89-519

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

Б289

Р1-89-519

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКИ АНТИДЕЙТРОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА МАТЕРИАЛАХ УСТАНОВКИ "ЛЮДМИЛА" С ВНУТРЕННЕЙ ТРЕКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ МИШЕНЬЮ

1989

Б.В.Батюня, И.В.Богуславский, И.М.Граменицкий, К.С.Медведь,
И.Б.Шимковицева
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

К.Кока
Центральный институт физики, Бухарест

Д.Брунцко
Институт экспериментальной физики Словацкой АН, Кошице

В.Ф.Андреев, П.С.Баранов, С.В.Левонян
Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР, Москва

© Объединенный институт ядерных исследований Дубна, 1989

ВВЕДЕНИЕ

Создание уникального сепарированного пучка антидейтронов на канале №9 ускорителя ИФВЭ (Серпухов) открыло широкие возможности для проведения ряда исследований взаимодействий легчайших антиядер на жидководородной пузырьковой камере "Людмила". К настоящему времени завершены исследования $\bar{d}p$- и $\bar{d}d$-взаимодействий при импульсе антидейтронов 12,2 ГэВ/с. Нами был также получен экспериментальный материал, содержащий антидейтрон-ядерные взаимодействия. Обработка этого материала может дать целый ряд интересных результатов, касающихся, в первую очередь, изучения особенностей поведения спектров вторичных заряженных частиц, обусловленных наличием достаточно тяжелого ядра-мишени, а также аномалий в образовании нейтральных странных частиц, что связывается с поглощением в ядре и аннигиляционными эффектами [1,2]. Следует отметить, что экспериментальных данных по аннигиляции на ядрах для энергий выше 2 ГэВ практически нет.

Экспериментальная установка обладает рядом особенностей, усложняющих обработку полученного материала. К этим особенностям в первую очередь относятся наличие в рабочем объеме камеры внутренней трекочувствительной мишени и пластин-конверторов гамма-квантов. Кроме того, антидейтронный пучок имеет заметную примесь π^--мезонов, что также усложняет обработку материала.

В настоящей работе подробно описываются особенности экспериментальной установки, даются оценки состава пучка, обсуждается методика просмотра и отбора определенных типов взаимодействий. Рассмотрены также процедура формирования ленты суммарных результатов данных просмотра и особенности измерения отобранных событий.

1. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ. ТИПЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

В жидководородной камере "Людмила" была размещена внутренняя трекочувствительная мишень (ВТМ) из оптически прозрачного материала — лексана (поликарбоната $H_{14}C_{16}O_3$). Рабочая область мишени имеет размеры 60x976x180 мм и заполнена дейтерием. Мишень об-

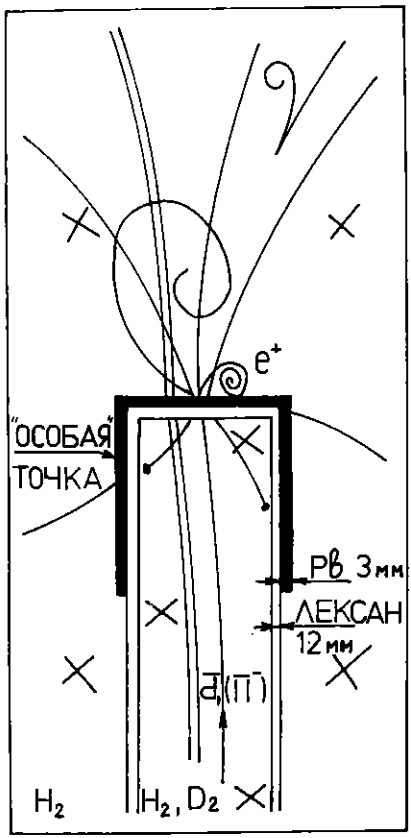

Рис. 1

ладает собственным расширительным устройством, связанным с системой расширения пузырьковой камеры[3,4]. Мишень была частично окружена свинцовыми пластинами-конверторами гамма-квантов, образующихся во взаимодействиях внутри мишени (см. рис. 1). Особенностью постановки эксперимента является то, что конвертор и лексановые стенки также являются мишенью для взаимодействия с ними пучковых антидейтронов, исследование которых является задачей данного исследования.

Толщины стенок составляют:

лексана – 12 мм (0,04 рад. длины),

свинца — 3 мм (0,54 рад. длины).

Расчеты показывают, что ~50% общего числа взаимодействий происходит в лексановых стенках мишени.

Мы используем материал, полученный в нескольких экспозициях, имеющих номера 503, 505 и 506. Свинцовый конвертор был установлен в объеме камеры только в экспозиции 506. Таким образом, из экспозиций 503, 505 может быть извлечена информация, касающаяся взаимодействий антидейтрона с легкими ядрами, входящими в состав лексана, и для экспозиции 506 добавляется возможность исследовать взаимодействия с тяжелыми ядрами свинца.

При описанной постановке эксперимента необходимо иметь методы, позволяющие точно определять положение невидимой вершины взаимодействия. Восстановление вершины производится нами после измерения и восстановления события в программе геометрической и кинематической реконструкции. В данной работе этот вопрос не обсуждается.

При просмотре фильмового материала для дальнейших исследований и измерений отбирались события нескольких "типов" (см. рис.2).

К "типу 2" мы относим наиболее часто встречающийся тип события — взаимодействие видимой пучковой частицы со стенкой мишени или свинцовым конвертором. В этом случае пучковой частицей является антидейтрон с импульсом 12,2 ГэВ/с или фоновый π^--мезон (рис. 2а).

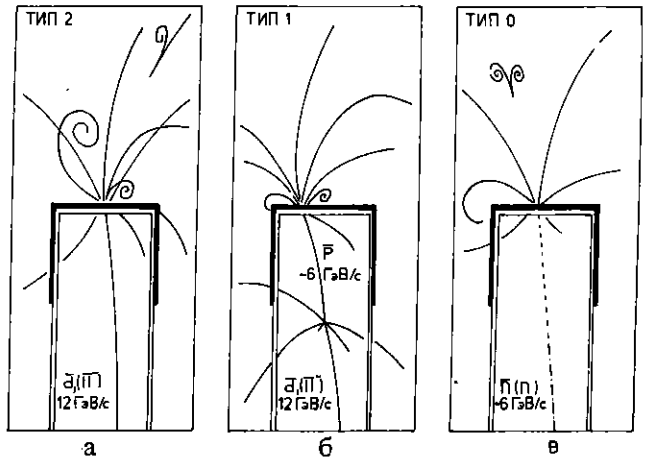

Рис. 2

"Тип 1" — взаимодействие стриппингового антипротона, образовавшегося из события, происшедшего внутри трекочувствительного объема мишени (рис. 2б). Такие события достаточно трудно выделить, поскольку событие должно располагаться ближе к началу мишени для достоверного определения антипротона-спектатора. Для его выделения используется специальный шаблон, позволяющий установить, соответствует ли импульс отрицательной частицы и угол ее вылета относительно пучкового трека характеристикам антипротона-спектатора из реакции стриппинга. Эти величины, вычисленные с учетом импульсного распределения нуклонов в дейтроне, лежат в пределах $4{,}8 \div 7{,}4$ ГэВ/с и $|\theta| < 3^\circ$.

К "типу 0" относятся все взаимодействия в стенке мишени, для которых мы не видим подходящего пучкового трека. Предполагается, что это есть взаимодействие стриппингового антинейтрона с импульсом ~ 6 ГэВ/с, образовавшегося во взаимодействии пучкового антидейтрона с элементами конструкции камеры до трекочувствительного объема (рис. 2в). Предполагается также наличие фоновых взаимодействий нейтронов, образующихся в реакции перезарядки отрицательных π-мезонов на водороде.

Таким образом, конфигурация экспериментальной установки позволяет в принципе отбирать события, связанные со взаимодействиями антидейтронов с импульсом 12,2 ГэВ/с, антипротонов и антинейтронов с импульсом $\sim 6{,}1$ ГэВ/с. Количество имеющихся событий разных типов приведено в табл. 1.

Таблица 1. Статистика для различных типов событий, полученная в экспозициях данного эксперимента. В скобках отмечено количество событий данного типа, в которых зарегистрированы нейтральные странные частицы или гамма-кванты.

Экспозиция	Число кадров	Число взаимодействий т.2 (+вилки)	т.1 (+вилки)	т.0 (+вилки)
503	46000	770 (120)	78 (25)	230 (52)
505	54000	1080 (168)	50 (6)	295 (46)
506	72000	8012 (1773)	183 (15)	870 (155)
Σ	172000	9862 (2061)	311 (46)	1495 (253)

Систематический поиск и просмотр событий в объеме мишени и самой камеры проводился в рамках исследований $\bar{d}p$- и $\bar{d}d$- взаимодействий и не входил в задачу данного эксперимента.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЧКА АНТИДЕЙТРОНОВ

Выход антидейтронов при энергиях серпуховского ускорителя составляет 10^{-6} от выхода π^--мезонов [5]. Для очистки пучка была применена двухступенчатая схема ВЧ-сепарации [6], позволившая на два порядка повысить коэффициент подавления фоновых частиц.

В рабочих условиях при сбросе $\sim 1 \cdot 10^{12}$ протонов в камеру вводилось $0{,}3 \div 0{,}8$ антидейтронов в цикле при адронном фоне $30 \div 40\%$ и числе мюонов около трех частиц на цикл.

Разброс по импульсу в пучке не превышал 1% [6], размер формируемого пучка перед пузырьковой камерой соответствует размерам ее входного окна 120x40 мм .

Одна из методических сложностей данного эксперимента заключается в наличии достаточно высокой примеси адронов (π^-, $\bar{p}$) в пучке антидейтронов. Простым методом величина этой примеси может быть оценена исходя из отношения числа взаимодействий в водороде камеры с образованием антипротона-спектатора к общему числу взаимодействий в водороде камеры. Доля событий с антипротоном-спектатором

Таблица 2. Характеристики пучка антидейтронов в различных экспозициях данного эксперимента.

Экспозиция	$\langle p_{пучк.} \rangle$, ГэВ/с	$(\frac{\Delta p}{p})$, %	Загрузка част./кадр	$\bar{d}$/кадр	Примесь в пучке, %
503	12,20	1	2,30	0,46 ± 0,03	20 ± 9
505	12,19	1	2,93	0,36 ± 0,02	24 ± 8
506	12,18	1	4,36	0,53 ± 0,03	32 ± 7

среди всех неупругих $\bar{d}p$-взаимодействий составляет $N(\bar{p}_s)/N(\bar{d}p) = 0,41 \pm 0,04$ [7]. Более точная методика, в которой анализируется вид импульсного распределения самой быстрой отрицательной частицы во взаимодействии, также описана в работе [7] и может быть выполнена только после измерения значительной части имеющихся событий. Основные характеристики пучка антидейтронов приведены в табл. 2. В ней же дается оценка доли фоновых взаимодействий в камере среди всех первичных звезд.

Оценивалась также примесь к нейтральным звездам ("тип 0") в стенке мишени от других источников, кроме стриппингового антинейтрона. Оценка доли взаимодействий в пластинах от нейтронов из реакции неупругой перезарядки приведена в приложении. Приведенные расчеты показывают, что взаимодействия антинейтронов с ядрами являются наиболее "чистыми" в смысле малых примесей в пучке. Также в приложении приведены оценки доли фоновых взаимодействий в пластинах для антидейтронных взаимодействий.

3. ПРОЦЕДУРА ПРОСМОТРА И ОТБОРА СОБЫТИЙ

Рассматривались все взаимодействия, происшедшие в лексановой стенке мишени или в свинцовом конверторе, окружающем мишень. К ним относятся:

— событие без пучкового трека ("тип 0"),

— событие с подходящим к вершине пучковым треком ("тип 2"),

— событие на антипротоне-спектаторе ("тип 1").

При большом числе проходящих пучковых треков (больше 10) или при наличии в стенках мишени двух или более взаимодействий такой

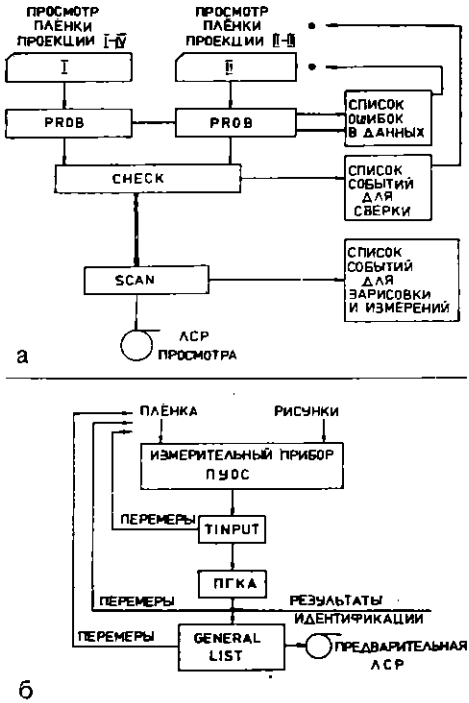

Рис. 3

кадр отбрасывался, так как в этом случае практически невозможно однозначно приписать треки конкретному взаимодействию. Электрон-позитронные ливни в стенках мишени при просмотре игнорировались.

Все четыре стереопроекции считались рабочими. Отмечались все вторичные взаимодействия, изломы и распады.

Для положительных треков, летящих назад (в основном это медленные протоны), делалась проверка на наличие остановки частиц в мишени.

Для событий "типа 0" особенно тщательно просматривался весь рабочий объем мишени, для того чтобы исключить возможность отбора взаимодействия от нейтральной частицы, образовавшейся в каком-либо фоновом событии в объеме или стенках мишени. События "типа 0" отбирались только при отсутствии других взаимодействий.

Основные искажения информации о множественности π-мезонов при просмотре вносят электроны и позитроны от конверсии гамма-квантов, образованных при распаде π°-мезонов. Для учета этих частиц использовался дополнительный шаблон, позволяющий выделять достаточно медленные электроны и позитроны. На нем изображены кривые, соответствующие видимым трекам в камере для частиц различных импульсов, с указанием значений ионизации и пробегов для электронов, π-мезонов и протонов. Шаблон позволяет достаточно уверенно разделять при просмотре частицы с импульсом в диапазоне $10 \div 250$ МэВ/с.

При поиске взаимодействий в стенках мишени эффективность просмотра достигает 100%, однако из-за больших множественностей и сложности событий нами делался повторный просмотр. Общая схема просмотра и записи на ЛСР приведена на рис. 3а. После формальной проверки правильности вводимых данных обоих просмотров в соответствующих программах делалось сравнение характеристик найденного события для обнаружения разногласий. Для их устранения проводи-

лась сверка таких событий. После сверки на ЛСР просмотра записывались следующие характеристики взаимодействия:

— номер пленки, номер кадра;
— тип взаимодействия;
— множественность всех заряженных частиц;
— множественность отрицательно заряженных частиц;
— наличие антипротона-спектатора во взаимодействии;
— множественность треков, летящих в заднюю полусферу и наличие остановившихся треков;
— количество "вилок" от распадов нейтральных странных частиц и гамма-квантов с указанием номера зоны;
— число идентифицированных электронов и позитронов;
— наличие изломов, вторичных взаимодействий на треках, π-μ-е-распадов.

Для удобства измерений события зарисовывались на просмотровом столе. Для множественностей, меньших и равных 10, делался рисунок одной проекции, для больших множественностей — двух проекций. При этом на двух проекциях искались и определенным образом нумеровались соответствующие треки. Такое требование усложняло процесс зарисовки взаимодействия, но в дальнейшем это позволило существенно улучшить и ускорить работу процедуры TRACK-MATCH для больших множественностей в программе геометрической реконструкции событий.

4. ПРОЦЕДУРА ИЗМЕРЕНИЯ АНТИДЕЙТРОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Процедура измерения учитывает следующие особенности взаимодействий в стенках мишени:

— отсутствие видимой первичной вершины взаимодействия;
— наличие нескольких (обычно двух) сегментов для треков, летящих назад и выходящих через стенки мишени в объем самой камеры (см. рис. 1);
— невозможность иногда точно выделить и измерить пучковый трек в мишени при наличии нескольких близких проходящих треков;
— для событий с нейтральными странными частицами необходимо всегда измерять треки их распада одновременно со всеми или некоторыми треками основного взаимодействия, так как эти треки в дальнейшем служат для восстановления положения невидимой вершины, которое используется в процедуре "сшивки" нейтральной частицы с первичным событием, а также для определения материала мишени (лексан или свинец).

Измерения проводились на приборах ПУОС, работающих в режиме on-line с ЭВМ ЕС-1033. Обычно для измерения используется три проекции. Для каждой проекции измерения проводятся по следующей схеме:

— Измеряются 4 реперных креста, расположенных на нижней поверхности камерного стекла, и 3 реперных креста, нанесенных на верхней стенке ВТМ.
— Точка первичного взаимодействия измеряется приблизительно в толщине стенки мишени, затем измеряются точки распада нейтральных странных частиц и вершины гамма-квантов с соответствующими метками.
— Пучковый трек измеряется на всей своей длине. При невозможности измерения переходим сразу ко второму треку, но метка вершины первичного взаимодействия при этом меняется.
— Измеряются треки первичного взаимодействия в том порядке, в котором они пронумерованы на рисунке, затем треки-"вилки".
— Если на треке имеются вторичное взаимодействие или излом, то измерение трека в этой точке прекращается.

Имеется еще одна особенность измерения треков, находящихся в ВТМ и имеющих несколько сегментов. Для эффективной работы программы геометрической реконструкции необходимо во время измерений фиксировать точку входа трека во внутреннюю стенку мишени как "особую". Эта процедура была разработана и применялась при измерении $\bar{d}$ d-взаимодействий, когда практически все треки первичного события имели несколько сегментов [8, 9]. В нашем случае "особая" точка отмечается всегда, когда трек находится в мишени, даже если отсутствует второй сегмент. Информация об "особой" точке на треке обрабатывается в программе TINPUT [10], выходные данные которой являются входом в программу геометрической реконструкции.

Для сложных взаимодействий, отличающихся большой множественностью заряженных частиц (до 30), наличием близко расположенных проходящих пучковых треков, общей загруженностью кадра, допускается измерение одного события несколько раз подряд.

Общая схема измерения событий приведена на рис. 3б. Данные измерений обрабатываются программой TINPUT, часть измерений отбрасывается по формальным признакам. После реконструкции событий программой геометрического и кинематического анализа (ПГКА) производится идентификация треков событий по ионизации на просмотровых столах. Результаты идентификации заносятся на предварительную ЛСР с помощью пакета программ GENERAL LIST, формируется часть окончательной ЛСР. События, не прошедшие ПГКА или отброшенные по другим причинам, перемеряются. Измерение и обработка событий проводится довольно большими кусками (по 500-600 событий). Под-

робное описание ПГКА и всей цепочки формирования ЛСР восстановленных событий будет сделано отдельно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью описанной методики просмотрен весь имеющийся фильмовый материал по экспозициям 503, 505 и 506. В первую очередь, как наиболее интересные, были зарисованы и измерены один раз все события "типа 0", а также события с нейтральными странными частицами и гамма-квантами в 506-й экспозиции.

Авторы благодарны В.И.Морозову, Е.С.Кузнецовой, Г.Н.Чернышовой за полезные обсуждения, Г.А.Абрамовой, Г.М.Иващенко и Л.З.Андриановой за проведение измерений.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Определение доли фоновых взаимодействий от π^--мезонов в лексановой и свинцовой пластинах

Число взаимодействий определяется следующим образом:

$$N_{вз.} = N_{п.} \cdot [\,1 - \exp(-\sigma\rho\ N_a\ \ell / A)],$$

где $N_{п.}$ — число пучковых частиц; σ — сечение взаимодействия частицы с веществом; ℓ — толщина мишени; ρ, A — плотность и атомный вес вещества мишени; N_a — число Авогадро. Зная сечения взаимодействия антидейтронов и π-мезонов при 12 ГэВ/с

$$\sigma^{in}_{\bar{d}p} = (86 \pm 4)\text{мб}, \qquad \sigma^{in}_{\pi^- p} = (21{,}2 \pm 0{,}3)\text{мб}$$

и принимая длину рабочей области мишени равной 80 см, мы получаем следующее соотношение между количеством фоновых π^--мезонов и антидейтронов в пучке (данные для экспозиции 506) :

$$N^{\pi^-}_{пучк.} / N^{\bar{d}}_{пучк.} = 1{,}73.$$

Зная сечения взаимодействия π-мезонов с зарядами углерода и свинца при энергии данного эксперимента[12, 13]

$$\sigma^{in}_{\pi^- C} = 200\ \text{мб}, \qquad \sigma^{in}_{\pi^- Pb} = 1650\ \text{мб},$$

а также пользуясь результатами расчетов сечений неупругих антидейтрон-ядерных взаимодействий в рамках модели Глаубера[14],

$$\sigma^{in}_{\bar{d}C} = 618 \text{ мб}, \qquad \sigma^{in}_{\bar{d}Pb} = 2395 \text{ мб},$$

мы получили оценку отношения числа антидейтрон-ядерных взаимодействий к фоновым:

$$N^{\bar{d}Pb}_{вз.} / N^{\pi^- Pb}_{вз.} = 0{,}84, \qquad N^{\bar{d}C}_{вз.} / N^{\pi^- C}_{вз.} = 1{,}70.$$

Эти данные позволяют также оценить отношение числа взаимодействий, включая фоновые, происшедших в лексановых пластинах, к общему числу взаимодействий:

$$N^{lexan}_{вз.} / N^{total}_{вз.} = 0{,}49.$$

Более точно эти соотношения могут быть установлены после анализа совокупности событий, восстановленных с помощью программы геометрической реконструкции, дающей точное местоположение вершины.

2. Оценка вклада фоновых событий в $\bar{n}A$-взаимодействия

Похожая оценка делалась в $\bar{d}p$-экспериментах, когда для 307 экспозиции в рабочем объеме камеры помещалась танталовая пластина[11]. Основным источником фона в данном типе взаимодействий считалась реакция неупругой перезарядки π^--мезона на протоне:

$$\pi^- p \to n + X.$$

Антинейтроны образуются при стриппинге антидейтронов на водороде с вероятностью

$$N(\bar{n}_s) / N(\bar{d}p) = 0{,}41 \pm 0{,}04^{[7]},$$

коэффициент же неупругой перезарядки π^--мезона на водороде равен 0,37 в широком диапазоне энергий[15]. Зная долю фоновых взаимодействий в водороде, мы определяем (для 506 эксп.)

$$N^{nA}_{вз.} / N^{\bar{n}A}_{вз.} = 0{,}347.$$

Множественность заряженных частиц во взаимодействии нейтронов с ядрами при импульсе 1 ГэВ/с мала[15,16], и мы считаем, что вклад в фоновые взаимодействия дадут только нейтроны с импульсом, большим 1 ГэВ/с. Спектр нейтронов от перезарядки является низкоэнергетичным, и доля таких нейтронов составляет только 12%[15]. Таким образом, вклад взаимодействий фоновых нейтронов в общее число событий "типа 0" составит

$$N^{nA}_{вз.} / (N^{nA}_{вз.} + N^{\bar{n}A}_{вз.}) \ (P > 1 \text{ ГэВ/с}) = 0{,}04 \ \ (4\%),$$

т.е. события данного типа являются достаточно "чистыми" в смысле малой примеси в пучке.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Андреев В.Ф. и др. – Препринт ФИАН №237, М., 1985.*
2. *Miyano K. et al. – Phys. Rev. Lett., 1984, v.53, p.1725.*
3. *Сазонов С.Г., Толмачев В.Т. – ОИЯИ, 13-80-403, Дубна, 1980.*
4. *Богомолов Н.В. и др. – ОИЯИ, 13-84- 582, Дубна, 1984.*
5. *Антипов Ю.М. и др. – ЯФ, 1971, 13, с.135.*
6. *Васильев В.В. и др. – Препринт ИФВЭ, 80-66, ОП, Серпухов, 1980.*
7. *Граменицкий И.М. и др. – ОИЯИ, 1-84-788, Дубна, 1984.*
8. *Батюня Б.В. и др. – ОИЯИ, Р1-85-476, Дубна, 1985.*
9. *Артенян А.С. и др. – ОИЯИ, 10-84-450, Дубна, 1984.*
10. *Буздавина Н.А., Иванов В.Г. – ОИЯИ, 10-6856, Дубна, 1973.*
11. *Андреев В.Ф. – Препринт ФИАН №260, М., 1985.*
12. *Бобченко Б.М. и др. – ЯФ, 1979, 30, с.1553.*
13. *Власов А.В. и др. – ЯФ, 1978, 27, с.413.*
14. *Schmakov S.Yu. et al. – Comp. Phys. Comm., 1989, 54, p.125.*
15. *Бекмирзаев Р.М. и др. – ЯФ, 1984, 39, с.1212.*
16. *Бекмирзаев Р.М. и др. – ОИЯИ, Р1-83-481, Дубна, 1983.*
    Ивановская И.А., Прокопиева С.А. – ОИЯИ, Р1-83-96, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 июля 1989 года.