\sigma_b(\text{tot})$ составляет всего лишь 6.5% от полного сечения реакций при данной энергии. Это сильно отличается от характерных величин сечений развала ядер пионами или протонами, которые составляют 70-100% от полного сечения неупругих реакций.

Для выяснения физических причин подавления развала ядра антипротонами были сделаны расчеты по модели Глаубера [11,13]. Они показали хорошее согласие с экспериментальными данными: величина сечения развала при 180 МэВ оказалась $14,7 \div 16,2$ мб, в зависимости от параметризации элементарной амплитуды $N\bar{N}$ взаимодействия. Были рассчитаны также сечения развала ядра для разных ядер. Оказалось, что во всех случаях они малы, на уровне 10% от σ_R . Как было показано в [13], основная физическая причина этого явления состоит в большой вероятности аннигиляции, которая не дает возможность проходить реакциям квазиупругого рассеяния при всех прицельных параметрах, кроме небольшого кольца на ядерной поверхности. Следова-

тельно, можно ожидать, что реакции безаннигиляционного развала будут чувствительны к деталям ядерной плотности на периферии ядра. В самом деле, как показали наши вычисления, в случае ^{40}Ca 10% изменение величины параметра диффузности ядра приводит к 10% изменению σ_b , тогда как все другие сечения рассеяния практически не меняются.

Причина подавления развала ядра антипротонами в случае легких ядер лежит в специфике $N\bar{N}$ -амплитуды [8,13]. Хорошо известно, что при низких энергиях $\bar{p}p$ -рассеяние происходит главным образом на небольшие углы. Поэтому элементарная $N\bar{N}$ амплитуда рассеяния характеризуется малыми средними переданными импульсами $\langle q^2 \rangle$, которых просто недостаточно для того, чтобы отделить нуклон от ядра. Аналогичный эффект был обнаружен также в других экспериментах при изучении аннигиляции антипротонов с ^{12}C .

Четвертая глава посвящена изучению эффектов изоспиновой зависимости $N\bar{N}$ амплитуды в $\bar{p}A$ аннигиляции.

Из экспериментов по $\bar{p}p$ и $\bar{n}p$ аннигиляции на лёту известно, что отношение R

$$R = \frac{\sigma_{ann}(\bar{p}n)}{\sigma_{ann}(\bar{p}p)} \quad (3)$$

есть около $R = 0.8 \div 1.0$ и практически не зависит от энергии.

Для аннигиляции покоящихся антипротонов в жидком дейтерии было найдено, что $R(d) = 0.82 \pm 0.03$.

В нашем эксперименте была измерена величина отношения R для аннигиляции покоящихся антипротонов в ^3He и ^4He [15,16].

Для исследования аннигиляции останавливающихся антипротонов был использован пучок LEAR с импульсом 105 МэВ/с. Кинетическая энергия антипротона, влетевшего в камеру составляла ≈ 2.5 МэВ. Антипротоны с такой энергией замедлялись в газе камеры и аннигилировали вблизи центра камеры. Всего в этой зоне оказалось 3125 событий $\bar{p}^3\text{He}$ аннигиляции.

Зная относительные выходы частиц с данной множественностью в $\bar{p}p$ и $\bar{p}n$ аннигиляции, можно рассчитать относительные вероятности образования i отрицательных π -мезонов B_A^i в $\bar{p}A$ аннигиляции.

На Рис. 3 и 4 показаны результаты расчета B_A^i для аннигиляции антипротонов с ^3He и ^4He с учетом эффектов ВКС. Предполагалось,

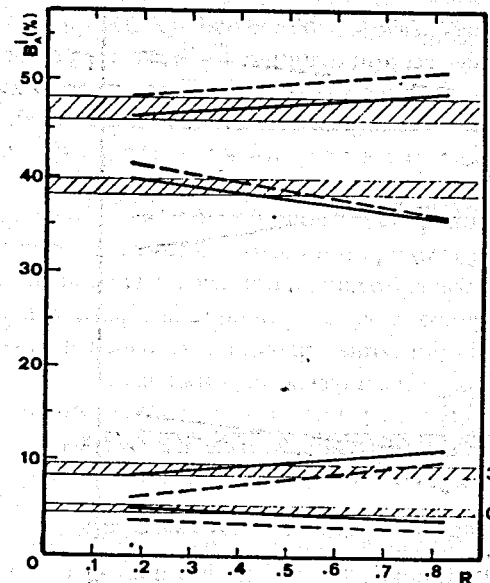


Рис. 3. Результаты расчета B_A^i для аннигиляции покоящихся антипротонов с ^3He при разных значениях R . Сплошными линиями нанесены результаты расчета с учетом эффектов ВКС, пунктирными — без учета ВКС. Заштрихованные полосы соответствуют ошибкам в экспериментальных данных.

что вероятность пиону подвергнуться взаимодействию в конечном состоянии есть $W_{FSI} = 0.26$, причем вероятность потерять отрицательный пион за счет реакций перезарядки есть $W_{CEX} = 0.2$. Сплошными линиями нанесены результаты расчетов для разных значений R . Пунктирными линиями показаны расчеты без учета эффектов ВКС.

Видно, что учет ВКС не слишком сильно изменяет конечное распределение, однако он несомненно улучшает согласие с экспериментальными результатами. Необходимо подчеркнуть, что хотя эффекты ВКС не слишком заметны в инклюзивных величинах типа B_A^i , тем не менее эти процессы довольно существенны и происходят у большой доли ≈ 20 -30% событий аннигиляции.

Наилучшее согласие с экспериментальными данными наступает при

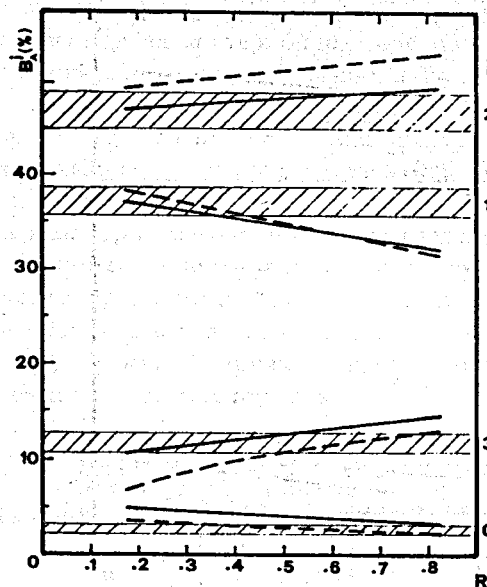


Рис. 4. Результаты расчета B_A^i для аннигиляции покоящихся антипротонов с ${}^4\text{He}$ при разных значениях R . Сплошными линиями нанесены результаты расчета с учетом эффектов ВКС, пунктирными - без учета ВКС. Заштрихованные полосы соответствуют ошибкам в экспериментальных данных.

следующих значениях R и W_{FSI} :

$$R({}^3\text{He}) = 0.35 \pm 0.07; \quad W_{FSI}({}^3\text{He}) = 0.15 \pm 0.03,$$

$$R({}^4\text{He}) = 0.48 \pm 0.10; \quad W_{FSI}({}^4\text{He}) = 0.08 \pm 0.05.$$

В пределе $k \rightarrow 0$ отношение R связано с NN длинами рассеяния в S -волне:

$$R = \frac{2 \operatorname{Im} a_1}{\operatorname{Im} a_1 + \operatorname{Im} a_0}.$$

Значение R , которое получается в результате недавних экспериментов есть $R = 0.87 \pm 0.11$, такое же число предсказывает большинство потенциальных моделей NN взаимодействия. Видно, что это заметно больше результатов, полученных в гелии.

Возможная причина этого состоит в том, что антипротоны, остающиеся в гелиевом газе, аннигилируют главным образом из P - и D - атомных состояний. Как было показано в расчетах электромагнитного каскада в гелии, вероятность проаннигилировать из S -уровней атома гелия при 1 атм есть 8%, тогда как вероятность аннигилировать из P -состояний составляет 49%, а из D -состояний — 43%.

Следовательно, невозможно напрямую сравнивать результаты, полученные в гелии с теми, что были измерены в $\bar{p}d$ - или в $\bar{p}p$ - аннигиляции. Причина состоит в том, что в жидком водороде захват антипротонов происходит главным образом с высоко возбужденных S -состояний из-за сильного штарковского смешивания. Различие в R для аннигиляции в ${}^4\text{He}$ и дейтерии должно рассматриваться как указание на сильную изоспиновую зависимость NN -амплитуды в P - и/или D -состояниях.

Интересно, какую энергетическую зависимость отношения R предсказывают потенциальные модели NN - взаимодействия, где аннигиляционный потенциал не зависит от изоспина, а всю изоспиновую зависимость симулирует только реальная часть NN потенциала, которая строится из нуклон-нуклонного потенциала путем G -сопряжения. На Рис.5 показана энергетическая зависимость отношения R в S - и P - волне, рассчитанная в модели Довера-Ришара. Видно, что S -волновое отношение ≈ 0.8 воспроизводится в таком подходе довольно хорошо. Причем это согласуется с данными по $\bar{p}d$ -аннигиляции, показанными на Рис.5 незаштрихованными квадратами. Однако в P -волне модель Довера-Ришара дает на пороге $R_p \approx 0.75$ в резком противоречии с данными по $\bar{p}{}^4\text{He}$ - аннигиляции (на Рис.5 они обозначены крестами).

Таким образом, малость отношения R в $\bar{p}\text{He}$ -аннигиляции можно рассматривать как указание на сильную изоспиновую зависимость NN -взаимодействия в высших парциальных волнах, которая должна возникнуть за счет изоспиновой зависимости аннигиляционного NN потенциала. Это довольно редкий пример того, как изучение $\bar{p}A$ -взаимодействия предоставило новую информацию о структуре элементарной NN амплитуды рассеяния.

Полезную информацию об изоспиновой структуре элементарной NN амплитуде можно извлечь также из анализа сечений \bar{p} -ядерного рассеяния. В диссертации подробно описаны расчеты $\bar{p}A$ -рассеяния по модели Глаубера [10-12]; в которых показано, что можно получить хорошее описание \bar{p} -ядерных данных если использовать следующие параметри-

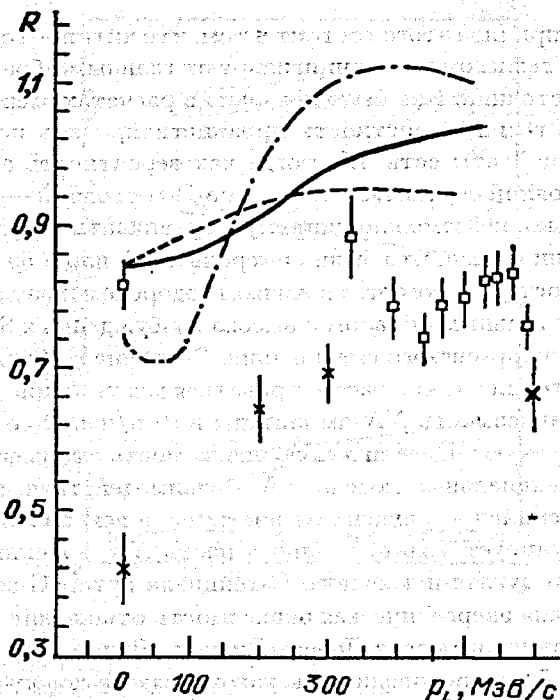


Рис. 5. Зависимость отношения R от импульса. Крестами показаны данные по аннигиляции покоящихся антипротонов в ${}^4\text{He}$, квадратами - в $\bar{p}A$ -аннигиляции. Кривые соответствуют расчетам в потенциальной модели Довера-Ришара для вкладов S -волны (штриховая линия), P -волны - (штрихпунктирная) и $S+P$ - (сплошная линия).

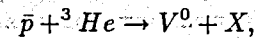
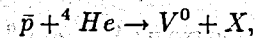
зависимости $\bar{p}n$ -сечений:

$$\sigma_{\bar{p}n}^{tot} = 60.59 + 44.26/p_L \quad (\text{ГэВ}/c),$$

$$\sigma_{\bar{p}n}^{ann} = 37.20 + 27.97/p_L \quad (\text{ГэВ}/c).$$

В пятой главе обсуждаются экспериментальные результаты по рождению странных частиц при аннигиляции антипротонов на ядрах ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ [19, 21, 24, 30, 32], а также результаты теоретических расчетов выходов странных частиц в $\bar{p}A$ аннигиляции [29, 33].

Мы исследовали следующие реакции:



где $V^0 = \Lambda(\Sigma^0), K_S^0$.

Данные были получены при облучении стримерной камеры пучком антипротонов с импульсом 607,7 МэВ/с или 105 МэВ/с в случае ${}^4\text{He}$ и 105 МэВ/с — для ${}^3\text{He}$.

При таких энергиях невозможно образование Λ в аннигиляции на свободном нуклоне, поскольку порог реакции $\bar{p} + p \rightarrow \Lambda + \bar{\Lambda}$ составляет $p_{th} = 1435$ МэВ/с. Однако, как оказалось, выход Λ в $\bar{p}A$ аннигиляции довольно большой, даже для аннигиляции покоящихся антипротонов.

С целью поиска кандидатов на распад нейтральной странной частицы V^0 было просмотрено $\approx 2 \cdot 10^5$ фотографий. Найденные события измерялись и затем обрабатывались программой геометрической реконструкции и кинематического анализа HYDRA.

Потери V^0 -частиц, распадающихся вне границ эффективного объема или недалеко от звезды, учитывались введением весов. Для каждого события вес W (величина, обратная вероятности регистрации события) был вычислен с помощью моделирования.

Чтобы оценить возможные ошибки, возникающие при идентификации реакций, было сделано моделирование по Монте-Карло событий с образованием Λ и K_S^0 -мезонов; затем их характеристики искажались с учетом реальных точностей измерений в камере и моделированные события подвергались такой же процедуре обработки как и экспериментальные. Оказалось, что в $\approx 10\%$ случаев могла происходить неправильная идентификация V^0 . Однако конечные величины сечений (или выходов, для аннигиляции в покое) с учетом этой коррекции отличаются от нескорректированных всего лишь на 2%. Это происходит из-за того, что идет взаимная "перекачка" Λ в K_S^0 и обратно.

Основные экспериментальные результаты сведены в Таблицу 1.

Были измерены также множественности в событиях со странными частицами, импульсные распределения Λ и K_S^0 , а также выходы отдельных полуинклюзивных каналов типа $K_S^0 K_S^0$ или ΛK_S^0 .

Как видно из результатов, представленных в Таблице 1, обнаружен аномально высокий выход Λ -гиперонов, сравнимый с выходом K_S^0 даже для аннигиляции покоящихся антипротонов.

Таблица 1. Относительные выходы $Y = \sigma(V^0)/\sigma_a$ нейтральных странных частиц в аннигиляции антипротонов на ядрах гелия. R — отношение $Y(\Lambda)/Y(K_S^0)$.

	Число V^0	$Y(\%)$		R
		Λ	K_S^0	
В покое				
$\bar{p}^3\text{He}$	123	$0,55 \pm 0,11$	$1,59 \pm 0,20$	$0,35 \pm 0,08$
$\bar{p}^4\text{He}$	617	$1,12 \pm 0,12$	$1,07 \pm 0,11$	$1,05 \pm 0,16$
$p=0,6 \text{ ГэВ/с}$				
$\bar{p}^4\text{He}$	110	$1,53 \pm 0,22$	$1,63 \pm 0,22$	$0,94 \pm 0,19$

Можно ли объяснить особенности образования странных частиц в $\bar{p}A$ аннигиляции с позиций некоторых "стандартных" подходов или же мы имеем дело с проявлениями "новой" физики? На этот счет имеются разные точки зрения. Так, Й.Рафелски полагал, что результаты по образованию странных частиц в $\bar{p}A$ аннигиляции свидетельствуют об образовании переохлажденной кварк-глюонной плазмы с температурой порядка 60 МэВ.

Куньон и Вандермюлен указали, что увеличение рождения странных частиц может происходить не только при фазовом переходе в адронной материи, но и при испарении фajerболов с ненулевым барионным зарядом.

Теоретический анализ полученных результатов, а также всей имеющейся совокупности данных по рождению странных частиц в $\bar{p}A$ -аннигиляции, выполненный в диссертации, позволил сделать вывод о том, что простая схема перерасcеяния аннигиляционных мезонов оказывается вполне достаточной для объяснения значительного выхода Λ даже в области энергий антипротонов, существенно ниже порога $\Lambda\bar{\Lambda}$ (см. Рис.6).

Оказалось, что основным источником обильного рождения гиперонов является перерасcеяния аннигиляционных каонов. Значительный вклад в образование Λ вносят перерасcеяния заряженных Σ на нуклонах ядра-остатка. Рождение Λ при взаимодействии π или η - мезонов дают малый вклад, но должны быть существенны при формировании высокоимпульсной компоненты спектра Λ .

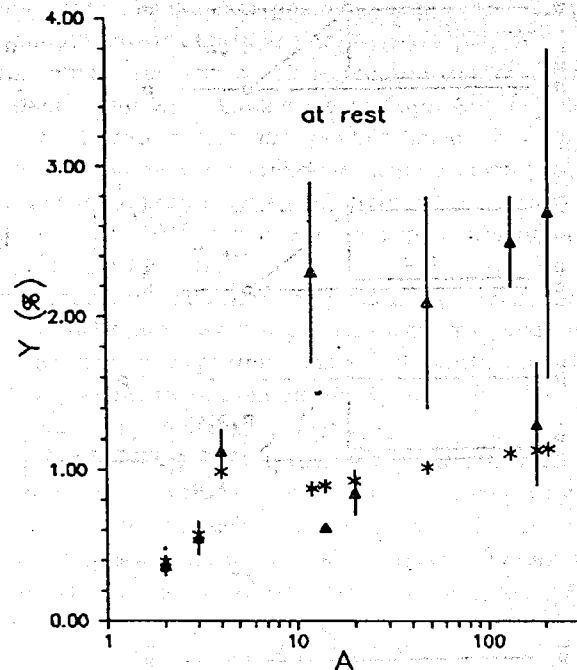


Рис. 6. Результаты расчетов выхода Λ гиперонов $Y(\Lambda)$ в аннигиляции покоящихся антипротонов на ядрах (звездочки).

В шестой главе рассматриваются свойства нового класса реакций антипротон-ядерной аннигиляции — реакций Понтекорво.

Б.М. Понтекорво еще в 1956 г. обратил внимание на возможность нетривиальных реакций аннигиляции, которые запрещены на свободном нуклоне, но разрешены на нуклоне, связанном в ядре. При обычной аннигиляции антипротонов на нуклоне всегда должны образовываться как минимум два мезона. Однако в аннигиляции антипротонов на ядрах возможны реакции, когда в конечном состоянии образуется только один мезон, например



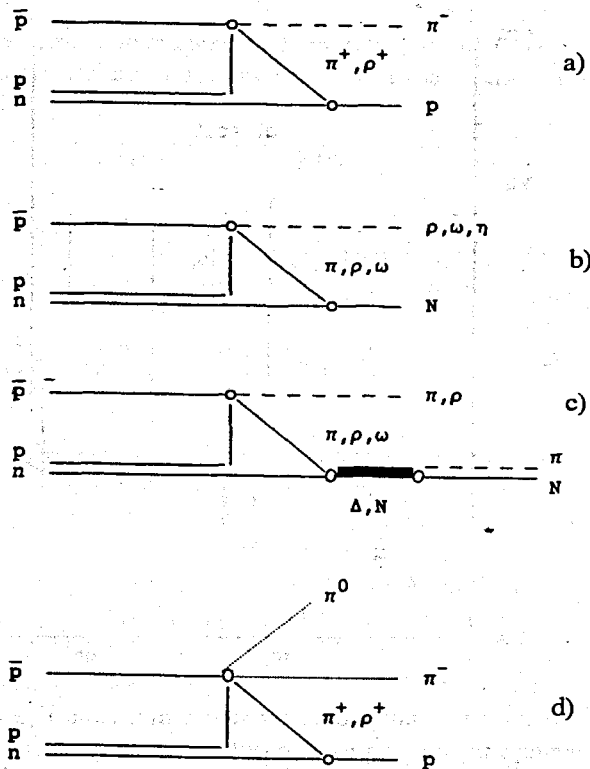
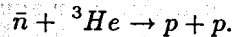
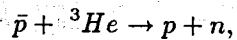


Рис. 7. Диаграммы для реакции Понтекорво $\bar{p} + d \rightarrow M + N$



или аннигиляция, когда в конечном состоянии совсем нет мезонов:



Интерес к изучению реакций Понтекорво мотивирован тем, что такие процессы чувствительны к поведению высокоимпульсной компоненты волновой функции ядра, где ненуклонные степени свободы должны играть важную роль. В стандартном подходе реакции (4)-(6) можно рассматривать как двухступенчатые процессы, показанные на диаграммах Рис. 7.

В диссертации выполнены расчеты вероятностей реакций (4)-(6) для аннигиляции покоящихся антипротонов [20, 25]. Показано, что результаты сильно зависят от поведения волновой функции дейтрона на малых расстояниях, а также от выбора MNN формфактора. Вероятность (4), вычисленная для реалистической $\psi_d(p)$ и MNN формфактора, всегда оказывается меньше экспериментального результата. Например, для парижской волновой функции и дипольного формфактора $W(\pi^- p) = 2.7 \cdot 10^{-6}$, тогда как экспериментальное значение есть $W(\pi^- p) = (1.20 \pm 0.14) \cdot 10^{-5}$.

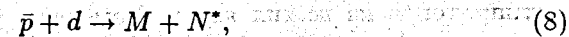
Двухступенчатый механизм для реакций Понтекорво со странными частицами (5)-(6) приводит к вероятностям, которые на один-три порядка меньше, чем экспериментальный верхний предел $W(K^+ \Sigma^-) < 8 \cdot 10^{-6}$. Обнаружение этих реакций на уровне $10^{-6} \div 10^{-7}$ должно быть ясным сигналом нетривиальной физики.

Важно заметить [36], что определение реакций Понтекорво как процессов, которые не могут происходить на свободном нуклоне или быть следствием перерасеяния мезонов, находящихся на массовой поверхности, охватывает довольно широкий класс реакций аннигиляции. Например, должно существовать множество реакций одномезонной аннигиляции типа



где M - любой мезон, такой как $\eta, \rho, \omega \dots$ и т.д. (см диаграмму Рис. 7b).

Класс реакций Понтекорво включает также процессы образования резонансов



где N^* может быть любым барионным резонансом типа $\Delta(1232)$ или $N(1540)$ (см. диаграмму Рис. 7c).

Первые оценки вероятностей различных реакций Понтекорво с различными мезонами были сделаны в [37]. Предсказывается, что, например, вероятность реакции $\bar{p} + d \rightarrow \rho^- + p$ может быть в два раза большей, чем $\bar{p} + d \rightarrow \pi^- + p$.

Кроме того, возможны случаи, когда сначала происходит аннигиляция в 2,3,4 ... мезона, а затем один из мезонов поглощается на нуклоне (см. для примера Рис. 7d). Ясно, что такое поглощение мезонов на

$$\sigma_{pn}^{ann} = 37.20 + 27.97/pL \text{ (ГэВ/с)}$$

5. Измерены выходы и сечения рождения странных частиц в $\bar{p}^3\text{He}$ и $\bar{p}^4\text{He}$ аннигиляции для покоящихся антипротонов и в $\bar{p}^4\text{He}$ аннигиляции при 600 МэВ/с. Обнаружен аномально высокий выход Λ -гиперонов, сравнимый с выходом K_S^0 даже для аннигиляции покоящихся антипротонов.

Представлены результаты по импульсным спектрам Λ и K_S^0 -мезонов, измерены вероятности отдельных полуинклюзивных каналов со странными частицами в конечном состоянии, определены множественности в событиях со странными частицами.

Теоретический анализ полученных результатов, а также всей имеющейся совокупности данных по рождению странных частиц в $\bar{p}A$ -аннигиляции, позволил сделать вывод о том, что модель перерасеяния аннигиляционных мезонов оказывается вполне достаточной для объяснения значительного выхода Λ даже в области энергий антипротонов, существенно ниже порога $\Lambda\bar{\Lambda}$.

Основным источником обильного рождения гиперонов является перерасеяние аннигиляционных каонов. Значительный вклад в образование Λ вносит перерасеяние заряженных Σ на нуклонах ядра-остатка. Рождение Λ при взаимодействии π или η -мезонов дает малый вклад, но должно быть существенно при формировании высокоимпульсной компоненты спектра Λ .

Открытие повышенного выхода гиперонов в $\bar{p}A$ аннигиляции при низких энергиях очень важно, поскольку это наглядно демонстрирует роль эффектов перерасеяния мезонов. Это интересное свойство антипротон-ядерной аннигиляции делает возможным исследование широкого спектра нетривиальных явлений: Λ и Σ -гиперядер, поиск суперядер, многокварковых странных состояний типа Н-дибариона, изучение поглощения η - и ω -мезонов, получение разнообразных нуклидов.

6. Выполнен анализ нового класса реакций антипротон-ядерной аннигиляции — реакций Понтекорво. Рассчитаны вероятности различных реакций Понтекорво. Показано, что такие процессы сильно зависят от поведения волновой функции дейтрона при больших переданных импульсах и вида MNN формфактора. Рассмотрены применения реакций Понтекорво для поиска многокварковых состояний.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Chechetkin V.M., Khlopov M.Yu., Sapozhnikov M.G., Zeldovich Ya.B., Astrophysical aspects of antiproton interaction with ^4He (Antimatter in the Universe), Phys.Lett., 1982, v.B118, p.329.

2. Chechetkin V.M., Khlopov M.Yu., Sapozhnikov M.G., Antiproton interactions with light elements as a test of GUT cosmology, Riv.Nuov.Cim., 1982, v.5,N10, p.1.

3. Batusov Yu.A., Falomkin I.V., Pontecorvo G.B., Sapozhnikov M.G., Balestra F., Bussa M.P., Busso L., Ferrero L., Gervino G., Panzieri D., Piragino G., Tosello F., Bendiscioli G., Filippini V., Rotondi A., Zenoni A., Guaraldo C., Maggiora A., Lodi Rizzini E., Vascon M., Zanella G., Restriction on amount of antimatter in the early Universe from $\bar{p}^4\text{He}$ reaction data, Lett. Nuov.Cim., 1984, v.41,N7, p.223.

4. Батусов Ю.А., Бунятов С.А., Никитиу Ф., Понтекорво Д.Б., Сапожников М.Г., Фаломкин И.В., Балестра Ф., Бусса М.П., Буссо Л., Джервино Дж., Панциери Д., Пираджино Г., Тоселло Ф., Ферреро Л., Бендишоли Дж., Филиппини В., Зенони А., Ротонди А., Гуаральдо К., Маджиора А., Лоди Риццини Э., Васкон М., Занелла Дж., Хлопов М.Ю., Ограничение на количество антивещества в ранней Вселенной из данных по взаимодействию антипротонов с ^4He , Краткие сообщения ОИЯИ, 1985, N6, с.11.

5. Falomkin I.V., Pontecorvo G.B., Sapozhnikov M.G., Khlopov M.Yu., Balestra F., Piragino G., Low-energy $\bar{p}^4\text{He}$ annihilation and problems of the modern cosmology, GUT and SUSY models, Nuov.Cim., 1984, v.79 A, p.193.

6. Balestra F., Bussa M.P., Busso L., Ferrero L., Gervino G., Panzieri D., Piragino G., Tosello F., Bendiscioli G., Filippini V., Fumagalli G., Rotondi A., Zenoni A., Guaraldo C., Maggiora A., Lodi Rizzini E., Vascon M., Venaglioni A., Zanella G. Zenoni A., Batusov Yu.A., Falomkin I.V., Pontecorvo G.B., Sapozhnikov M.G., $\bar{p}^4\text{He}$ reaction cross section at 610 MeV/c, Phys. Lett., 1984, v.149B, p.69.

7. Balestra F., Bossolasco S., Bussa M.P., Busso L., Ferrero L., Panzieri D., Piragino G., Tosello F., Barbieri R., Bendiscioli G., Rotondi A., Salvini P., Zenoni A., Batusov Yu.A., Falomkin I.V., Pontecorvo G.B., Sapozhnikov M.G., Guaraldo C., Maggiora A., Lodi Rizzini E., V. Vascon, G. Zanella,

Inelastic interaction of antiprotons with ^4He nuclei between 200 and 600 MeV/c, Phys. Lett., 1985, v.165B, p.265.

8. Батусов Ю.А., Бунятов С.А., Понтекорво Д.Б., Сапожников М.Г., Третьяк В.И., Фаломкин И.В., Балестра Ф., Бусса М.П., Буссо Л., Панциери Д., Пираджино Г., Тоселло Ф., Ферреро Л., Бендишоли Г., Зенони А., Ротонди А., Филиппини В., Гуаральдо К., Маджиора А., Лоди Риззини Э., Васкон М., Занелла Дж., Подавление процессов безаннигиляционного развала ядра при взаимодействии антипротонов с ^4He , Краткие сообщ. ОИЯИ, N12-85, Дубна, 1985, с.6.

9. Кондратюк Л.А., Сапожников М.Г., Взаимодействие антипротонов с нуклонами и ядрами при энергиях LEAR, Материалы XX Зимней школы ЛИЯФ, 1985, с.297.

10. Kondratyuk L.A., Sapozhnikov M.G., Interactions of antiprotons with neutrons and nuclei at LEAR energies, Preprint JINR E4-86-487, Dubna, 1986.

11. Кондратюк Л.А., Сапожников М.Г., Взаимодействие антипротонов с нейтронами и ядрами при энергиях LEAR, ЯФ, 1987, т.46, с.89.

12. Kondratyuk L.A., Sapozhnikov M.G., $\bar{p}n$ -cross sections at low energies, Proc. IV LEAR Workshop, Villars, 1987, p. 767.

13. Balestra F., Barbieri R., Bossolasco S., Bussa M.P., Busso L., Ferrero L., Panzieri D., Piragino G., Tosello F., Bendiscioli G., Fumagalli G., Rotondi A., Salvini P., Zenoni A., Guaraldo C., Maggiora A., Lodi Rizzini E., Batusov Yu.A., Falomkin I.V., Pontecorvo G.B., Sapozhnikov M.G., Kondratyuk L.A., $\bar{p}^4\text{He}$ break-up cross section at 180 MeV, Phys.Lett., 1987, v.194B, p.343.

14. Balestra F., Bussa M.P., Busso L., Fava L., Ferrero L., Panzieri D., Piragino G., Tosello F., Bendiscioli G., Fumagalli G., Rotondi A., Salvini P., Zenoni A., Guaraldo C., Maggiora A., Lodi Rizzini E., Batusov Yu.A., Falomkin I.V., Pontecorvo G.B., Sapozhnikov M.G., Measurement of $\bar{p}^4\text{He}$ annihilation events detected in a self-shunted streamer chamber, Nucl. Instr. Meth., 1987, v.A257, p.114.

15. Batusov Yu.A., Bunyatov S.A., Falomkin I.V., Nchituu F., Pontecorvo G.B., Sapozhnikov M.G., Tretyak V.I., Balestra F., Bossolasco S., Bussa M.P., Busso L., Ferrero L., Fava L. Panzieri D., Piragino G., Tosello F., Bendiscioli G., Rotondi A., Salvini P., Zenoni A., Guaraldo C., Maggiora A., Lodi Rizzini E., Haatuft A., Halsteinslid A., Myklebost K., Olsen J.M., Breivik F.O., Jakobsen T., Sorensen S.O., Annihilation of stopping

antiprotons in ^3He and ^4He , JINR Rapid Comm., 1987, N21, p.5.

16. Balestra F., Bossolasco S., Bussa M.P., Busso L., Ferrero L., Fava L. Panzieri D., Piragino G., Tosello F., Bendiscioli G., Rotondi A., Salvini P., Zenoni A., Batusov Yu.A., Bunyatov S.A., Falomkin I.V., Nchituu F., Pontecorvo G.B., Sapozhnikov M.G., Tretyak V.I., Guaraldo C., Maggiora A., Lodi Rizzini E., Haatuft A., Halsteinslid A., Myklebost K., Olsen J.M., Breivik F.O., Jakobsen T., Sorensen S.O., Annihilation of antiprotons at rest in ^3He and ^4He , Nucl Phys., 1987, v. A474, p.651.

17. Кербиков Б.О., Кондратюк Л.А., Сапожников М.Г., Адронная физика на пучках антипротонов низких энергий, Материалы XXIII Зимней школы ЛИЯФ, 1988, с.53.

18. Balestra F., Bossolasco S., Bussa M.P., Busso L., Ferrero L., Fava L. Panzieri D., Piragino G., Tosello F., Barbieri R., Bendiscioli G., Rotondi A., Salvini P., Zenoni A., Batusov Yu.A., Falomkin I.V., Nchituu F., Pontecorvo G.B., Sapozhnikov M.G., Tretyak V.I., Guaraldo C., Maggiora A., Lodi Rizzini E., Haatuft A., Halsteinslid A., Myklebost K., Olsen J.M., Breivik F.O., Jakobsen T., Sorensen S.O., Light nucleus production in $\bar{p}^4\text{He}$ annihilation, Nuov.Cim., 1988, v.100A, p. 323.

19. Батусов Ю.А., Бунятов С.А., Понтекорво Д.Б., Рождественский А.М., Сапожников М.Г., Третьяк В.И., Фаломкин И.В., Балестра Ф., Боссоласко С., Бусса М.П., Буссо Л., Грассо А., Панциери Д., Пираджино Г., Тоселло Ф., Ферреро Л., Фиорамонти Е., Барбиери Р., Бендишоли Г., Зенони А., Ротонди А., Салвини П., Гуаральдо К., Маджиора А., Лоди Риззини Э., Миклебост К., Олсен Й.М., Хаатуфт А., Халштейнслид А., Брейвик Ф.О., Соренсен С.О. Якобсен Т., Образование нейтральных странных частиц в $\bar{p}^4\text{He}$ -аннигиляции при 600 МэВ/с. Краткие сообщения ОИЯИ, Дубна, 1988, 7-88, с.23.

20. Kondratyuk L.A., Sapozhnikov M.G., Pontecorvo reactions of two-body antiproton annihilation in deuterium, JINR preprint, E4-88-808, Dubna, 1988.

21. Батусов Ю.А., Бунятов С.А., Никитицу Ф., Понтекорво Д.Б., Рождественский А.М., Сапожников М.Г., Третьяк В.И., Фаломкин И.В., Балестра Ф., Боссоласко С., Бусса М.П., Буссо Л., Маджиора А., Панциери Д., Пираджино Г., Тоселло Ф., Фава Л., Ферреро Л., Гуаральдо К., Барбиери Р., Бендишоли Г., Венальони А., Зенони А., Ротонди А., Салвини П., Филиппини В., Лоди Риззини Э., Миклебост К., Олсен Й.М., Хаатуфт А., Халштейнслид А., Брейвик Ф.О., Соренсен С.О.

Якобсен Т., Образование Λ - гиперонов и K_S^0 - мезонов в аннигиляции антипротонов на ядрах ${}^4\text{He}$ при 600 МэВ/с, Ядерная физика, 1989, т.50, вып.6, с.1524.

22. Balestra F., Bossolasco S., Bussa M.P., Busso L., Ferrero L., Grasso A., Panzieri D., Piragino G., Tosello F., Barbieri R., Bendiscioli G., Rotondi A., Salvini P., Zenoni A., Batusov Yu.A., Bunyatov S.A., Falomkin I.V., Pontecorvo G.B., Rozhdestvensky A.M., Sapozhnikov M.G., Tretyak V.I., Guaraldo C., Maggiora A., Lodi Rizzini E., Haatuft A., Halsteinslid A., Myklebost K., Olsen J.M., Breivik F.O., Jakobsen T., Sorensen S.O., Antiproton interactions with light nuclei at LEAR energies, Proceedings of the IX International Seminar on High Energy Physics Problems, Dubna, 1988, D1,2-88-652, v.II, p.297.

23. Кербиков Б.О., Кондратюк Л.А., Сапожников М.Г., Адронная физика на пучках антипротонов низких энергий, УФН, 1989, т.159, в.1, с.3.

24. Batusov Yu.A., Bunyatov S.A., Falomkin I.V., Pontecorvo G.B., Rozhdestvensky A.M., Sapozhnikov M.G., Tretyak V.I., Balestra F., Bossolasco S., Bussa M.P., Busso L., Fava L., Ferrero L., Maggiora A., Panzieri D., Piragino G., Piragino R., Tosello F., Barbieri R., Bendiscioli G., Filippini V., Rotondi A., Salvini P., Zenoni A., Guaraldo C., Nichitiu F., Lodi Rizzini E., Haatuft A., Halsteinslid A., Myklebost K., Olsen J.M., Breivik F.O., Jakobsen T., Sorensen S.O., Production of Λ - hyperons and K_S^0 - mesons in annihilation of antiprotons in ${}^4\text{He}$ nuclei at 600 MeV/c, Proceedings of the Third International Symposium on Pion-Nucleon and Nucleon-Nucleon Physics, Leningrad, 1989, p.382.

25. Kondratyuk L.A., Sapozhnikov M.G., Pontecorvo reactions of two-body antiproton annihilation in deuterium, Phys.Lett., 1989, v.219B, p.194.

26. Bendiscioli G., Rotondi A., Salvini P., Venaglioni A., Zenoni A., Balestra F., Bossolasco S., Bussa M.P., Busso L., Ferrero L., Panzieri D., Piragino G., Tosello F., Barbieri R., Batusov Yu.A., Falomkin I.V., Pontecorvo G.B., Rozhdestvensky A.M., Sapozhnikov M.G., Tretyak V.I., Guaraldo C., Maggiora A., Lodi Rizzini E., Haatuft A., Halsteinslid A., Myklebost K., Olsen J.M., Breivik F.O., Jakobsen T., Sorensen S.O., Pionic annihilation of antiproton stopped on ${}^3\text{He}$, Nucl.Phys., 1990, v.A518, p.683.

27. Balestra F., Bossolasco S., Bussa M.P., Busso L., Ferrero L., Panzieri D., Piragino G., Tosello F., Barbieri R., Bendiscioli G., Rotondi A., Salvini

P., Venaglioni A., Zenoni A., Batusov Yu.A., Falomkin I.V., Pontecorvo G.B., Rozhdestvensky A.M., Sapozhnikov M.G., Tretyak V.I., Guaraldo C., Maggiora A., Lodi Rizzini E., Haatuft A., Halsteinslid A., Myklebost K., Olsen J.M., Breivik F.O., Jakobsen T., Sorensen S.O., Evidence of isospin effects in antiproton-nucleus annihilation, Nucl.Phys., 1989, v.A491, p.572.

28. Rozhdestvensky A.M. and Sapozhnikov M.G., New trends in antiproton-nucleus annihilation, Conference Proceedings Vol.26 "Intense Hadron Facilities and Antiproton Physics", ed. T.Bressani, F.Iazzi and G.Pauli, SIF, Bologna, 1990, p.273.

29. Kharzeev D.E. and Sapozhnikov M.G., Strangeness production in antiproton-nucleus annihilation at low energies, First Biennial Conference on Low energy antiproton physics, Ed. Carlson P., Kerek A. and Szilagui S., World Scientific Publishing Co., Singapore, 1990, p.59.

30. Batusov Yu.A., Bunyatov S.A., Falomkin I.V., Pontecorvo G.B., Rozhdestvensky A.M., Sapozhnikov M.G., Tretyak V.I., Balestra F., Bossolasco S., Bussa M.P., Busso L., Ferrero L., Maggiora A., Panzieri D., Piragino G., Piragino R., Tosello F., Bendiscioli G., Filippini V., Rotondi A., Salvini P., Venaglioni A., Zenoni A., Guaraldo C., Nichitiu F., Lodi Rizzini E., Haatuft A., Halsteinslid A., Myklebost K., Olsen J.M., Breivik F.O., Jakobsen T., Sorensen S.O., Production of neutral strange particles in antiproton- ${}^3\text{He}$ annihilation at rest, JINR Preprint, E1-90-118, Dubna, 1990.

31. Rozhdestvensky A.M. and Sapozhnikov M.G., New trends in the investigation of antiproton-nucleus annihilation, JINR preprint, E15-90-450, Dubna, 1990.

32. Balestra F., Bossolasco S., Bussa M.P., Busso L., Ferrero L., Grasso A., Panzieri D., Piragino G., Tosello F., Barbieri R., Bendiscioli G., Rotondi A., Salvini P., Zenoni A., Batusov Yu.A., Bunyatov S.A., Falomkin I.V., Pontecorvo G.B., Rozhdestvensky A.M., Sapozhnikov M.G., Tretyak V.I., Guaraldo C., Maggiora A., Lodi Rizzini E., Haatuft A., Halsteinslid A., Myklebost K., Olsen J.M., Breivik F.O., Jakobsen T., Sorensen S.O., Strangeness production in antiproton annihilation at rest on ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$ and ${}^{20}\text{Ne}$. Nucl.Phys., 1991, v.A526, p.415

33. Kharzeev D.E., Sapozhnikov M.G., Strange particle production in antiproton annihilation on nuclei at low energies, JINR preprint E4-91-104, Dubna, 1991; Nuov.Cim., 1991, v. A104, p.1509.

34. Nichitiu F., M.G.Sapozhnikov, Multinucleon antiproton annihilations in deuterium, Czech.J.Phys., 1991, v.41, p.1043.

35. Rozhdestvensky A.M., Sapozhnikov M.G., Selected topics of anti-proton-nucleus annihilation, Surveys in High Energy Phys., 1992, v.6, p.115.

36. Kharzeev D.E., Nitchiu F., Sapozhnikov M.G. Pontecorvo reactions as a general class of antiproton annihilation on nuclei, JINR preprint, E2-92-64, Dubna, 1992.; Proc. Conf. NAN-91, Moscow, 1991., Yad.Fiz. 1992, v.55, p.1358

37. Kondratyuk L.A., Sapozhnikov M.G., Pontecorvo reactions of antiproton annihilation in deuterium with heavy mesons., Proc. 5th Int.Symp. Mesons and Light Nuclei, Prague, 1991. Few Body Systems, Suppl.5, p.201, 1991.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 марта 1993 года.