

A-194

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-95-358

На правах рукописи
УДК 539.1.07
539.17

АВЕРИЧЕВ
Георгий Станиславович

**РАЗВИТИЕ УСТАНОВКИ ДИСК
И ИССЛЕДОВАНИЕ КУМУЛЯТИВНОГО РОЖДЕНИЯ
ЧАСТИЦ В ПРОТОН-ЯДЕРНЫХ И ЯДРО-ЯДЕРНЫХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ В ИНКЛЮЗИВНЫХ
И КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ**

Специальность: 01.04.01 — техника эксперимента,
физика приборов, автоматизация физических исследований

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1995

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Пансбратцев Юрий
Анатольевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, старший
научный сотрудник

Матюшин Александр
Тарасович

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Киселев Юрий
Тимофеевич

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Московский инженерно-физический институт, г. Москва

Защита диссертации состоится "___" _____ 1995 года в
"___" часов на заседании диссертационного совета Д-047.01.02 в Ла-
боратории высоких энергий Объединенного института ядерных иссле-
дований по адресу:
141980, г. Дубна Московской области, ЛВЭ ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" _____ 1995 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета *М.Ф. Лихачев* Лихачев М.Ф.
доктор физ.-мат. наук, профессор

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Экспериментальные исследования фрагментации ядер в кумулятивной области, под действием лептонных, адронных и ядерных пучков высокой энергии позволили не только получить принципиально новые данные о свойствах ядерной материи и механизме ядерных реакций в переходной и асимптотических областях, но и установить ряд универсальных закономерностей, связанных с распределением кварков в ядрах.

Несмотря на то, что за последние 25 лет в исследованиях в ЛВЭ ОИЯИ, ИТЭФ, ЕрФИ, ЛИЯФ, ИФВЭ, ЦЕРН, СЛАК, BNL, LBL FNAL и других научных центрах проведены многочисленные эксперименты по исследованию свойств кумулятивного рождения мезонов, протонов и барионных систем в инклюзивной и корреляционной постановке опыта, однако, явление является настолько сложным и многообразным, что его исследование до сих пор остается одной из наиболее актуальных и интересных задач в современной ядерной физике.

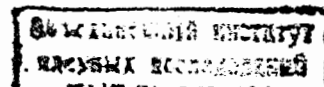
Значительный интерес представляют опыты по изучению процессов кумулятивного рождения частиц на легчайших ядрах. Эти исследования находятся на границе между физикой элементарных частиц и физикой атомного ядра и позволяют изучить переход от "элементарного" нуклон-нуклонного рассеяния к специфическим ядерным эффектам.

Корреляционные измерения позволили получить экспериментальные данные о геометрической картине и динамике процессов кумулятивного рождения частиц. Корреляционные эксперименты также позволяют получить информацию о свойствах кумулятивного рождения резонансов и тем самым существенно расширить наши знания о кумулятивных процессах.

Изучение поляризационных характеристик ядерных реакций позволяет совершенно по новому подойти к исследованию структуры легчайших ядер на малых межнуклонных расстояниях. Это убедительно продемонстрировали выполненные на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий эксперименты по фрагментации поляризованных дейтронов в протоны.

Реализованная в работе возможность изучения односпиновых пионных асимметрий ядерных реакций с поляризованными дейтронами несомненно открывает принципиально новые возможности для изучения кумулятивного рождения.

Цель работы – экспериментальные исследования процессов кумулятивного рождения частиц в инклюзивных и корреляционных экспериментах с



пучками протонов, легких ядер и поляризованных дейтронов, а именно :

1. Модернизация одноплечевого магнитного спектрометра ДИСК-2 для проведения экспериментов по кумулятивному рождению каонов на протонах и легчайших ядрах дейтерия и гелия.

2. Проектирование и создание двухплечевого магнитного спектрометра ДИСК-3 для изучения корреляционных эффектов в кумулятивном рождении частиц.

3. Развитие установки ДИСК для проведения поляризационных измерений.

4. Участие в создании автоматизированной системы сбора данных с магнитного спектрометра ДИСК и пакета программ для обработки экспериментальных данных.

5. Экспериментальные исследования процессов кумулятивного рождения пионов, каонов и протонов на легчайших ядрах в широком диапазоне углов и импульсов вторичных частиц и анализ полученных результатов.

Научная новизна работы. Созданная в лаборатории высоких энергий ОИЯИ установка ДИСК, работающая на пучках первичных протонов высокой интенсивности ($5 \cdot 10^{11}$ частиц/секунду) и включающая специально разработанную криогенную мишень, содержащую жидкий водород, дейтерий и гелий, является до сих пор единственной физической установкой, позволяющей проводить исследования кумулятивного рождения пионов, каонов на легчайших ядрах, а также рождения кумулятивных протонов от фрагментации дейтронов в жесткой части спектра.

Получен и проанализирован большой набор экспериментальных данных по кумулятивному рождению частиц на протонах и легчайших ядрах, включая первые исследования кумулятивного рождения каонов на ядрах дейтерия и гелия.

Создан двухплечевой магнитный спектрометр ДИСК-3 для проведения корреляционных измерений в процессах кумулятивного рождения. Разработана и реализована методика корреляционных измерений при достаточно высоких интенсивностях первичных пучков (до $2 \cdot 10^{10}$ частиц в секунду при толщине мишени $1 \div 2$ г/см²).

Проведена модернизация установки ДИСК для проведения поляризационных исследований. Эксперименты с пучками поляризованных дейтронов позволили впервые измерить векторную и тензорную анализирующие способности в реакциях инклюзивного пионообразования на водороде и ядрах углерода.

Научно-практическая значимость. Результаты, полученные в данной работе, существенно дополняют имеющиеся экспериментальные дан-

ные по кумулятивному рождению частиц на легчайших ядрах и дают обширный фактический материал для развития теоретических моделей и понимания механизма взаимодействий при высоких энергиях.

Развитые в работе методы проведения корреляционных измерений могут быть полезны при изучении процессов идущих с малыми сечениями и резонансов, в частности, в планируемых опытах по поиску предсказанных В.С. Ставинским динамических корреляций между кумулятивной частицей и адроном с большим поперечным импульсом.

Полученные в работе результаты измерений и их анализ можно использовать при планировании новых экспериментов по изучению ядерных эффектов в адронных процессах и в глубоко-неупругих процессах, планируемых на ускорителях в ОИЯИ, ИТЭФ, ИФВЭ, BNL, DESY, CEBAF.

Проведенные эксперименты по измерению односпиновых пионных асимметрий в реакциях с поляризованными дейтронами не только расширяют область исследований поляризационных явлений в релятивистской ядерной физике на ускорительном комплексе Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, но и несомненно будут использованы при планировании поляризационных экспериментов на AGS и в дальнейшем на коллайдере ядер и поляризованных протонов на RHIC.

Апробация работы и публикации. Результаты, лежащие в основе диссертации, были доложены на семинарах по релятивистской ядерной физике ЛВЭ, семинаре ИТЭФ, рабочих совещаниях установки ДИСК, Международных совещаниях Дейтрон-91 и Дейтрон-93, X и XII Международных семинарах по проблемам физики высоких энергий и КХД (Дубна, 1990 г. и 1994 г.), XXIV Международной конференции по физике высоких энергий (Мюнхен, ФРГ, 1988 г.), IV Международной конференции по ядро-ядерным взаимодействиям (Каназава, Япония, 1991 г.),

По материалам диссертации опубликовано 13 печатных работ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы.

Автор защищает

-Результаты работы связанные с развитием установки ДИСК для проведения инклюзивных, корреляционных и поляризационных экспериментов.

-Результаты экспериментов по исследованию кумулятивного рождения частиц, включая каоны, на ядрах дейтерия и гелия.

-Результаты измерений двухчастичной корреляционной функции R_2 для пион-протонных, протон-протонных и дейтрон-протонных комбинаций вторичных частиц при взаимодействии протонов, дейтронов и альфа-частиц с ядрами

—Результаты измерений векторной и тензорной анализирующей способности в реакциях инклюзивного пинообразования

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность и раскрывается содержание темы диссертации, сформулирована цель работы, изложены новизна и научно-практическая значимость полученных результатов, описан план работы.

В первой главе работы описана экспериментальная установка ДИСК и приведены ее основные характеристики. Обсуждаются вопросы математического обеспечения эксперимента и обработки экспериментальных данных.

В §1 первой главы дано описание установки ДИСК-2, созданной в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ для исследования процессов кумулятивного рождения частиц (π^\pm , K^\pm , p , \bar{p} , d , t , ^3He , ^4He) в инклюзивной реакции $I + II \rightarrow 1 + \dots$. Магнитный спектрометр ДИСК-2 обозначен на рис. 1, как первое корреляционное плечо (КП1). Эксперименты, описанные в диссертации, проводились на выведенном пучке синхрофазотрона ОИЯИ. Пучок первичных частиц I-протоны, дейтроны или α -частицы фокусировались на мишень II. Диаметр сфокусированного на мишени пучка около 15 мм.

В процессе экспериментов использовались два типа мишеней, разработанные группой Л.Б. Голованова. Уникальность этих мишеней в том, что рабочее вещество мишени составляет $\sim 95\%$ и только $\sim 5\%$ вещество стенок сосуда¹, что позволяет провести единственные в мире эксперименты по изучению фрагментации легчайших ядер в кумулятивной области.

Особенностью первого типа мишени являлось размещение в одном вакуумном кожухе с большой выходной апертурой сосудов с жидким водородом, дейтерием и гелием. Криогенные мишени имели диаметр 50 мм и размер по пучку 50 (140) мм. Сосуды мишеней изготавливались из майлара толщиной 120 мкм.

Затем мишень была заменена на мишень с реконденсацией дейтерия жидким гелием. Геометрические характеристики новой мишени — диаметр 35 мм и длина по пучку 70 мм.

Вторичные частицы регистрировались в интервале углов $60^\circ - 168^\circ$ относительно направления первичного пучка и в интервале импульсов от 250 МэВ/с до 1600 МэВ/с.

¹ Голованов Л. Б. и др. ПТЭ, 1978, Т. 3, с. 41.

Борзунов Ю.Т., Голованов Л.Б. и др., Сообщение ОИЯИ, 8-83-191, Дубна, 1983

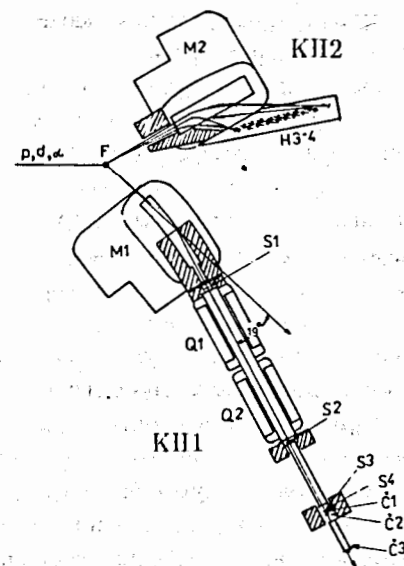


Рис.1 Принципиальная схема двухплечевого магнитного спектрометра ДИСК-3.

Магнитно-оптический канал спектрометра состоит из анализирующего магнита и дублета квадрупольных линз, формирующих пучок вторичных частиц. Импульсное разрешение спектрометра 8.6 % (полная ширина на половине высоты). В первых экспериментах аксептанс установки был $1.72 \cdot 10^{-5}$ ср. Для исследования процессов с малыми сечениями (большими кумулятивными числами и процессов с рождением странных мезонов на легчайших ядрах) была проведена модернизация детекторов и новая настройка магнитно-оптического канала спектрометра в результате чего аксептанс установки был увеличен в три раза.

Идентификация вторичных частиц осуществлялась путем независимых измерений времени пролета на двух базах (3.8 м и 1 м). Среднеквадратичная ошибка измерений составляет 260 пс. Для повышения надежности выделения полезных событий проводились измерения поглотительных потерь в сцинтилляторах и интенсивности излучения Вавилова-Черенкова в твердом радиаторе. Для регистрации пионов с импульсом выше 900 МэВ/с в состав установки был включен газовый пороговый черенковский счетчик.

Относительную интенсивность пучка ускоренных частиц измеряет телескоп счетчиков M_p . Градуировка телескопа осуществлялась методом изме-

рения наведенной активности в углероде (с точностью $\pm 5\%$) при облучении поллстирола C_8H_8 в фокусе первичного пучка.

Развитие вычислительной техники, соответствующей электроники и программного обеспечения, позволило отказаться от использовавшейся ранее достаточно сложной on-line системы с ЭВМ ЕС-1040 (1050) и перейти на надежную и удобную в эксплуатации систему сбора данных и контроля на основе персонального компьютера типа IBM PC/AT 386.

В §2 данной главы описана организация системы сбора данных с установки, рассмотрена структурная схема. Приведен алгоритм управления аппаратурой установки в процессе сбора данных.

Отметим, что каждое зарегистрированное установкой событие (частица испущенная из мишени и прошедшая магнитно-оптический канал и детекторы спектрометра) анализируется по следующим критериям: время пролета на двух разных базах, ионизационные потери в сцинтилляторах, интенсивность вспышки черенковского излучения. Этот анализ составляет основу обработки данных и позволяет надежно идентифицировать регистрируемые частицы, оценить вклад случайных совпадений при работе в первичных пучках высокой интенсивности. В §3 описан созданный при участии автора диссертации интерактивный пакет программ для обработки экспериментальных данных, ориентированный на персональные компьютеры типа IBM с операционными системами DOS или LINUX, использующий современное математическое обеспечение для анализа экспериментальных данных в физике высоких энергий.

Вторая глава диссертации содержит результаты новых исследований кумулятивного рождения π^\pm -мезонов, K^\pm -мезонов и протонов во взаимодействии протонов и дейтронов с импульсом 8.9 ГэВ/с с легчайшими ядрами дейтерия и гелия. Кроме того, выполнены исследования рождения π^\pm -мезонов, K^\pm -мезонов во взаимодействии протонов с импульсом 8.9 ГэВ/с с ядрами водорода.

Инклюзивные инвариантные дифференциальные сечения рождения пионов и положительно заряженных каонов в указанных выше реакциях измерены в интервале импульсов вторичных частиц от 300 до 750 МэВ/с.

Исследованный в работе угловой интервал, в котором измерены инклюзивные сечения рождения кумулятивных частиц, существенно дополняет ранее полученные на установке ДИСК экспериментальные данные по кумуляции легчайших ядер, в основном относящиеся к углам наблюдения вблизи 180° , т.е. при $p_T \simeq 0$.

Измерения, выполненные в настоящей работе, относятся к кинематической области, где существенна передача как продольного, так и поперечно-

го импульса. Эти данные представляют уникальную возможность проверки разработанного В.С. Ставинским подхода, дающего единое описание кумулятивных процессов и процессов с большими поперечными импульсами.

В §1 данной главы описана постановка опыта и процедура вычисления инклюзивных инвариантных дифференциальных сечений, включая поправки.

В §2 приведены таблицы с результатами измерений инклюзивных сечений рождения π^\pm -мезонов, K^\pm -мезонов и протонов, выполненных в диссертационной работе.

В §3 дано определение масштабной переменной X , которая представляет минимально возможную долю массы мишени фрагментирующей в инклюзивную частицу 1 с импульсом \vec{p} и углом вылета θ в реакции $I+II \rightarrow 1+\dots$ в предположении, что для взаимодействия нужна вся масса налетающей частицы.

Здесь также обсуждается, предложенная В.С. Ставинским переменная $S_{min}^{1/2}$ которая является нетривиальным обобщением переменной X и это обобщение состоит в том, что находятся те значения доли четырехимпульса снаряда X_I и мишени X_{II} которые соответствуют минимальной энергии.

$$S_{min}^{1/2} = [(X_I P_I + X_{II} P_{II})^2]^{1/2}.$$

Гипотеза В.С. Ставинского² состоит в том, что инклюзивное сечение рождения частиц в экстремальных ситуациях, то есть либо кумулятивное рождение частиц, либо рождение адрона с большим поперечным импульсом определяется (зависит) от минимально возможной полной энергии сталкивающихся конститuentов.

В §4 на основе подхода предложенного В.С. Ставинским проанализированы данные по предельной фрагментации протонов в pp -взаимодействиях. Были использованы как экспериментальные данные, полученные на установке ДИСК, так и данные других экспериментов в интервале первичных энергий от 3 до 30 ГэВ и p_T^2 от 0 до $3 (ГэВ/c)^2$. Анализ экспериментальных данных показал, что всю совокупность экспериментальных данных можно описать простой зависимостью $E \frac{d\sigma}{dp} = \sigma_i \exp(-S_{min}^{1/2} / \langle S_{min}^{1/2} \rangle)$, причем параметр наклона экспоненты имеет универсальное значение $\langle S_{min}^{1/2} \rangle = 0.30$ ГэВ.

В §5 изложенный выше алгоритм используется для описания экспериментальных данных по инклюзивным инвариантным дифференциальным сечениям рождения пионов и каонов на легчайших ядрах. Установлено, что

²Ставинский В.С., Краткие сообщения ОИЯИ 18-86, с. 5, Дубна, 1986.

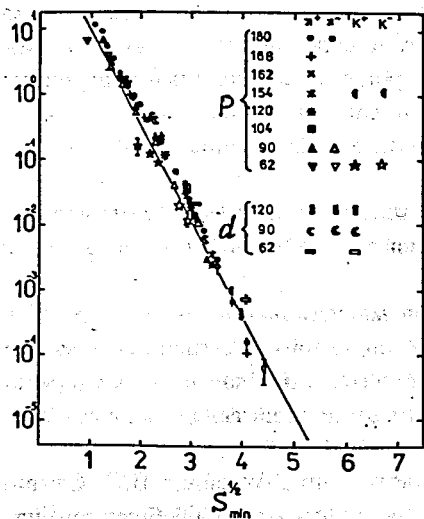


Рис. 2 Зависимость инклюзивных сечений рождения пионов и каонов при фрагментации ядра He от $S_{min}^{1/2}$ при взаимодействии с протонами и дейтронами с импульсом 8.9 ГэВ/с.

вся совокупность экспериментальных данных как на дейтерии, так и на гелии описывается единой зависимостью от $S_{min}^{1/2}$. Рис. 2 иллюстрирует этот вывод для случая фрагментации гелиевой мишени. Из рисунка видно, что в первом приближении вся совокупность экспериментальных данных группируется около простой экспоненциальной зависимости, причем линией на рисунке показана зависимость, соответствующая реакции $pp \rightarrow \pi^+ + \dots$

Таким образом, главный и нетривиальный вывод из анализа экспериментального материала по фрагментации протонов, дейтронов и ядер гелия состоит в том, что рождение частиц разного сорта при различных энергиях и углах регистрации, полученные при облучении протонами и дейтронами различных энергий описывается простой экспоненциальной функцией одной переменной $S_{min}^{1/2}$ — минимальной энергией сталкивающихся конститuentов (подструктур взаимодействующих ядер).

В §6 обсуждены результаты исследований процессов кумулятивного рождения каонов на легчайших ядрах. Следует, отметить что легчайшие ядра выделены с теоретической точки зрения как простейшие ядерные системы. В то же время, их исследование позволяет "выйти" в кумулятивную область и дает возможность исследовать вклад мультикварковых конфигураций.

В экспериментах по изучению кумулятивного рождения положительно

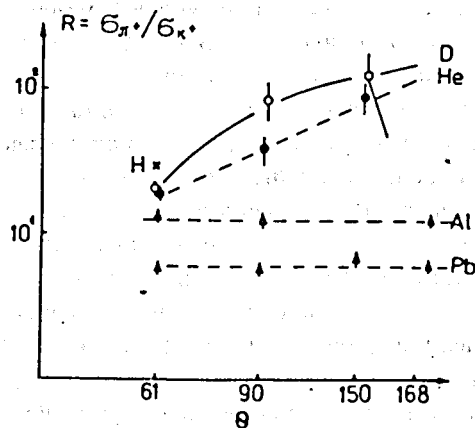


Рис. 3а

На рис. 3а представлены отношения сечений рождения π^+ -мезонов к K^+ -мезонам с импульсом 500 МэВ/с в зависимости от угла наблюдения при взаимодействии протонов с импульсом 8,9 ГэВ/с с различными ядрами.

Рис. 3б. Экспериментальные данные и расчет зависимости отношения π^+ -и K^+ -мезонов на дейтроне от переменной X. Кривая 1-вклад релятивистского фермиевского движения, кривая 2-расчет бq-компоненты в дейтроне.

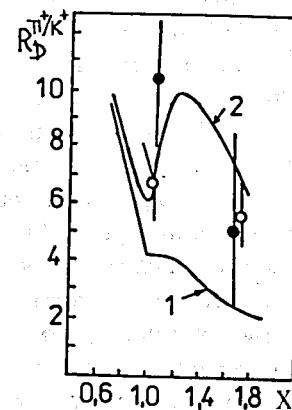


Рис. 3б

заряженных каонов на средних и тяжелых ядрах было обнаружено следующее приближенное соотношение между сечениями кумулятивного рождения пионов и K^+ -мезонов при одинаковых значениях переменной X:

$$Ed\sigma/dp(\pi^+) = Ed\sigma/dp(\pi^-) = Ed\sigma/dp(K^+).$$

Такое поведение существенно отличается от случая протон-протонных взаимодействий, где $d\sigma(pp \rightarrow K^+)/d\sigma(pp \rightarrow \pi^+) = 0.1 \div 0.2$ при $X = 0.1 \div 0.8$ и затем это отношение увеличивается с ростом X. Исследование на легчайших ядрах позволяет изучить переход от "элементарного акта" к специфическим особенностям ядерных структурных функций в кумулятивной области.

В выполненных в работе экспериментах было обнаружено, во первых, что на легчайших ядрах отношения сечений рождения π^+ мезонов к K^+ мезонам существенно выше, чем на средних и тяжелых ядрах, и во-вторых, если для средних и тяжелых ядер величины отношений сечений практически не зависят от угла наблюдения, то для легчайших ядер эти величины растут с ростом угла. Этот вывод проиллюстрирован на рис.3а, на кото-

ром представлены отношения сечений рождения π^+ -мезонов и K^+ -мезонов с импульсом 500 МэВ/с в зависимости от угла наблюдения при взаимодействии протонов с импульсом 8.9 ГэВ/с с различными ядрами.

На рис. 36 приведено сравнение результатов измерения отношений сечений рождения пионов к каонам на ядрах дейтерия (●) и гелия (○) для углов 90° и 150° приведенных к одинаковому значению масштабной переменной X . Установлено, что измеренное отношение по порядку величины равно $4 \div 10$ (для значений X в интервале $1.0 \div 1.4$), то есть существенно превосходит соответствующее отношение для фрагментации тяжелых ядер. На рисунке приведены также результаты расчета этого отношения, выполненные для pD- взаимодействий в рамках кварк партонного механизма процесса с учетом возможного вклада шестикварковой компоненты в дейтроне³. Видно, что учет вклада многокварковых конфигураций позволяет качественно объяснить результаты эксперимента.

В работе были впервые измерены сечения кумулятивного рождения K^- -мезонов на ядрах дейтерия и гелия в pA- и dA- взаимодействиях. Из полученных данных следует важный, с нашей точки зрения, вывод о том, что и для легчайших ядер A-зависимости сечений рождения K^- -мезонов и π^- -мезонов имеют сходные поведения; в то время, как было установлено ранее A-зависимость сечения рождения K^+ -мезонов имеет сходное поведение с A-зависимостью для протонов и Λ^- -частиц.

Третья глава диссертации посвящена вопросам создания двухплечевого магнитного спектрометра ДИСК-3 и проведения на нем корреляционных измерений в области кумулятивного рождения частиц. Изучение корреляционных явлений в кумулятивном рождении является естественным развитием программы по исследованию предельной фрагментации ядер. В настоящей работе изучалась двухчастичная инклюзивная реакция $I+II \rightarrow 1+2\dots$ где I - первичные частицы (p, d с импульсом 8.9 ГэВ/с либо α -частицы с импульсом 17.8 ГэВ/с); II - ядра мишени (Li^6, Pb); 1 и 2 - регистрируемые установкой частицы (π, p, d).

Измерена двухчастичная корреляционная функция R_2 , которая определена следующим образом:

$$R_2 = \sigma_{in} \frac{E_1 E_2 d^2 \sigma / d\vec{p}_1 d\vec{p}_2}{E_1 E_2 d\sigma / d\vec{p}_1 d\vec{p}_2}$$

Следует отметить, что это первые и, по видимому, единственные измерения корреляционных явлений в ядерных реакциях при столь высоких интенсивностях (до $2 \cdot 10^{10}$ частиц/сек) при толщине мишени $1 \div 2$ г/см².

³Бажанский И.И., Каптарь Л.П., Титов А.И. ЯФ, 1987, т.45, с. 910.

Проведению измерений при высоких интенсивностях способствовали в равной степени два обстоятельства. Во-первых, это выбор и реализация методики измерений с запуском установки не от пучковой частицы, а от кумулятивной частицы в первом корреляционном плече. Во вторых, для проведения этих измерений сотрудниками ускорительного комплекса ЛВЭ⁴ был реализован режим вывода пучка без банчировки с равномерной растяжкой и подавлением пульсаций в магнитном поле ускорителя.

Нам представляется, что реализованная на установке ДИСК-3 методика измерений корреляционных функций при высоких интенсивностях является адекватной методикой при исследовании корреляционных явлений, идущих с малыми сечениями в процессах кумулятивного мезообразования.

В §1 третьей главы обсуждается постановка опыта и дано описание методики эксперимента и экспериментальной установки ДИСК-3.

Эксперимент выполнен электронной методикой на двухплечевом магнитном спектрометре, принципиальная схема которого приведена на рис. 1. Первым плечом установки является магнитный спектрометр ДИСК-2, описанный в первой главе диссертации. Второе корреляционное плечо установки (КП2) состоит из спектрометрического магнита и восьми сцинтилляционных телескопов, предназначенных для регистрации пионов, протонов и дейтронов. Его входной телесный угол $1.6 \cdot 10^{-2}$ ср, импульсный акцептанс спектрометра $\Delta p/p_0 = 1.2$. Интервал измеряемых импульсов можно менять от 50 до 800 МэВ/с, а интервал углов регистрации от 20° до 140° . Идентификация вторичных частиц в каждом из восьми телескопов, состоящих из двух сцинтилляционных счетчиков, осуществляется по измерению ионизационных потерь в каждом счетчике и времени пролета между счетчиками в телескопе на базе 0.3 м. Второе корреляционное плечо регистрирует частицы, выделенные по импульсу магнитом M2 и вызывающие срабатывание одного из сцинтилляционных телескопов, во временном интервале 110 нс. при срабатывании первого корреляционного плеча (КП1).

Для выделения интересных нас двухчастичных совпадений организована схема измерения времени, сигналом "Старт" для которой является сигнал со счетчика S4 в КП1 (6.3 м от мишени), а сигналом "Стоп" является сигнал от сработавшего телескопа в КП2 (расстояния от мишени меняется от 2.4 до 3.7 м). На рис. 4 приведены распределения по разнице времени прихода сигналов от КП1 и КП2. На рис. 4а приведен спектр протон-пионных совпадений (импульс протонов в КП1 640 МэВ/с, средний импульс пионов в КП2 равнялся 140 МэВ/с), на рис. 4б спектр с протон-протонными совпадениями (импульс протонов в КП1 500 МэВ/с, средний

⁴Воеводин А.М. и др. сообщение ОИЯИ 9-86,647, Дубна, 1986 г.

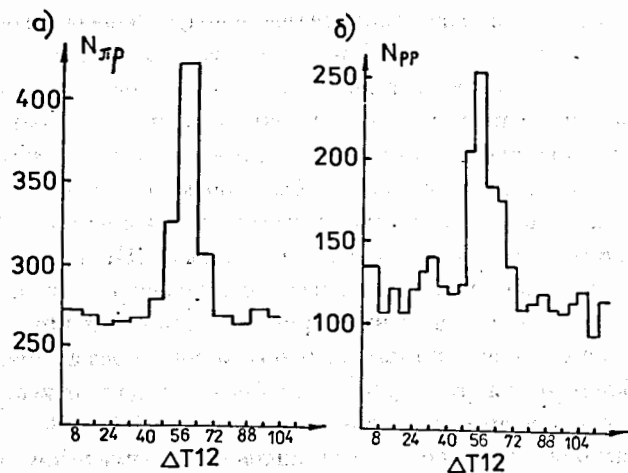


Рис. 4 Спектр протон-пионных (а) и протон-протонных (б) совпадений на свинцовой мишени толщиной 1 г/см^2 при интенсивности первичного пучка 10^{10} частиц/цикл. Цена одного канала на спектрах 1 нс.

импульс протонов в КП2 также 500 МэВ/с). Положение пиков на спектрах соответствуют расчетам.

Одновременно с измерениями совпадений проводились измерения одночастичных инклюзивных сечений. Для этого была создана схема "деления частоты", которая позволяла записывать в ЭВМ каждое i -е срабатывание КП1 и каждое j -е срабатывание в КП2.

В §2 обсуждаются результаты измерений. В настоящей работе выполнены две группы измерений. Первая относится к исследованию двухчастичной корреляционной функции в реакции $I+II \rightarrow 1+2+\dots$ для πp -, pp - и $d p$ -систем. Первой указана частица, регистрируемая первым магнитным спектрометром. Импульс этой частицы был 500 МэВ/с, а угол наблюдения 90° . Импульсный интервал второго магнитного спектрометра $200 \div 650$ МэВ/с. Угол разлета частиц 180° (угол вылета одной частицы относительно направления вылета второй). Такие кинематические условия соответствуют максимальному выходу протонов в первом и втором плече и, следовательно, оптимальным условиям для набора статистики по pp -совпадениям.

На рис. 5а приведены данные по $R_{\pi p}$ - и R_{pp} -корреляторам для случая взаимодействия протонов с импульсом 8.9 ГэВ/с с ядрами свинца. Из рисунка видно, что в пределах ошибок измерений величину двухпротонной кор-

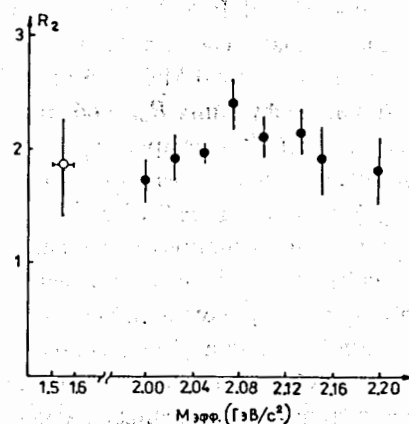


Рис. 5а

Рис. 5а. Результаты измерения корреляционной функции R_2 в pPb -взаимодействиях (\bullet - значения R_{pp} , \circ - значения $R_{\pi p}$).

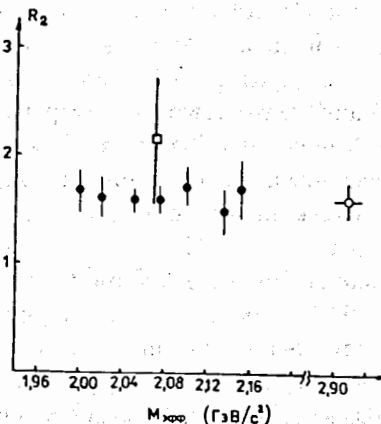


Рис. 5б

Рис. 5б. Результаты измерения корреляционной функции R_2 в dPb -взаимодействиях (\bullet - значения R_{pp} , \circ - значения R_{dp}). Символом (\square) обозначена величина R_{pp} в d^7Li -взаимодействиях.

реляционной функции в измеренном интервале импульсов (эффективных масс) можно описать константой $R_{pp} = 1.92 \pm 0.25$. Кроме того, результаты измерений показали, что в пределах ошибок измерений величины протон-протонного и протон-пионного корреляторов имеют близкие значения.

На рис. 5б приведены значения протон-протонного коррелятора и дейтрон-протонного коррелятора, измеренного во взаимодействии дейтронов с импульсом 8.9 ГэВ/с с ядрами свинца. Установлено, что корреляционная функция двух протонов не зависит от импульса (эффективной массы) регистрируемой пары частиц в измеренном интервале. Ее среднее значение равно 1.58 ± 0.21 . Кроме того установлено, что величины R_{pp} и R_{dp} корреляторов совпадают в пределах ошибок измерений.

Измерение протон-протонного коррелятора в dPb -взаимодействиях показали, что среднее значение R_{pp} -коррелятора в этом случае равно 2.34 ± 0.26 . Эта величина в пределах ошибок измерений не отличается от величина R_{pp} -коррелятора измеренного в pPb -взаимодействиях.

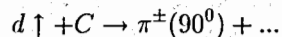
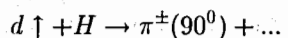
Вторая группа данных относится к измерению двухчастичной протон-пионной корреляционной функции. В этом случае импульс протона в первом плече был 640 МэВ/с, угол наблюдения 90° . Импульсный интервал пионов.

регистрируемый вторым плечом равнялся $50 \div 270$ МэВ/с. Угол разлета протона и пиона 180° . Такие кинематические условия соответствуют регистрации продуктов распада Δ -изобары с импульсом 500 МэВ/с и углом эмиссии 90° , то есть была измерена корреляционная функция $R_{p\pi}$ в области эффективных масс, соответствующих кумулятивной Δ -изобаре.

Значения корреляционных функций, усредненных по измеренному интервалу эффективных масс ($1.150 \div 1.350$ ГэВ/с), равны 1.41 ± 0.17 для $p\pi^+$ -системы и 1.40 ± 0.18 для $p\pi^-$ -системы во взаимодействии протонов с ядрами свинца. Для αPb -взаимодействий эти величины равны соответственно 1.51 ± 0.24 и 1.55 ± 0.23 . Таким образом, из результатов измерений следует, что величина протон-протонной корреляционной функции, усредненной по измеренному интервалу эффективных масс, в пределах ошибок измерений одинакова для случая положительно и отрицательно заряженных пионов. Кроме того, значение протон-пионной корреляционной функции в пределах ошибок измерений совпадают для $p\text{Pb}$ - и αPb -взаимодействий.

Из анализа экспериментальных данных были получены ограничения на сечения рождения Δ -изобар.

В четвертой главе диссертации описан первый поляризационный эксперимент на установке ДИСК по исследованию односпиновой асимметрии в реакциях инклюзивного пионообразования



Измерения выполнены на пучке поляризованных дейтронов синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ.

Мы рассматриваем эти эксперименты, и особенно в случае рождения пионов в кумулятивной области, как принципиально новую возможность изучения механизма поляризации, связанную с ненуклонными степенями свободы в ядрах.

Для проведения поляризационных экспериментов была проведена соответствующая модернизация установки ДИСК. Постановка опыта и методика измерений односпиновой асимметрии описана в §1 четвертой главы. Для измерений был использован, описанный в первой главе магнитный спектрометр ДИСК-2. При проведении поляризационных измерений на одноплечевом магнитном спектрометре мы использовали трехцикловый режим работы источника поляризованных дейтронов ПОЛЯРИС⁵. Эти циклы за-

⁵Белушкин А.А. и др. - Труды Совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики, ОИЯИ, Д2-82-568, с. 21, Дубна, 1982

давались метками "+", "-", "0". Метка "0" соответствовала неполяризованному пучку, а "+" и "-" различным поляризационным состояниям пучка дейтронов.

При работе с векторно поляризованным пучком измеряемая величина векторной анализирующей способности $A_y(\theta)$ определяется выражением:

$$A_y(\theta) = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\sigma(\theta)^+}{\sigma_0(\theta)} - \frac{\sigma(\theta)^-}{\sigma_0(\theta)} \right) / (p_z^+ - p_z^-).$$

где p_z^+ и p_z^- - векторные компоненты поляризации, а $\sigma(\theta)^+$, $\sigma(\theta)^-$ и $\sigma_0(\theta)$ - сечения реакции в "+", "-", и неполяризованном состояниях пучка соответственно.

Отметим, что в выражение для асимметрии входят только относительные сечения, поэтому нет необходимости проводить измерения абсолютного числа пучковых частиц.

Интенсивность первичного пучка в процессе измерений составляла от $\sim 10^8$ до 10^9 частиц/цикл. Относительная интенсивность первичного пучка измерялась при помощи ионизационной камеры (NT) с точностью $\sim 1\%$.

Для мониторинга попадания пучка на мишень была специально создана новая мониторирующая система из трех сцинтилляционных телескопов. Кроме того, при настройке канала использовался координатный детектор, расположенный непосредственно перед мишенью.

В экспериментах использовалась либо углеродная мишень толщиной 5.6 г/см² либо трехсекционная жидководородная мишень длиной 300 мм и объемом 1.2 л. Диаметр внутреннего сосуда мишени 70 мм, что обеспечивает прохождение пучка полностью по внутреннему объему мишени. Конденсация водорода и поддержание мишени в рабочем состоянии проводится за счет использования жидкого гелия. Каждая секция имеет длину 100 мм и заполняться водородом могут последовательно одна, две или три секции.

Поляризация дейтронного пучка определялась с помощью установки АЛЬФА⁶, которая перед набором данных настраивалась для работы в качестве поляриметра. После окончания набора данных проводилось повторное измерение поляризации и параметры пучка определялись усреднением по этим двум измерениям. Поляриметрия проводилась при импульсе дейтронного пучка 3.5 ГэВ/с. Предварительные исследования показали, что поляризация пучка не изменяется в процессе ускорения, и источник ПОЛЯРИС обеспечивает стабильные параметры поляризации в длительном сеансе работы. Поэтому во время набора данных дополнительной поляриметрии пучка не проводилось.

⁶Ableev V.G. et. al. - Nucl. Instr. and Meth., A306, 1991, p.73

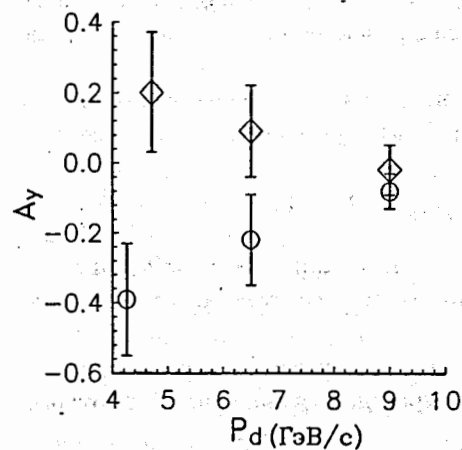


Рис. 6а

Рис 6а. Зависимость анализирующей способности A_y от импульса дейтрона P_d , для вторичных пионов с импульсом 300 МэВ/с $\diamond - \pi^+$ и $\circ - \pi^-$.
Рис 6б. Зависимость анализирующей способности A_y от импульса π^- -мезона при $P_d = 6.5$ ГэВ/с.

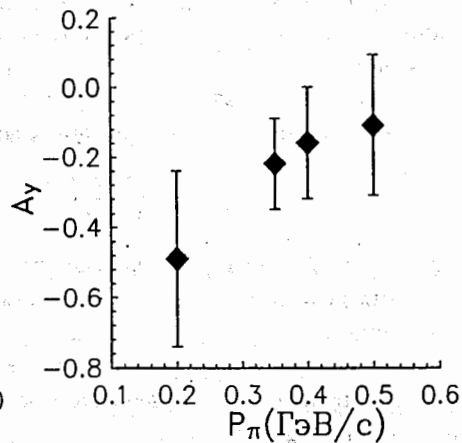


Рис. 6б

В §2 обсуждаются результаты измерений. Проведены измерения зависимости величины векторной анализирующей способности от энергии первичного пучка поляризованных дейтронов. Измерения проводились при импульсах пучка дейтронов 4.2, 4.7, 6.5 и 9 ГэВ/с. На Рис.6а представлены экспериментальные данные о векторной анализирующей способности процесса $d \uparrow + H \rightarrow \pi^\pm(90^\circ) + \dots$ для π^+ - и π^- -мезонов с импульсом 300 МэВ/с. При импульсе первичных дейтронов 4.2 ГэВ/с асимметрия имеет значительную величину $\sim 30\%$ и убывает до нескольких процентов при импульсе дейтронов 9 ГэВ/с. Кроме того, из рисунка видно, что знак асимметрии зависит от знака заряда пионов.

На рис. 6б приведены результаты измерения асимметрии процесса $d \uparrow + H \rightarrow \pi^-(90^\circ) + \dots$ при $P_d = 6.5$ ГэВ/с. Из рисунка видно, что асимметрия отлична от нуля во всем измеренном интервале импульсов π^- мезонов. Она убывает с ростом импульса пионов и при импульсе 550 МэВ/с не превышает 10%.

Величина асимметрии для π^+ - и π^- -мезонов при взаимодействии векторно поляризованных дейтронов с углеродной мишенью составляет несколько процентов и имеет знак "+" как для π^+ -, так и для π^- -мезонов в импульсном интервале от 300 ÷ 625 МэВ/с.

Проведенное нами моделирование показало, что в той области, где значения асимметрии имеют большую величину (малые вторичные импульсы пионов и малая первичная энергия) доминирует вклад рождения пионов от распада Δ -побар. В то время, как при более высоких энергиях доминирует прямой механизм в рождении пионов.

Нами также проведено измерение асимметрии рождения π^- мезонов при импульсе 700 МэВ/с в $d \uparrow^{12}C$ -взаимодействии при $P_d = 9$ ГэВ/с. Полученная величина асимметрии равна 0.02 ± 0.1 . Это первое измерение асимметрии в кумулятивной области, позволяющее говорить о реальности проведения измерений векторной анализирующей способности в кумулятивной области на установке ДИСК.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведена модернизация установки ДИСК-2 с целью изучения процессов кумулятивного рождения частиц при больших порядках кумулятивности и кумулятивного рождения странных мезонов на легких ядрах.
 - 1.1. Более чем в три раза увеличен аксептанс установки и заново настроен магнитный канал спектрометра.
 - 1.2. Для регистрации пионов с импульсом выше 900 МэВ/с в состав установки включен газовый пороговый черенковский счетчик.
 - 1.3. Создана новая система сбора данных на основе персональной ЭВМ типа ИВМ/РС и соответствующее программное обеспечение для сбора и обработки данных.
 - 1.4. Произведена замена старой криогенной мишени на новую криогенную мишень с реконденсацией дейтерия жидким гелием.
2. Проведены эксперименты по измерению инклюзивных дифференциальных сечений рождения пионов, каонов и протонов на водороде, дейтерии и гелии в широком диапазоне углов и импульсов вторичных частиц.
 - 2.1. Впервые измерено отношение сечений рождения π^+ и K^+ мезонов на легчайших ядрах и установлено, что величина этого отношения на легчайших ядрах равна 5 ÷ 10 в отличие от средних и тяжелых ядер, где величина этого отношения 1 ÷ 2 и не зависит от масштабной переменной.
 - 2.2. Впервые установлено, что в отличие от тяжелых ядер на легких ядрах величина отношения π^+/K^+ зависит от угла наблюдения.
 - 2.3. Впервые измерены сечения рождения K^- мезонов на легчайших ядрах.
 - 2.4. Вся совокупность экспериментальных данных проанализирована в рамках разработанного В.С. Ставinskим метода минимального экономичного

взаимодействия и показано, что полученные экспериментальные данные по рождению пионов и каонов на легчайших ядрах хорошо описываются простой зависимостью $\exp(-S_{min}^{1/2} / < S_{min}^{1/2} >)$.

2.5. Измерена зависимость сечений диссоциации ядер гелия в протоны под действием протонов и дейтронов.

3. Спроектирован и создан двухплечевой магнитный спектрометр ДИСК-3 и проведены измерения двухчастичной корреляционной функции R_2 в кумулятивной области в протон-ядерных, адрон-ядерных и альфа-ядерных взаимодействиях.

3.1. Разработана методика корреляционных измерений при высоких интенсивностях (до $2 \cdot 10^{10}$ частиц/сброс) и толщине мишени $1 \div 2$ г/см².

3.2. Измерена величина коррелятора R_2 для пион-протонных, протон-протонных и дейтрон-протонных комбинаций вторичных частиц в интервале эффективных масс от 1.5 до 2.9 ГэВ/с.

3.3. Проведено измерение корреляционной функции для $p\pi$ - системы в области эффективных масс, соответствующих рождению кумулятивных Δ -изобар (500 МэВ/с; угол вылета 90°). Величина коррелятора в этой области равна ~ 1.5 для $p\pi^\pm$ комбинаций как в pPb -, так и в αPb - взаимодействиях. Получены ограничения на сечения рождения кумулятивных изобар $A_\Delta \leq 1.5A_p$.

4. Проведена модернизация установки ДИСК для выполнения поляризационных измерений. Впервые проведен эксперимент по измерению векторной и тензорной анализирующих способностей в реакциях инклюзивного пионообразования $d \uparrow + A \rightarrow \pi^\pm(90^\circ) + \dots$

4.1. Измерена энергетическая зависимость асимметрии при значениях импульсов первичных дейтронов 4.2, 4.7, 6.5, 9 ГэВ/с для пионов с импульсом $p_\pi = 300$ МэВ/с. Обнаружено, что величина асимметрии достигает 30% при импульсе дейтронного пучка $p_d = 4.2$ ГэВ/с и уменьшается с ростом импульса дейтронного пучка до нескольких процентов при 9 ГэВ/с.

4.2. Измерена зависимость асимметрии π^- -мезонов при импульсе первичных дейтронов 6.5 ГэВ/с в реакции $d \uparrow + H \rightarrow \pi^- + \dots$. Наблюдается уменьшение асимметрии от $\sim 40\%$ при импульсе пионов 200 МэВ/с до величины, не превышающей 10 % при импульсе 550 МэВ/с.

4.3. Величина асимметрии для π^+ - и π^- -мезонов при взаимодействии векторно поляризованных дейтронов с углеродной мишенью составляет несколько процентов и имеет знак "+" как для π^+ -, так и для π^- -мезонов в импульсном интервале от $300 \div 625$ МэВ/с.

4.4. Проведено первое измерение величины векторной асимметрии в кумулятивной области.

Основные материалы диссертации опубликованы в работах:

1. Г.С. Аверичев, В.К. Бондарев, П.И. Зарубин и др.

"Экспериментальные данные по исследованию двухчастичных пион-протонных, протон-протонных, дейтрон-протонных корреляций в кумулятивном рождении частиц при взаимодействии протонов, дейтронов и альфа-частиц с ядрами." Краткие сообщения ОИЯИ. N 4[37]. Дубна, 1989, с. 5.

2. Г.С. Аверичев, В.К. Бондарев, П.И. Зарубин и др.

Предложения экспериментов по исследованию кумулятивного рождения частиц на установке ДИСК В сборнике: Предложения по программе Лаборатории высоких энергий ОИЯИ в 1991-1995 г. ОИЯИ. P1.2-89-631, Дубна, 1989, с. 103.

3. Г.С. Аверичев, В.К. Бондарев, Н. Ghiordanescu и др.

"Проявление индивидуальных особенностей ядер при кумулятивном рождении частиц в нуклон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях." Труды X Международного семинара по проблемам физики высоких энергий, тезисы докладов, Дубна ОИЯИ. Д1.2-90-456, Дубна 1990, с. 23.

4. G.S. Averichev, V.K. Bondarev, N. Ghiordanescu et al.

"Appearance of particular features of nuclei in cumulative particle production in nucleon- and nucleus-nucleus interaction." In: Proceedings of Xth International Seminar on High Energy Physics Problems. Dubna, USSR, 24-29 September 1990, Singapor: World Scientific, 1991, p. 90

5. G. N. Agakishiev, G. S. Averichev, V. K. Bondarev, et al.

"General Regularities and individual features of the cumulative particle production". In: Proceedings of the international workshop. DUBNA DEUTERON-91, DUBNA, 11-13 June, 1991, p. 266.

6. G. S. Averichev, G. N. Agakishiev, V. K. Bondarev, et al.

" A_p and A_T dependence of the cross sections for cumulative particle production in nucleus-nucleus interactions". In: Proc. IV International Conference on Nucleus-Nucleus collisions, Kanazawa, Japan, June 10-14, 1991, p. 190.

7. G. S. Averichev, G. N. Agakishiev, V. K. Bondarev, et al.
 "Experimental data on fragmentation and cumulative particle production in lightest nuclei interactions". In: Proc. IV International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions. Kanazawa, Japan, June 10-14, 1991. p. 191.
8. G. S. Averichev, G. Agakishiev, M. E. Asanova, et al.
 "Momentum and angular spectra of cumulative pion and proton production in p-D collisions". In: Proceedings of the International Symposium. DUBNA DEUTERON-93, 14-18 September, 1993. p 269.
9. Г. С. Аверичев, Ю. А. Панебратцев, С. В. Разин, Э. И. Шахалиев, М. В. Токарев. "Ядерный эффект для рождения пионов в p-A столкновениях". В сборнике: "Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика", Дубна, Россия, 12-17 Сентября, 1994, с. 45.
10. Г. С. Аверичев, Г. Агакишиев, М. Э. Асанова, и др.
 "Импульсные и угловые спектры кумулятивных пионов и протонов образованных в p-D-столкновениях". В сборнике: "Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика", Дубна, Россия, 12-17 Сентября, 1994, с. 44.
11. G. S. Averichev, G. Agakishiev, M. E. Asanova и др.
 "Cumulative pion and proton production in p-D collisions at 4.45, 8.9 GeV/c". Сборник "Краткие сообщения ОИЯИ", 1[69]-95, Дубна, 1995 с. 37.
12. G. S. Averichev, Yu. A. Panebratsev, S. V. Razin, E. I. Shahaliev, M. V. Tokarev
 "Nuclear effect for backward pion production in p-A interactions". Preprint JINR, E2-94-503, Dubna, 1994.
13. Г. С. Аверичев, Г. Агакишиев, М. Э. Асанова и др.
 Односпиновая пионная асимметрия в реакции $d \uparrow + A \rightarrow \pi^{\pm}(90^{\circ}) + X$
 Сборник "Краткие сообщения ОИЯИ", 1(69)-95, Дубна, 1995 с. 27.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 августа 1995 года.