

Ш-432

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1-8169

ШЕЛКОВ
Георгий Александрович

НАБЛЮДЕНИЕ ЯДЕР АНТИТРИТИЯ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1974

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований (гор.Дубна).

Научный руководитель: старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук В.И.Петрухин.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук М.И.Подгорецкий,
кандидат физико-математических наук С.В.Сомов

Ведущее научно-исследовательское учреждение -
Ленинградский институт ядерной физики.

Автореферат разослан " " 1974 г.

Защита диссертации состоится " " 1974 г. в
" " часов на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных
проблем ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

Д.А.Батусов

1-8169

ШЕЛКОВ
Георгий Александрович

НАБЛЮДЕНИЕ ЯДЕР АНТИТРИТИЯ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

К моменту проведения данной работы в таблице элементов Менделеева для ядер антивещества были заполнены лишь три первые клетки: два изотопа антиводорода - антипротон^{1/1}(\bar{p}) и антинейтрон^{2/1}(\bar{n}), а также изотоп антигелия ³He^{3/2}. В диссертации описан эксперимент по поиску ядер аналога последнего из известных изотопов водорода, нового атомного ядра антивещества - анитрития ³H^{3/4}.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения.

Во введении кратко описаны эксперименты по поиску антипротона, антинейтрона и антигелия-3. Сопоставив данные этих экспериментов, можно видеть, что при проведении каждого нового эксперимента по поиску антиядра, отличающегося от известных ранее на одну нуклонную массу, различие в скоростях искомой и ближайшей к ней по массе уже известной частицы уменьшается на порядок величины, а выход по отношению к более легким частицам - на три порядка величины (см. табл. I).

Таблица I

Искомое антиядро	\bar{p}	\bar{n}	³ He	³ H
Число измеряемых на опыте величин, отличающих антиядро от других частиц пучка. β - скорость частицы, Z - ее заряд.	I(β)	I(β)	2(β, Z)	I(β)
Выход по отношению к более легким частицам.	$\sim 10^{-5}$	$\sim 10^{-8}$	$\sim 10^{-11}$	$\sim 10^{-11}$
Отличие скорости антиядра от скорости ближайшей по массе известной частицы пучка, $\Delta\beta$, 10^{-3} .	205	47	5,4	3,5
Отличие скорости искомой частицы от скорости света, $1-\beta$, 10^{-3} .	212	64	9,7	6,3

В первой главе описывается постановка эксперимента и экспериментальная установка. Поиск ядер ³H, образующихся в реакциях



предпринят на пучке вторичных отрицательно заряженных частиц с импульсом 25 Гэв/с (оптимальный импульс для рождения тяжелых частиц

и ядер с массой $M=(2+6) \text{ Mr}$), образуемых протонами с энергией 70 Гэв под углом 0° на внутренней мишени протонного синхротрона ИФВЭ. Поскольку скорость ядер ${}^3\text{H}$ отличается от скорости света в третьем знаке и является единственной измеряемой на опыте величиной, отличающей ${}^3\text{H}$ от других частиц пучка, для наблюдения ядер ${}^3\text{H}$ необходимо было найти такую постановку опыта, в которой была бы обеспечена дискриминация легких частиц с фактором $> 10^{11}$ и надежная идентификация ядер ${}^3\text{H}$.

В реализованной постановке эксперимента существенными являются следующие моменты:

1. Скорость частиц измерялась независимыми методами — по времени пролета на нескольких базах и по углу черенковского излучения счетчиками различных типов.

2. Одним из основных источников фона является имитация прохождения через установку частиц большой массы легкими частицами пучка. Такие фоновые события могут быть обусловлены как генерацией медленных частиц в стенках ионопровода и веществе детекторов, так и наложениями сигналов, возникающими при работе с пучком высокой интенсивности. Подавление фона достигалось путем использования специального магнитооптического канала, обеспечивающего двукратный анализ частиц по импульсу и многократную очистку пучка от продуктов ядерных взаимодействий, а также проведением многомерного анализа каждого из отобранных событий (частиц).

В экспериментах, целью которых является поиск редких событий, проведение специальных фоновых измерений, как правило, требует времени, сравнимого со временем набора статистики. В данном эксперименте все детекторы, с помощью которых идентифицируется анитритий по скорости, регистрировали частицы в достаточно широком интервале масс.

Это позволило проводить фоновые измерения по всем детекторам одновременно с набором статистики. Работа в линии с ЭВМ позволяет, кроме того, использовать слабый предварительный отбор событий, накапливать в ходе эксперимента большую статистику фоновых (и реперных) событий и выбирать по ним критерии отбора при обработке.

Проведение многосуточных измерений при высоком разрешении предъявляет повышенные требования к долговременной стабильности работы аппаратуры и контролю условий измерений. Использование ЭВМ на линии с аппаратурой снимает эти проблемы, так как контроль условий измерений проводится в реальном времени эксперимента, а нестабильности аппаратуры могут быть учтены с помощью реперных событий, непрерывно регистрируемых в ходе эксперимента.

Экспериментальная установка состоит из следующих основных узлов:

1. Магнитооптический канал.
2. Сцинтилляционный монитор для регистрации частиц пучка.
3. Пороговые черенковские счетчики и система предварительного отбора событий.
4. Спектрометр по времени пролета.
5. Многоканальный и дифференциальный черенковские счетчики.
6. Система амплитудного и временного анализа.
7. Аппаратура сопряжения с ЭВМ.
8. Система контроля.

Эксперимент проводился на канале $4\text{B}^{5/}$ серпуховского ускорителя. Канал позволяет транспортировать высокоинтенсивный пучок частиц на расстояние ~ 170 метров от мишени, производит двойной импульсный анализ и многократную очистку пучка от продуктов взаимодействий частиц пучка с веществом в канале. Проходящие через канал частицы регистрируются телескопом из семи сцинтилляционных счетчиков $M = S_1, S_2, \dots, S_7$ (M — скорость счета совпадений сигналов от счетчиков $S_1 \div S_7$). Для предва-

рительной дискриминации $\bar{\pi}^-$, K^- и \bar{p} на антисовпадения с монитором включались два газовых пороговых черенковских счетчика C_1 и C_2 ^{6/}, обеспечивающих подавление $\sim 10^{-6}$. Возникающая из-за случайных антисовпадений неэффективность триггера $\overline{MC_1C_2}$ при интенсивности $(2 \div 3) \cdot 10^6$ частиц/сек составляла $\sim 15\%$. В двух других пороговых счетчиках давление устанавливалось так, чтобы они эффективно регистрировали все легкие частицы (π^- , K^- , \bar{p} , \bar{d}). События $\overline{MC_1C_2}$ регистрировались в ЭВМ.

Для всех отобранных частиц $\overline{MC_1C_2}$ измерялась их скорость по времени пролета на полубазах 50 м, 52 м и полной базе 102 м. Для уменьшения влияния больших загрузок сцинтиллятор первого базового счетчика был разделен на две изолированные по свету части. Таким образом, первый базовый счетчик состоял из двух независимых счетчиков V_{I1} и V_{I2} . Разрешение спектрометра по всем базам было не хуже 0,3 нсек при интенсивности до $2,5 \cdot 10^6$ част/сек. Аппаратурная функция СВП на полной базе показана на рис.1.

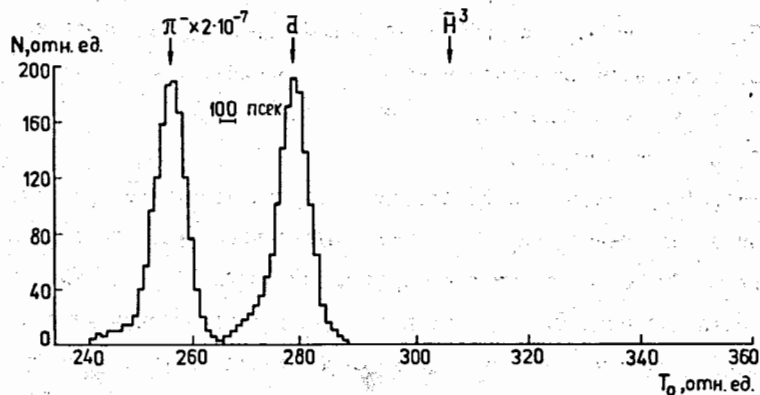


Рис. 1. Время-пролетный спектр для полной базы спектрометра по времени пролета. Для выделения антидейтронов использовались пороговые черенковские счетчики C_1 и C_2 . Стрелками указаны центры тяжести пиков π^- -мезонов и антидейтронов, а также расчетное положение антитрития.

Независимое измерение скорости частицы производилось дифференциальным черенковским счетчиком (ДЧС)^{*)}, настроенным на регистрацию ядер ^3H . Конструкция счетчика аналогична описанной в работе^{8/}. В нем используются один центральный ФЭУ (канал регистрации А) и 4 симметрично размещенных вокруг него ФЭУ (канал В). В измерениях ДЧС настраивался на регистрацию антитрития в канале А, при этом в канале В регистрировались частицы в интервале масс $2,1\text{Mr} < Mx < 2,9\text{Mr}$. Характеристики ДЧС по каналу А: разрешение по скорости $\frac{\delta\beta}{\beta} = 1,2 \cdot 10^{-3}$, эффективность регистрации $\epsilon \approx 90\%$. Для канала В $\frac{\delta\beta}{\beta} = 4,5 \cdot 10^{-3}$ и $\epsilon \approx 85\%$. В каждом событии измерялись время и амплитуда сигналов от всех пяти ФЭУ ДЧС. На рис.2 приведены зависимости эффективности регистрации частиц от их скорости (массы) в каналах А и В в рабочих условиях. При регистрации ^3H уровень фона в канале А составляет $4 \cdot 10^2$. Введение отбора по амплитуде и времени появления сигнала от центрального ФЭУ уменьшает фон до уровня 10^{-3} .

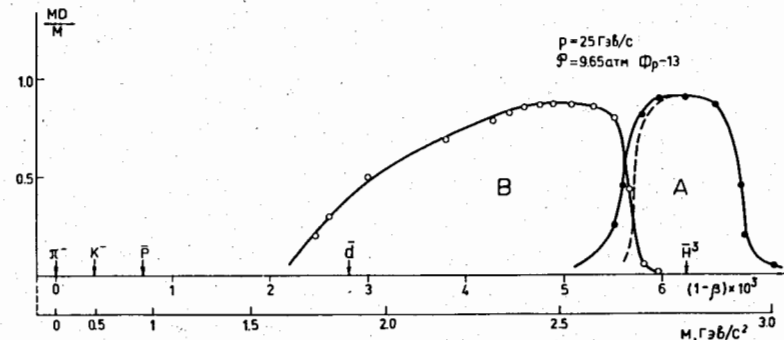


Рис. 2. Зависимость эффективности регистрации частиц от их массы (скорости) в каналах А и В дифференциального черенковского счетчика в рабочих условиях. Пунктиром показана аналогичная зависимость по каналу А, когда канал В включен на антисовпадения. Кривые получены путем пересчета данных калибровки дифференциального счетчика на π^- -мезонах.

*) Счетчики C_1 и ДЧС сконструированы В.П.Зреловым, П.Павловичем, В.И.Сидоровой, П.Шулеком.

Скорость частиц в диапазоне $\Delta\beta = 6 \cdot 10^{-3}$, соответствующем интервалу масс $1,6\text{Mr} \leq Mx \leq 3,3\text{Mr}$, измерялась также с помощью многоканального черенковского счетчика (МЧС)^{/9/}. В фокальной плоскости этого счетчика симметрично относительно его оптической оси расположены двенадцать годоскопических фотоумножителей (ФЭУ)^{/10/}, которые измеряли координаты точек кольца R_L черенковского света. По этим координатам в ЭВМ определялись радиус и положение центра кольца черенковского света, которые однозначно связаны со скоростью и направлением движения частицы. Время появления сигнала в ФЭУ относительно момента световой вспышки зависит от координаты попадания света на фотокатод. Используя время-пролетную методику измерений, можно определить координату световой вспышки с точностью ± 2 мм по каждому ФЭУ. Разрешение МЧС по скорости $\delta\beta/\beta$ составляло $4 \cdot 10^{-4}$; эффективность регистрации частицы при кратности срабатывания ФЭУ $n \geq 3$ не менее 90%. Типичное распределение радиусов в МЧС при запуске его сигналом $\overline{MC}_T \overline{C}_3$ приведено на рис.3.

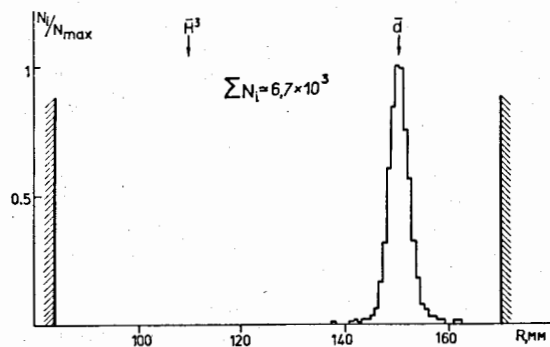


Рис. 3. Распределение радиусов колец черенковского излучения частиц, измеренное многоканальным черенковским счетчиком при запуске его сигналом $\overline{MC}_T \overline{C}_3$. Штриховкой показаны границы измеряемой области, определяемые положением шторок перед фотокатодами годоскопических ФЭУ.

В установке использовалась ЭВМ БЭСМ-3М – трехадресная машина с памятью 8К 45 разрядных слов и циклом памяти 10 мсек. При регистрации события преобразованная в цифровой код амплитудно-временная информация^{/11/} (50 параметров по 10 разрядов каждый) запоминалась на пересчетных схемах и передавалась в ЭВМ^{/12/} вместе с содержимым регистра логических признаков. В каждом событии регистрировалась следующая информация: времена пролета T_i спектрометра по времени пролета, координаты от ФЭУ многоканального черенковского счетчика, временные отметки и амплитуды сигналов от всех ФЭУ ДЧС, черенковских счетчиков $C_T + C_4$, спинтилляционных счетчиков S_3, S_5, S_7 , амплитуды сигналов от базовых счетчиков B_i , а также до 40 логических признаков. Полное время регистрации события составляло 800 мсек. По окончании импульса интенсивности ЭВМ регистрировала показания 30 пересчетных схем, номер измерения, календарное время, коды для проверки канала связи и содержимое специальных регистров, на которые можно было вручную заносить информацию, характеризующую данное измерение. За оставшееся до следующего цикла интенсивности время (~ 6 сек) ЭВМ производила первичную обработку информации^{/13/}. В частности, накапливались 63 одномерные гистограммы с суммарным числом каналов $1,2 \cdot 10^4$ для событий, отобранных по заданной совокупности критериев. Могло быть задано до 132 критериев, использующих амплитудно-временную и логическую информацию. Для измерения и контроля потерь эффективности регистрации событий из-за случайных сигналов в пороговых счетчиках C_T и C_3 , используемых в антисовпадениях, ЭВМ периодически (~ 1 раз в час) включала управляемую электронную задержку, сдвигающую временную отметку монитора на 120 нсек. Более детальный контроль аппаратуры и калибровка всех трактов амплитудно-временных измерений производились в реальном времени по амплитудным и временным распределениям для реперных событий. В качестве реперных использовались π^- -мезонные события.

Тракты для измерения амплитуды контролировались дополнительно: в каждом импульсе интенсивности регистрировалось одно π^- -мезонное событие П, в котором сигнал монитора, открывающий линейные ворота, сдвигался на 70 нсек. При этом в случае отсутствия сигнала на входе линейных ворот регистрировался пьедестал, а при наличии случайного сигнала - некоторое значение амплитуды A_i . Таким образом непрерывно регистрировался узкий реперный пик электрических пьедесталов П, по которому контролировалась стабильность нулевых уровней в трактах амплитудных измерений и накапливалась статистика случайных срабатываний детекторов.

Контроль работы МЧС в режиме регистрации ^3H производился по положению и форме пика антидейтронов. Контроль работы настроенного на регистрацию ^3H ДЧС производился по положению и форме пиков во временных распределениях сигналов от ФЭУ, поскольку ДЧС имеет некоторую эффективность регистрации легких частиц (например, рассеянных перед ним).

Во второй главе диссертации описывается калибровка установки, а также процедура проведения измерений. В начале и конце каждого сеанса работы на ускорителе производилось определение цены деления канала СВП, измеряемого диапазона времен пролета и линейности шкалы спектрометра. Процедура калибровки МЧС заключалась в измерении зависимости координат кольца черенковского света π^- -мезона от давления газа в счетчике. Правильность калибровки проверялась сравнением измеренного радиуса от антидейтронов R_d с радиусом, вычисленным по углу черенковского излучения антидейтронов, определяемому давлением газа в счетчике. При настройке и калибровке ДЧС величина показателя преломления газа измерялась интерферометром Рэлея с газовым лазером в качестве источника света. Шкала интерферометра калибровалась по π^- -мезонам, \bar{p} и \bar{d} . В ходе измерений по различным параметрам

накапливались гистограммы амплитудных и временных распределений сигналов от всех детекторов. Набор гистограмм мог меняться во время экспозиции в пределах отведенного объема памяти. Периодически, с интервалом 2-4 часа, выводился на печать набор гистограмм, по которым производился контроль работы установки. Отобранные по триггеру $\overline{M\bar{C}_1\bar{C}_3}$ события подвергались экспресс-анализу по слабым критериям, которым должны были заведомо удовлетворять ядра ^3H , более тяжелые частицы и некоторая часть антидейтронов. Для выделенных событий распечатывался полный набор амплитудно-временной и логической информации. В реальном времени обрабатывалось $\sim 80\%$ событий.

За время эксперимента через установку было пропущено $3,75 \cdot 10^{11}$ частиц и зарегистрировано $5 \cdot 10^5$ событий, отобранных системой предварительной селекции, и $\sim 10^6 \pi^-$ -мезонных и П-событий. Распределение набора статистики по сеансам работы на ускорителе приведено в таблице 2.

Таблица 2

Сеанс	Мишень (гсм ⁻²)	Средн.интенсивность 10^6 част/сек.	Средн.длит.сек.	$N \cdot 10^{11}$	$N_d \cdot 10^3$
I (октябрь)	Al (8,1)	1,5	I	0,21	5
II (ноябрь-декабрь)	Al (8,1)	1,5-2,0	0,5-1,0	0,85	13
III (январь-февраль)	Be (5,5)	1,9-2,1	1,0-1,1	0,46	9
IV (март-апрель)	Al (8,1) Cu (13,44)	2,3	1,6	2,23	49
I-IV				3,75	76

В третьей главе диссертации описывается обработка полученных данных. В нашей постановке эксперимента частица, идентифицируемая как ядро антитрития, должна пройти через весь канал с постоянной за-

данной скоростью, вызвать срабатывание мониторинговой системы и не сопровождаться другими частицами в пределах интервала времени, определяемого разрешением аппаратуры. Кроме того, не должен сработать ни один из пороговых черенковских счетчиков, амплитуды сигналов в сцинтилляционных счетчиках должны соответствовать прохождению однозарядной релятивистской частицы.

Отбор таких событий из всех событий $\overline{MC}_1\overline{C}_3$ производился по совокупности критериев, которые можно разделить на четыре группы:

1. Критерии, которым должны удовлетворять все частицы.
2. Критерии, отбрасывающие частицы с массой $M_x \leq M_p$.
3. Критерии, отбрасывающие частицы с массой $M_x \leq M_d$.
4. Критерии для идентификации ${}^3\overline{H}$.

Первая группа включает:

а) Критерий "правильной" комбинации логических признаков от базовых счетчиков (ПК), означающий наличие сигналов от счетчиков B_2, B_3 и одной из половин счетчика B_1 . Этот критерий оставляет события, связанные с прохождением одной частицы через базовые счетчики СВП и сильно уменьшает вклад событий, обусловленных одновременным прохождением двух и более частиц, при котором амплитудно-временная информация в событии, как правило, искажена.

б) Ограничения на величины времен пролета, измеренные с помощью сцинтилляционных счетчиков S_3, S_5, S_7 , а также ограничения на амплитуды сигналов в сцинтилляционных счетчиках B_3 и S_7 , расположенных в конце магнитооптического канала, где отсутствует магнитный анализ. Этот критерий применяется для дискриминации случаев взаимодействия частиц с веществом, сопровождающихся образованием нескольких вторичных частиц.

В критериях второй и третьей групп задавались границы интервалов для амплитуд A_{C_1} и временных отметок t_{C_1} от счетчиков C_1, C_3 и C_2, C_4 , соответственно.

Перед проведением окончательной обработки материала производился выбор оптимальных значений границ в критериях отбора, соответствующих максимальному подавлению фона при сохранении эффективности регистрации на уровне $\sim 90\%$. Изучалась зависимость числа событий, удовлетворяющих данному критерию,

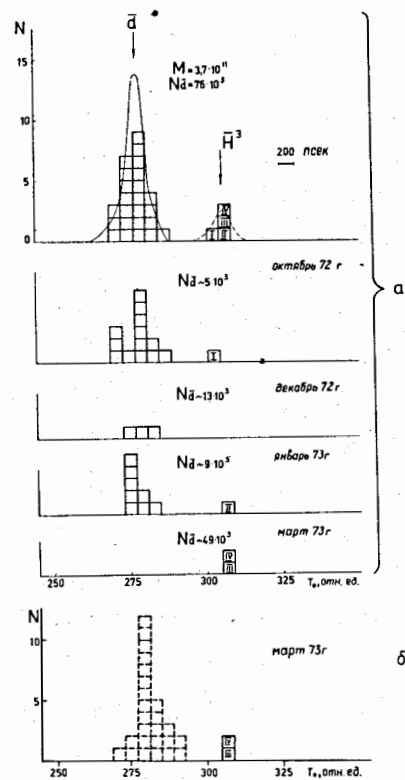


Рис. 4. Распределение по времени пролета событий: а) оставшихся после применения критериев $I+2+3$; б) результат мартовского сеанса, когда при обработке воспроизведены условия первых трех сеансов.

от изменения условий отбора в трех участках спектра времен пролета - в области $\overline{\pi}$ -мезонов, антидейтронов и фона. При этом участок $\overline{\pi}$ -мезонов изучался по $\overline{\pi}$ -событиям, а области \overline{d} и фона по событиям $\overline{MC}_1\overline{C}_3$. В качестве фоновых рассматривались события, которые соответствуют области масс $M \geq 3,5M_p$, где возможный вклад реальных частиц весьма мал. Суммарные данные об уровнях подавления и эффективностях регистрации частиц при выбранных значениях критериев отбора, полученные по материалу последнего сеанса, приведены в таблице 3. Из нее видно, что наиболее сильным "простым" критерием является критерий

C_2 , применение комбинации $I+C_2$ оставляет всего 2 события из всей выборки событий $\overline{MC}_1\overline{C}_3$. В первых трех сеансах счетчик C_2 не был настроен на эффективную регистрацию \overline{d} , поэтому на этой части статистики при

совместном применении критериев I+2+3 остается 26 событий, из которых 24 идентифицируется последующими критериями как \bar{d} .

Идентификация ядер ${}^3\text{H}$. Распределение по времени пролета для оставшихся после применения критерия I+2+3 28 событий показано на рис.4. Из этого рисунка видно, что 24 события лежат в антидейтронной области и четыре события (I+IV) в области антитрития.

В последнем сеансе (65% общей статистики) в области \bar{d} не наблюдается ни одного события. Применение более слабых критериев I+2+C₂, I+C₂, не меняет картины. При использовании критерия I+2+C₄, т.е. при исключении из рассмотрения информации от счетчика C₂, появляется 25 событий в области \bar{d} при отсутствии случайно распределенных фоновых событий (рис.4б). Таким образом, дискриминация фона достаточно высока даже без учета информации от счетчика C₂, в различной эффективности которого по отношению к частицам с $\beta \approx \beta_{\bar{d}}$ и заключено отличие первых трех сеансов от последнего. С учетом реальной формы пика в спектрометре по времени пролета вероятность имитации четырех ядер антитрития антидейтронами не превышает $4 \cdot 10^{-6}$.

В течение первого и части второго сеанса происходила настройка и выбор режима работы МЧС. Поэтому идентификация ${}^3\text{H}$ по информации от МЧС производилась на 80% всей статистики. При этом из I4 событий, оставшихся после применения критериев I+2+3, в 5 случаях наблюдалось срабатывание МЧС. На рис.5 представлено распределение этих событий по радиусу кольца черенковского излучения. В области антитрития с помощью МЧС выделяются те же события II, III, IV, что и по времени пролета на указанной части статистики.

Как и МЧС, ДЧС был настроен на регистрацию ${}^3\text{H}$, начиная со второго сеанса. При этом в тех же трех событиях (II, III, IV) из I4 оставшихся после применения критериев I+2+3 ДЧС зарегистрировал прохождение частиц со скоростью, равной скорости ${}^3\text{H}$. Вероятность фоновой имита-

Таблица 3.

Группа	Название критерия	Граница критерия	Эффективность критерия для ${}^3\text{H}$, %	Коэффициент подавления фона	Число оставшихся событий
I	(ПК)	-	70	3	75000
			по отношению к $\text{MC}_{1,2,3}$ (ПК)		
	t_{37}	$ t_{37} - t_{37}^{\pi} \leq 3,5$ нсек	98	2,5	
	t_{57}	$ t_{57} - t_{57}^{\pi} \leq 3,5$ нсек	99	2	
	δt	$ t_{37} - t_{57} \leq 2,5$ нсек	99	20	
	$A_{3,7}$	$A_{3,7} \leq 4A_{3,7}^{\pi}$	98	I, I	
	I		97	50	57000
2	C ₁	$ t_{c_1} - t_{c_1}^{\pi} \geq 2,5$ нсек $A_{c_1} \leq 0,8A_{c_1}^{\pi}$	98	4	
	C ₃	$ t_{c_3} - t_{c_3}^{\pi} \geq 2,5$ нсек $A_{c_3} \leq 0,8A_{c_3}^{\pi}$	99	2	
	2		97	6	53000
	I+2		93	170	50200
3	C ₂	$ t_{c_2} - t_{c_2}^{\pi} \geq 2,5$ нсек $A_{c_2} \leq 0,3A_{c_2}^{\pi}$	98		16
	C ₄	$ t_{c_4} - t_{c_4}^{\pi} \geq 2,5$ нсек $A_{c_4} \leq 0,6A_{c_4}^{\pi}$	99		378
	3		98		16
	I+C ₄		96		36
	I+2+C ₄		93		29
	I+C ₂		96		2
	I+2+C ₂		92		2
	I+2+3		92		2

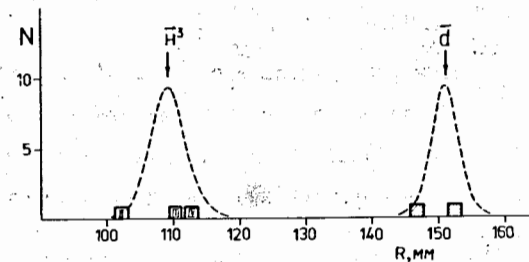


Рис. 5. Распределение по радиусу кольца черенковского излучения в многоканальном черенковском счетчике для событий, отобранных по критериям I+2+3. Монитор $M = 3,0 \cdot 10^4$ (80% полной статистики).

ции трех событий в области ${}^3\bar{H}$ не превышает в этом случае 10^{-5} .

Масса зарегистрированных частиц определялась по их импульсу и скорости, измеренной по времени пролета в СВП и углу черенковского излучения в МЧС. Средний импульс частиц в магнитооптическом канале, измеренный при помощи МЧС, оказался равным $P=(25,10\pm 0,06)$ Гэв/с. Среднее значение массы частиц I-IV, определенное по информации от СВП, равно $M=(2,79\pm 0,13)$ Гэв/с² и совпадает в пределах ошибок со значением

$M = (2,82\pm 0,04)$ Гэв/с² $= (1,004\pm 0,014) M_{\bar{H}}$, измеренным с помощью МЧС по событиям II-IV.

Величина заряда частиц I-IV, определенная по амплитудам сигналов в 5 сцинтилляционных счетчиках и ДЧС, оказалась равной

$$Z = (0,98 \pm 0,02)e.$$

На основании этих данных можно сделать вывод о том, что совокупность используемых критериев отбора в сочетании с информацией от любого детектора, определяющего скорость частиц - СВП, МЧС, ДЧС, достаточна для надежной идентификации ядер ${}^3\bar{H}$, и утверждать, что среди $3,7 \cdot 10^{11}$ пропущенных через установку частиц было зарегистрировано 4 случая прохождения ядер антитрития.

Оценка сечения образования антитрития. Можно, по-видимому, ожидать, что выходы антиядер ${}^3\bar{H}$ и \bar{d} одинаковым образом зависят от атомного веса ядра-мишени A. Сечения образования антиядер ${}^3\bar{H}$ и \bar{d} связаны соотношением

$$\frac{d^2\sigma_{\bar{H}}(A)}{dP d\Omega} = \frac{n_{\bar{H}}}{n_{\bar{d}}} \cdot \frac{d^2\sigma_{\bar{d}}(A)}{dP d\Omega},$$

где $n_{\bar{H}}$ и $n_{\bar{d}}$ - суммарные числа ядер ${}^3\bar{H}$ и \bar{d} , рожденных в заданном интервале $dP d\Omega$ за все время эксперимента на всех мишенях. Отношение $n_{\bar{H}}/n_{\bar{d}}$, в свою очередь, может быть найдено по числу зарегистрированных частиц. Дифференциальное сечение рождения антинейтронов на ядре алюминия ¹⁴/

$$\frac{d^2\sigma}{dP d\Omega} (0^0; 25 \text{ Гэв/с}) = (0,11 \pm 0,02) \frac{\text{мк барн}}{\text{стерад} \cdot \text{Гэв/с} \cdot \text{ядро Al}}.$$

Отсюда дифференциальное сечение образования ядер ${}^3\bar{H}$ на ядре Al равно

$$\text{но } \frac{d^2\sigma_{\bar{H}}}{dP d\Omega} (0^0; 25 \text{ Гэв/с}) = (1,0 \pm 0,6) 10^{-35} \frac{\text{см}^2}{\text{стерад} \cdot \text{Гэв/с} \cdot \text{ядро Al}}$$

Следует иметь в виду, что кроме приведенной в этих величинах статистической ошибки, нужно учитывать также систематическую ошибку ~50% в сечении рождения π^+ -мезонов.

Основные результаты диссертации состоят в следующем:

I. Выполнен эксперимент по поиску ядер антитрития. В результате эксперимента зарегистрировано четыре новых, ранее неизвестных атомных ядра антивещества - антитрития. В ходе эксперимента через многопараметрическую установку, состоящую из сцинтилляционных и черенковских счетчиков и работающую на линии с ЭВМ, пропущено $3,75 \cdot 10^{11}$ отрицательно заряженных частиц с импульсом 25 Гэв/с. Основная трудность эксперимента заключалась в том, что скорость ядер антитрития (${}^3\bar{H}$) отличается от скорости света и от скорости других частиц пучка в третьем знаке и является единственной измеряемой на опыте величиной, отличающей ${}^3\bar{H}$ от других частиц. Для надежной идентификации ${}^3\bar{H}$ скорость частиц измерялась независимыми методами: по времени пролета на нескольких базах и по углу черенковского излучения счетчиками различных типов. Поскольку проведение специальных фоновых измерений, как правило, требует времени, сравнимого с временем набора статистики, в данном эксперименте все детекторы, с помощью которых идентифицируется ${}^3\bar{H}$ по скорости, регистрировали частицы в достаточно широком интервале масс. Это позволило проводить фоновые измерения по всем детекторам одновременно с набором статистики. Проведение многосуточных измерений при высоком разрешении продвигает повышенные требования к долговременной стабильности работы аппаратуры и контролю условий измерений. Использование ЭВМ на линии с аппаратурой для полу-

чения результатов в реальном времени снимает эти проблемы.

Системой предварительного отбора было выделено $5 \cdot 10^5$ событий. Полная информация об этих событиях вместе с информацией $\sim 10^6$ мезонных реперных событий записана с помощью ЭВМ на магнитную ленту. В ходе обработки были выбраны границы используемых критериев. После применения выбранной совокупности критериев к событиям, отобранной системой предварительного отбора, в области масс $M_X \approx M_p$ остается четыре события. Показано, что появление этих событий не зависит от процедуры обработки, а также то, что избирательная способность установки очень высока и для выделения указанных частиц достаточно применения критериев, дискриминирующих частицы с массой $M_X \leq M_d$, в сочетании с информацией от любого из трех идентифицирующих детекторов (спектрометра по времени пролета, многоканального и дифференциального черенковских счетчиков). Вероятность имитации указанных событий антинейтронами в спектрометре по времени пролета не превышает величины $4 \cdot 10^{-6}$, а в дифференциальном черенковском счетчике 10^{-5} . Масса и заряд зарегистрированных частиц совпадает со значениями, ожидаемыми согласно предсказаниям СРТ-теоремы для ядра антитрития. На основании этих данных можно сделать вывод, что среди $3,75 \cdot 10^{11}$ пропущенных через установку частиц было зарегистрировано четыре новых ядра антивещества - ядра антитрития ${}^3\bar{n}$.

2. Определено сечение образования ядер антитрития с импульсом $P=25$ Гэв/с под 0° по отношению к направлению пучка первичных протонов с энергией 70 Гэв

$$\frac{d^2\sigma_{\bar{n}}}{dP d\Omega}(0^\circ, 25 \text{ Гэв/с}) = (1,0 \pm 0,6) \cdot 10^{-35} \frac{\text{см}^2}{\text{стерад} \cdot \text{Гэв/с} \cdot \text{ядро}}.$$

Основные результаты, вошедшие в диссертацию, доложены на Международной конференции по физике высоких энергий, Киев, 1970/15/, Международном симпозиуме по физике высоких энергий и элементарных частиц в Синая 1973/4а/, в докладе, представленном на ХУП Международную конференцию по физике высоких энергий, Лондон 1974/4б/, а также в работе/4в/.

Л и т е р а т у р а

1. O. Chamberlain, E. Segre, C. Wiegand, T. Ypsilantis. Phys. Rev. 100, 947 (1955)
2. D. E. Dorfan, J. Eades, L. M. Lederman, W. Lee, C. C. Ting. Phys. Rev. Lett. 14, 1003 (1965)
3. Д.И. Антипов, Н.К. Вишневский, Д.П. Горин, С.П. Денисов, С.В. Донсков, Ф.А. Еч, Т.Д. Жильченкова, А.И. Зайцев, В.А. Качанов, В.М. Кутьян, Л.Г. Ландсберг, В.Г. Лапшин, А.А. Лебедев, А.Г. Морозов, А.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, Е.А. Разуваев, В.И. Рыкалин, В.И. Соляник, Д.А. Стоянова, В.П. Хромов, Р.С. Шувалов. ЯФ, 12, 311 (1970).
4. Б.Ю. Балдин, Л.С. Вертоградов, Я.В. Гришкевич, З.В. Крумштейн, Г. Ляйсте, Д.П. Мерекон, В.И. Петрухин, Д. Поэ, А.И. Ронжин, И.Ф. Самёнова, В.М. Суворов, Г. Хемниц, Н.Н. Хованский, Б.А. Хоменко, М. Шавловски, Г.А. Шелков, И. Шюлер, П.К. Вишневский, М.И. Грачев, В.И. Рыкалин, В.Г. Лапшин, В.И. Соляник, Ю.С. Ходырев, В.П. Хромов;
 - а) доклад на III Международном симпозиуме по физике высоких энергий и элементарных частиц, Синая, ОИЯИ Д-778I, стр. 150 (1974);
 - б) доклад, представленный на ХУП Международную конференцию по физике высоких энергий, Лондон, 1974;
 - в) Препринт ОИЯИ PI-7846 Дубна, 1974.
5. М.И. Грачев, К.И. Губриенко, Е.В. Еременко, В.П. Карташев, В.И. Котов, А.В. Самойлов, В.С. Селезнев, Ю.С. Ходырев. ЖТФ, 41, 1812 (1971).
6. С.В. Донсков, В.А. Качанов, В.М. Кутьян, А.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, Е.А. Разуваев, Р.С. Шувалов. ПТЭ, 3, 60 (1969).
7. Н.К. Вишневский, М.И. Грачев, И.И. Карпов, В.Г. Лапшин, А.И. Ронжин, В.И. Рыкалин, В.И. Соляник, В.П. Хромов, Препринт ИФВЭ, СЭФ 71-86, Серпухов, 1971.
8. S. J. Lindenbaum, W. Love, S. Osaki, J. Russell, L. C. L. Yuan. Nucl. Instr. and Meth. 20, 256, (1963)
9. Н.К. Вишневский, Р.Н. Краснокутский, В.Г. Лапшин, В.К. Семенов, В.И. Соляник, В.П. Хромов. Труды Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий. Дубна, 1970. ОИЯИ Д-5805, Дубна, 1971 г.
10. Н.Ф. Александрова, Н.К. Вишневский, О.С. Королькова, В.Г. Лапшин, Л.Л. Лейтэizen, В.И. Рыкалин, В.И. Соляник, В.П. Хромов. Препринт ИФВЭ СЭФ 62-22, Серпухов 1969.

11. Б.Э.Балдин, З.В.Крумштейн, Г.Хемниц, Н.Н.Хованский, М.Шавловски, Препринт ОИЯИ I3-7751. Дубна, 1974.
12. Р.Ляйсте, Ю.П.Мереков, Нго Куанг Зуй, Г.Хемниц, Н.Н.Хованский. Препринт ОИЯИ I3-7699, Дубна, 1974 г.
13. Л.С.Вертоградов, Р.Ляйсте, Ю.П.Мереков, Д.Позе, Б.А.Хоменко. Сообщение ОИЯИ I-7798, Дубна, 1974.
14. Б.Э.Балдин, Л.С.Вертоградов, З.В.Крумштейн, Р.Ляйсте, Ю.П.Мереков, Нго Куанг Зуй, В.И.Петрухин, Д.Позе, А.И.Ронжин, И.Ф.Самёнова, В.И.Суворов, Г.Хемниц, Н.Н.Хованский, Б.А.Хоменко, З.Цисек, М.Шавловски, Г.А.Шелков, Н.К.Вишневский, М.И.Грачев, В.И.Рыкалин, В.Г.Лапшин, В.И.Соляник. Препринт ОИЯИ PI- (1974).
15. В.Боткин, Я.В.Гришкевич, З.В.Крумштейн, Р.Ляйсте, Ю.П.Мереков, З.Мороз, Нго Куанг Зуй, В.И.Петрухин, А.И.Ронжин, Н.Н.Хованский, З.Цисек, М.Шавловски, Г.А.Шелков, Н.К.Вишневский, В.Г.Лапшин, В.И.Рыкалин, В.П.Хромов. Труды XV Международной конференции по физике высоких энергий. Киев, 1970.
16. Я.В.Гришкевич, З.В.Крумштейн, Р.Ляйсте, Ю.П.Мереков, З.Мороз, Нго Куанг Зуй, В.И.Петрухин, А.И.Рисин, Н.Н.Хованский, З.Цисек, М.Шавловски, Г.А.Шелков, Н.К.Вишневский, В.Г.Лапшин, В.И.Рыкалин, В.П.Хромов. Труды Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий. Дубна, Д-5805, стр.29, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 августа 1974 года.