

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-2001-110

На правах рукописи

УДК 539.172.13, 539.171.017, 539.1.08

М-19

МАЛИНИНА
Людмила Владимировна

**ИЗМЕРЕНИЕ ТЕНЗОРНОЙ
И ВЕКТОРНОЙ АНАЛИЗИРУЮЩИХ СПОСОБНОСТЕЙ
НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ
ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ДЕЙТРОНОВ НА ПРОТОНАХ
В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ
РОПЕРОВСКОГО РЕЗОНАНСА И ДЕЛЬТА-ИЗОБАРЫ**

Специальность: 01.04.16 — физика ядра и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 2001

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

СТРОКОВСКИЙ
Евгений Афанасьевич

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

ТОКАРЕВ
Михаил Владимирович

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

ЕРШОВ
Александр Альбертович

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Петербургский институт ядерной физики
им. Б.П. Константинова РАН

Защита состоится "....."2001 года в "....." часов на заседании диссертационного совета при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, по адресу:
141980, г.Дубна Московской области, ЛВЭ ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "....."2001 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук, профессор

М.Ф.Лихачев

Общая характеристика работы

В диссертации представлены результаты экспериментального исследования спин-зависимых наблюдаемых, измеренных во взаимодействии поляризованных дейтронов с протонами при импульсе 3.73 ГэВ/с. В эксперименте эксклюзивного типа на ускорителе SATURNE-II (Сакле, Франция) с использованием спектрометра SPES4- π исследовалось поведение тензорной и векторной анализирующих способностей в области возбуждения Роперовского резонанса $N^*(1/2, 1/2^+)(1440)$ и $\Delta(1232)$ изобары.

Актуальность темы диссертации

Одной из наиболее актуальных проблем современной релятивистской ядерной физики является изучение спиновых характеристик ядерных реакций в области, где возможен переход от нуклонных к кварковым степеням свободы в ядрах. Особый интерес представляет область возбуждения первых нуклонных резонансов, где описание спектра возбужденных состояний нуклона с помощью кварковых представлений сталкивается со значительными трудностями [1].

С появлением в последние годы хорошо развитой техники создания поляризованных пучков большой интенсивности и поляризованных мишеней стало возможно вернуться к проблемам изучения возбуждения барионных резонансов на новом уровне: спин-зависимые наблюдаемые позволяют лучше понять механизм реакций, приводящих к возбуждению барионных резонансов, и приносят новую информацию о характере взаимодействий на "микроскопическом" уровне.

Замечательной особенностью изоскалярных снарядов является отбор по изоспину конечных состояний, поэтому для изучения возбуждения барионных N^* резонансов с изоспином $1/2$ особенно привлекательно неупругое dp рассеяние.

Пока существует крайне мало экспериментальных данных и теоретических работ посвященных этой проблематике. Данных по исследованию поляризационных наблюдаемых в реакциях с изоскалярными снарядами в экспериментах эксклюзивного типа просто нет.

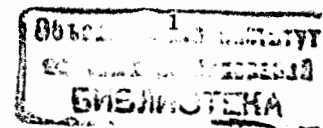
Отсюда следует актуальность исследования тензорной и векторной анализирующих способностей в неупругом dp рассеянии в эксперименте эксклюзивного типа для $dp \rightarrow dN\pi(\pi)$ каналов реакции.

Цель диссертационной работы

- Экспериментальное исследование тензорной и векторной анализирующих способностей неупругого рассеяния дейтронов на протонах в области возбуждения Роперовского резонанса и Дельта изобары в эксперименте эксклюзивного типа для $dp \rightarrow dN\pi(\pi)$ каналов реакции.
- Изучение зависимостей этих поляризационных наблюдаемых от квадрата переданного четырех-импульса, эффективной массы системы $N\pi(\pi)$ и угла вылета пиона относительно направления импульса снаряда.
- Сравнение полученных анализирующих способностей для реакций с одним и двумя пионами в конечном состоянии.

Научная новизна работы

- впервые в эксперименте эксклюзивного типа измерены тензорная и векторная анализирующие способности неупругого dp рассеяния для каналов реакции с одним и двумя пионами в конечном состоянии.
- впервые в кинематически переопределенном эксперименте с регистрацией обеих



рассеянных частиц измерена тензорная анализирующая способность A_{yy} реакции $dp \rightarrow pd$ упругого рассеяния назад в с.ц.м. при кинетической энергии снаряда выше 1 ГэВ/нуклон.

Научно-практическая ценность работы :

- создано математическое обеспечение для обработки данных эксперимента E-278C проведенного на ускорителе SATURNE-II:
 - усовершенствована программа чтения и декодирования первичной информации, записанной в процессе набора данных эксперимента E-278C. Эта программа уже используется для обработки данных других экспериментов выполненных на установке SPES4-п;
 - разработана процедура обработки информации от дрейфовых камер Переднего спектрометра и определения с необходимой точностью геометрического положения различных частей установки в единой системе координат;
 - разработана процедура восстановления импульса и определения типа частицы в спектрометре SPES4, работавшего в нашем эксперименте в счетчиковой моде. Процедура используется для обработки данных других экспериментов, полученных на этой установке;
 - разработана процедура проведения треков в Переднем спектрометре в такой схеме измерений, когда траектории частиц до входа в область магнитного поля не измеряются, количество камер минимально, а положение спектрометра вблизи нерассеянного пучка создает большие фоновые загрузки. Эта процедура может быть использована в других экспериментах;
- созданы программы для моделирования эксперимента и сравнения с существующими теоретическими моделями.

Программы написаны в едином стандарте, позволяющем легкое перестраивание их для использования в других экспериментах. Часть программ уже используется для планирования экспериментов на спектрометре MARUSYA ЛВЭ ОИЯИ [2].

Автор защищает:

- новые экспериментальные данные о тензорной A_{yy} и векторной A_y анализирующих способностей неупругого dp рассеяния для каналов реакции $dp \rightarrow dN\pi(\pi)$ с одним и двумя пионами в конечном состоянии в области $t \sim (-0.22 ; -0.08)$ (ГэВ/с)², соответствующей области эффективных масс $\sim (1.33 ; 1.48)$ ГэВ при импульсе пучка дейтронов 3.73 ГэВ/с;
- изучение зависимостей анализирующих способностей A_{yy} и A_y реакций $dp \rightarrow dN\pi$ от угла вылета пиона относительно направления импульса снаряда;
- новые экспериментальных данных о тензорной анализирующей способности A_{yy} реакции упругого $dp \rightarrow pd$ рассеяния назад в с.ц.м. при импульсе пучка дейтронов 3.73 ГэВ/с с регистрацией обеих частиц в конечном состоянии;

- программное обеспечение для обработки данных эксперимента E-278C, в котором автор приняла непосредственное участие на всех стадиях работы от планирования измерений до получения результатов.

Апробация работы:

Результаты исследований, на основе которых написана диссертация, докладывались на научных семинарах ЛВЭ ОИЯИ, рабочих совещаниях коллаборации SPES4-п, международных конференциях ISHEPP-XIV (1998 г.) (Дубна), ISHEPP-XV (2000 г.) (Дубна), 16-th European Conference on Few Body Problems in Physic (Autrans, France) (1998). Результаты работы опубликованы в соответствующих материалах конференций, журналах "Краткие сообщения ОИЯИ", "Письма в ЭЧАЯ", в виде препринтов. Основные результаты и выводы диссертации изложены в 6 публикациях, список которых приведен в конце автореферата.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка цитируемой литературы.

Во Введении рассматривается история изучения Роперовского резонанса, перечисляются различные теоретические модели, в которых предпринимаются попытки объяснить его необычные свойства. Сделан краткий обзор экспериментов по изучению сечений возбуждения Роперовского резонанса во взаимодействиях изоскалярных снарядов d, α . Рассмотрены различные теоретические подходы к их описанию. Обсуждаются также данные инклюзивных экспериментов по изучению зависящих от спина наблюдаемых в неупругом dA рассеянии и попытки их теоретической интерпретации.

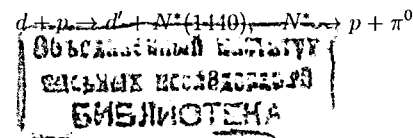
В нашем эксперименте E-278C тензорная и векторная анализирующие способности измерялись в зависимости от квадрата переданного четырехимпульса $t = (P_d - P_d')^2$, эффективной массы $N\pi(\pi)$ системы и угла вылета пиона **вблизи порога возбуждения Роперовского резонанса**. Кинематическая область в (t, M_π) плоскости, захватываемая в этом эксперименте, показана на рис. 1. Эксперимент был проведен на выведенном пучке ускорителя SATURNE-II с помощью установки SPES4-п. Были измерены анализирующие способности для следующих каналов неупругого dp рассеяния:

$$dp \rightarrow d'\pi^0 \quad (1)$$

$$dp \rightarrow d'n\pi^+ \quad (2)$$

$$dp \rightarrow d'N\pi\pi \quad (3)$$

Согласно теоретической модели группы Е.Осера [3], в исследуемой кинематической области рождение одного пиона может происходить в основном через возбуждение $\Delta(1232)$ в одном из нуклонов снаряда или через возбуждение N^* в мишени. Другие возможные процессы, показанные на рис.2, а также возбуждение Δ и в снаряде, и в мишени, должны (в рамках этой модели) давать вклад на два порядка меньше, чем вклад основных процессов:



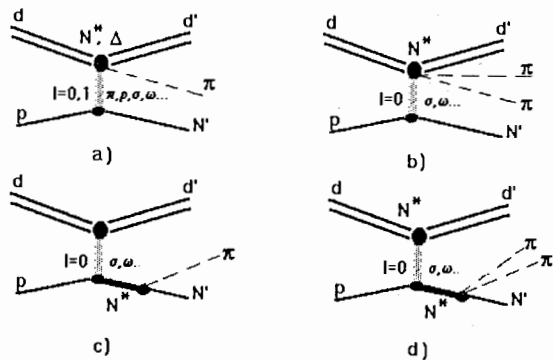
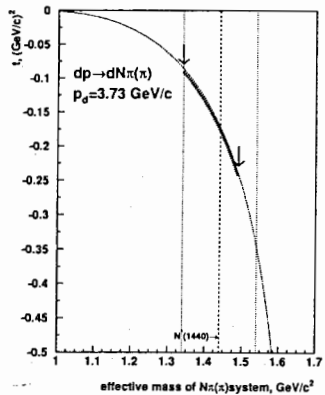
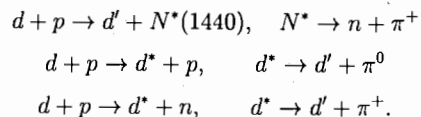


Рис. 1: Зависимость недостающей массы M_x (эффективная масса $N \pi(\pi)$) от квадрата переданного 4-импульса $|t|$ при импульсе начального пучка дейтронов 3.73 ГэВ/с; резонанса в мишени. Рис. 2: Основные диаграммы процесса $p(d, d')N\pi(\pi)$: а) возбуждение Δ или N^* переданного 4-импульса $|t|$ при импульсе начального пучка дейтронов 3.73 ГэВ/с; резонанса в мишени. б) возбуждение Роперовского резонанса в дейтроне; с) и д) возбуждение заштрихована область, доступная в нашем эксперименте.



Здесь d^* - состояние двух нуклонов после рассеяния с одним из нуклонов возбужденным в Δ изобару, которое после испускания пиона снова "собирается" в дейтрон. В области перекрытия резонансов возможны интерференционные эффекты, которые могут проявляться в поведении поляризационных наблюдаемых, особенно A_y . Из-за сохранения изоспина, выделение канала реакции (3) позволяет полностью избавиться от вклада возбуждения Δ изобары "в снаряде" и сравнить анализирующие способности каналов с присутствием Δ изобары и без нее.

В I главе дается описание экспериментальной установки SPES4- π и процедуры проведения эксперимента. Установка SPES4- π состояла из:

- фокусирующего магнитного спектрометра высокого разрешения SPES4;
- детектирующей системы, работающей в совпадении с ним. Эта система включала в себя:
- дипольный магнит TETHYS
- Передний спектрометр, (FS -Forward Spectrometer)
- Боковой спектрометр (LS -Lateral Spectrometer) ¹
- 6-см жидководородной мишени, расположенной в медианной плоскости дипольного

¹Информация с него не использовалась при обработке данных нашего эксперимента, поэтому далее речь пойдет только о Переднем спектрометре.

магнита TETHYS

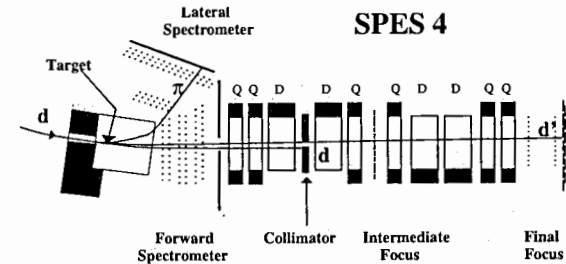


Рис. 3: Установка SPES4- π

Частицы с большим импульсом (d'), рассеянные на малые углы, детектировались фокусирующим магнитным спектрометром SPES4. Заряженные вторичные частицы с существенно меньшими импульсами (протоны и пионы) детектировались нефокусирующей широкоапертурной системой "FS+LS". Схема установки изображена на рис. 3.

Состояние поляризации дейтронного пучка менялось каждый цикл ускорения. Использовались следующие состояния поляризации: 5, 6, 7, 8 (в обозначениях Сатурн-II, см. таблицу I).

Таблица I. Максимальные значения векторной и тензорной параметров поляризации пучка на ускорителе Сатурн-II

Номер состояния поляризации	P_{ZZ}^{max}	P_Z^{max}
5	+1	+1/3
6	+1	-1/3
7	-1	+1/3
8	-1	-1/3

Сумма состояний "5+6" ("7+8") дает положительную (отрицательную) тензорную поляризацию пучка без примеси векторной поляризации. Сумма "5+7" ("6+8") дает положительную (отрицательную) векторную поляризацию без примеси тензорной. Комбинация "5+8" ("6+7") дает неполяризованный пучок. Ось квантования спина дейтрона была перпендикулярна к плоскости, содержащей "среднюю" орбиту ускорителя. Поляризация измерялась периодически (при смене настроек спектрометра) с помощью Низкоэнергетического Поляриметра ускорителя Сатурн. Использовалась реакция: $d(d, p)t$ при $E_d = 400$ КэВ. Средние значения поляризации пучка были: $P_{ZZ} = 0.902 \pm 0.015$ и $P_Z = 0.311 \pm 0.008$; $|P_Z^+| = |P_Z^-|$ ($|P_{ZZ}^+| = |P_{ZZ}^-|$), где (P_{ZZ}^{\pm} и P_Z^{\pm} тензорная и векторная поляризации пучка, ось Z связана с системой координат источника поляризованных дейтронов).

В соответствии с "Мэдисоновским соглашением", в анализе данных была выбрана декартова система координат с осью z вдоль падающего пучка, осью

у, перпендикулярной к плоскости рассеяния и параллельной направлению оси квантования спина дейтрона, ось x была выбрана так, чтобы получить "правый" координатный базис. Сечение неупругого dp рассеяния может быть записано следующим образом:

$$\sigma^{\pm}(\theta_{\pi}, t) = \sigma^0(\theta_{\pi}, t) \left[1 + \frac{3}{2} P_Z^{\pm} A_y(\theta_{\pi}, t) + \frac{1}{2} P_{ZZ}^{\pm} A_{yy}(\theta_{\pi}, t) \right], \quad (4)$$

где σ^0 и σ^{\pm} сечения поляризованного и неполяризованного пучка +, -, 0 обозначают соответствующие поляризации пучка; $A_y(\theta_{\pi}, t)$ и $A_{yy}(\theta_{\pi}, t)$ векторная и тензорная поляризации реакции; θ_{π} горизонтальный угол вылета пиона

$\theta_{\pi} = \arcsin[p_x \cdot (p_x^2 + p_z^2)^{-1/2}]$, где p_x, p_z компоненты импульса пиона.

Из (4), используя комбинации состояний поляризации пучка: чисто тензорную (без примеси векторной поляризации) и чисто векторную (без примеси тензорной поляризации) когда $P_Z^+ = P_Z^-$; ($P_{ZZ}^+ = P_{ZZ}^-$) получаем:

$$A_{yy}(\theta_{\pi}, t) = \frac{2}{P_{ZZ}} \cdot \frac{\sigma_{+t}^+ - \sigma_{-t}^-}{\sigma_{+t}^+ + \sigma_{-t}^-} \quad (5)$$

$$A_y(\theta_{\pi}, t) = \frac{2}{3P_Z} \cdot \frac{\sigma_{+v}^+ - \sigma_{-v}^-}{\sigma_{+v}^+ + \sigma_{-v}^-} \quad (6)$$

где $\sigma_{+,-}^{\pm}$ сечения для тензорной (векторной) поляризации пучка.

В нашем эксперименте тензорная A_{yy} и векторная A_y анализирующие способности вычислялись для каждой реакции согласно следующим формулам:

$$A_{yy}(\theta_{\pi}, t) = \frac{2}{P_{ZZ}} \cdot \frac{N_5 + N_6 - N_7 - N_8}{N_5 + N_6 + N_7 + N_8} \quad (7)$$

$$A_y(\theta_{\pi}, t) = \frac{2}{3P_Z} \cdot \frac{N_5 - N_6 + N_7 - N_8}{N_5 + N_6 + N_7 + N_8} \quad (8)$$

$$A_0(\theta_{\pi}, t) = \frac{N_5 - N_6 - N_7 + N_8}{N_5 + N_6 + N_7 + N_8} \quad (9)$$

где N_5, N_6, N_7 и N_8 – количество событий на каждое состояние пучка, нормированное на соответствующие интенсивности.

Последнее соотношение определяет "ложную" (аппаратную) асимметрию. Ее величина контролировалась для всех каналов реакции и была близка к нулю, доказывая тем самым корректность поляризационных измерений.

Во II главе описываются калибровочные измерения и методика обработки и анализа экспериментальных данных. Дается характеристика математического обеспечения, созданного для анализа экспериментальных данных. Описываются процедуры определения координаты по информации о времени дрейфа в камерах Переднего спектрометра. Дается краткое описание процедуры восстановления импульса в Переднем спектрометре². Описана методика восстановления импульса и определения типа частицы в SPES4. Рассмотрена процедура идентификации частиц,

²В анализе данных, проведенном автором реферата, использовалась процедура, разработанная Л.С.Ажгиреем. Она подробно описана в ([1] см. список работ). Также использовалась экстраполированная карта магнитного поля TETHYS, полученная В.Агустийяком, М.Кагарлисом, Р.Куше и Л.Фари ([1] см. список работ)

регистрируемых в Переднем спектрометре по импульсу, информации о времени пролета и потерях энергии в годоскопе. Описывается процедура проведения треков в условии большой загруженности Переднего спектрометра фоновыми событиями. Дается характеристика критериев отбора событий. Идентификация каналов реакции проводилась по недостающей массе нейтральной системы.

В качестве калибровочного процесса использовалась реакция упругого $dp \rightarrow pd$ рассеяния назад в с.д.м., когда в Переднем спектрометре регистрировался медленный дейтрон ($p_d = 0.8$ ГэВ/с), а в SPES4 - быстрый протон ($p_p = 2.92$ ГэВ/с).

Основные характеристики установки и процедуры набора данных приведены в таблице II в диссертации.

В III главе приведены результаты моделирования эксперимента по фазовому объему реакций (рис.4), а также с учетом матричного элемента реакции $p(d, d')X$ в модели Е.Осега (рис.5). Поскольку триггер SPES4 \cap FS предполагал совпадение

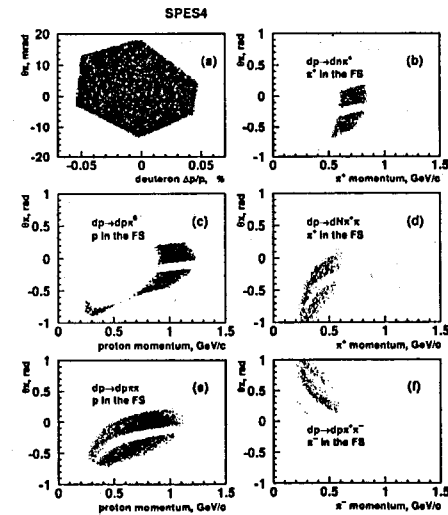


Рис. 4: Аксептансы для различных каналов реакции рассчитанные с помощью пакета GEANT. d' регистрируется в SPES4. События генерировались по фазовому объему с помощью программы GENBOD. а) Импульс-горизонтальный угол рассеянных дейтронов в SPES4. б), в), д), е), ф) Импульс-горизонтальный угол заряженных вторичных частиц в FS для реакции $dp \rightarrow dN\pi(\pi)$.

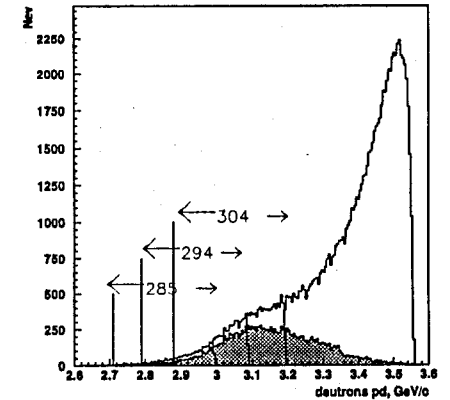


Рис. 5: Импульсный спектр рассеянных дейтронов. Распределение построено с использованием матричного элемента Е.Осега. Штриховкой отмечено возбуждение Роперовского резонанса. Указаны области, соответствующее настройкам спектрометра на центральные импульсы SPES4: 2.85 ГэВ/с, 2.94 ГэВ/с, 3.04 ГэВ/с

между сигналами от SPES4 и Переднего Спектрометра, области углов и импульсов вторичных частиц от различных каналов реакции (1-3), доступные для регистрации,

сильно различались (рис.4(b-f)). Это было использовано для улучшения выделения каналов реакций.

Расчет методом Монте-Карло с учетом матричного элемента, рассчитанного по модели Е.Осета, (рис.5) показывает расположение областей импульсов рассеянных дейтронов, захватываемых при различных настройках SPES4 относительно предполагаемого положения Роперовского резонанса и Δ изобары.

В рамках этой модели, из-за сильной t -зависимости формфакторов дейтрона, положение максимума сечения возбуждения Роперовского резонанса в массовом спектре оказывается сдвинуто относительно номинального значения массы резонанса ~ 1440 МэВ, в сторону меньших масс.

Если это так, то во всей кинематической области, исследованной в эксперименте E-278С должен доминировать Роперовский резонанс.

В IV главе обсуждается анализ данных и результаты измерения тензорной

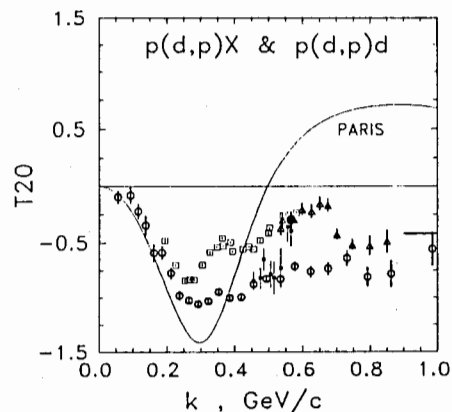


Рис. 6: Данные о T_{20} для реакции $p(d,p)d$ упругого рассеяния назад (ц.м.с.) (светлые квадраты и пустые треугольники из [3,4]) и для $p(d,p)X$ развала дейтрона при 0° при $T_d = 7.4$ ГэВ/с (светлые кружки из [5]) Темный кружок: данные нашего эксперимента для $p(d,p)d$ при $\vartheta_{c.m.} = 180^\circ$ где обе частицы детектируются в совпадении. Маленькие темные квадраты: данные нашего эксперимента для $p(d,p)X$ при $\vartheta_{c.m.} = 180^\circ$. Данные построены как функция переменной светового фронта k (импульс нуклона в дейтроне).

анализирующей способности упругого рассеяния назад $p(d,p)d$ в с.ц.м.. В нашем эксперименте впервые была измерена тензорная анализирующая способность для этой реакции когда обе частицы регистрируются. Полученные данные хорошо

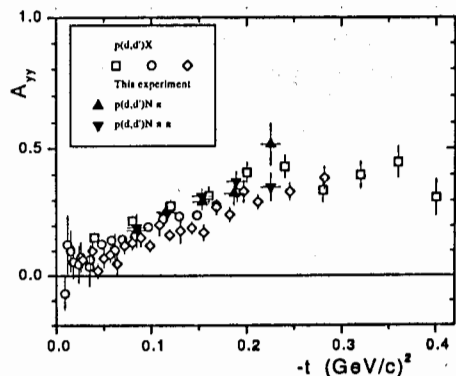


Рис. 7: Сравнение тензорной анализирующей способности A_{yy} для $p(d,d')X$ (данные из [6]) с результатами нашего эксперимента для реакций $dp \rightarrow dn\pi^+$ и $dp \rightarrow dp\pi\pi$. Данные других экспериментов: квадраты, кружки и ромбы соответствуют $p_d = 9$ GeV/c, $p_d = 5.5$ GeV/c, $p_d = 4.5$ GeV/c.

совпали с известными мировыми данными, полученными в экспериментах, где регистрировалась только одна из рассеянных частиц (см. рис.6).

На рис.6 также представлены полученные в нашем эксперименте данные для A_{yy} реакции развала дейтрона $p(d,p)pn$, они также хорошо согласуются с опубликованными в литературе.

В V главе приведены результаты измерения тензорной и векторной анализирующих способностей и обсуждаются основные закономерности их поведения. Результаты измерения тензорной и векторной анализирующих способностей для реакций $dp \rightarrow dn\pi^+$ (π^+ в Переднем спектрометре) и $dp \rightarrow dp\pi^0$ (p в Переднем спектрометре) в зависимости от t и горизонтального угла вылета пиона $\theta_\pi = \arcsin[p_x \cdot (p_x^2 + p_z^2)^{-1/2}]$, показаны на рис.8.

События от реакций $dp \rightarrow dp\pi^0$ и $dp \rightarrow dn\pi^+$ регистрируются в спектрометре SPES4- π в совершенно различных областях углов вылета пионов. Ширина доступной области углов вылета пионов от реакции $dp \rightarrow dp\pi^0$ мала (отбиралась только протоны с импульсом < 0.5 ГэВ/с, см. рис.4(c)), а для $dp \rightarrow dn\pi^+$ эта область достаточно широка (рис.4(b)) и может быть разбита на 3 подобласти. Для каждой из них вычислялось среднее значение угла вылета пиона и A_{yy} вычислялась отдельно для событий из каждой подобласти. A_{yy} и A_y для $dp \rightarrow dn\pi^+$ проявляют сильную угловую зависимость рис.8(g,h), при этом тензорная анализирующая способность оказывается четной функцией угла, а векторная анализирующая способность – нечетной функцией угла, близкой к нулю при нулевых углах вылета пиона. Большая разница между значениями A_{yy} (A_y) измеренных при одинаковых $|t|$ для каналов $dp \rightarrow dp\pi^0$ и $dp \rightarrow dn\pi^+$ объясняется тем, что эти реакции измерялись в различных областях углов вылета пионов.

На рис.9 показаны результаты измерения анализирующих способностей для реакций $dp \rightarrow dN\pi^+\pi^-$ (π^+ в Переднем спектрометре) и $dp \rightarrow dp\pi^+\pi^-$ (p в Переднем спектрометре). В этом эксперименте события от каналов реакции с двумя пионами в конечном состоянии выделялись двумя способами: π^+ или p регистрировались в Переднем спектрометре. Выделения этих каналов по регистрации π^- не производилось из-за малости акцептанса и, соответственно, малой статистики таких событий. Результаты измерения тензорной анализирующей способности для двухпионных каналов, выполненные двумя указанными способами, хорошо совпадают между собой.

Полученные значения анализирующих способностей приведены в таблице II.

VI глава посвящена сравнению полученных анализирующих способностей с известными данными других экспериментов, а также – с результатами моделирования. Отмечено, что разница между тензорной анализирующей способностью A_{yy} для реакций с одним ($dp \rightarrow dn\pi^+$) и двумя ($dp \rightarrow dN\pi\pi$) пионами в конечном состоянии незначительна (см. рис.7). Ожидалось, что двухпионное конечное состояние соответствует чистому сигналу от Роперовского резонанса, тогда как конечное состояние с одним пионом может появиться и за счет распада Роперовского резонанса, и за счет распада Δ -изобары, однако, согласно моделированию с матричным элементом по модели Е.Осета (рис.5) в рассматриваемой области вклад от Δ не превышает $\sim 50\%$ от вклада N^* .

На рис.7 измеренные в нашем эксперименте тензорные анализирующие способности сравниваются с ближайшими по импульсу падающего пучка

известными данными для инклюзивного рассеяния $dp \rightarrow dX$.

Для инклюзивных данных выполняется приближенный скейлинг по $|t|$: чем больше импульс пучка, тем выше A_{yy} , однако наши эксклюзивные данные оказываются систематически выше ближайших по импульсу пучка инклюзивных (4.5 ГэВ/с).

В этой главе также описываются возможные способы феноменологического понимания наблюдаемых закономерностей. Делается сравнение угловых зависимостей анализирующих способностей $dp \rightarrow dN\pi$ каналов реакции с упругим рассеянием пиона на дейтроне $\pi^+d \rightarrow \pi^+d$. При этом спин-зависимые наблюдаемые как функции угла вылета пиона вычисляются с помощью парциально-волновых амплитуд упругого π^+d рассеяния в кинематической области, совпадающей с областью доступной в этом эксперименте.

Наблюдаемая в эксперименте зависимость векторной анализирующей способности от угла вылета пиона может быть описана с помощью "наивной" модели, принимающей за основной подпроцесс упругое π^+d рассеяние виртуального пиона.

Однако, для тензорной анализирующей способности получаются значительные расхождения, связанные по-видимому с недостаточностью базы экспериментальных данных фазового анализа SAID [9] для этой поляризационной наблюдаемой в интересующей нас кинематической области.

В Заключение сформулированы основные физические и методические результаты диссертационной работы:

- Впервые в кинематически переопределенном эксперименте с регистрацией обоих рассеянных частиц измерена тензорная анализирующая способность A_{yy} реакции $dp \rightarrow pd$ упругого рассеяния назад в с.ц.м. при кинетической энергии снаряда выше 1 ГэВ/нуклон. Результаты хорошо совпали с существующими данными полученными в экспериментах, с регистрацией только одной частицы в конечном состоянии.
- Впервые в эксперименте **эксклюзивного типа** измерены тензорная и векторная анализирующие способности неупругого dp рассеяния для каналов реакции с одним и двумя пионами в конечном состоянии.
- Сравнение тензорных анализирующих способностей $dp \rightarrow dn\pi^+$ и $dp \rightarrow dN\pi\pi$ показало отсутствие разницы между ними в пределах статистических ошибок эксперимента в области $t \sim (-0.22; -0.08)$ (ГэВ/с)², соответствующей области эффективных масс $\sim (1.33; 1.48)$ ГэВ/с².
- Наблюдено нарушение скейлинга по $|t|$ для A_{yy} , обнаруженного в инклюзивных экспериментах: эксклюзивные данные оказываются систематически выше ближайших по импульсу пучка инклюзивных.
- Впервые в эксперименте **эксклюзивного типа** изучены зависимости тензорной и векторной анализирующих способностей A_{yy} и A_y реакций $dp \rightarrow dN\pi$ от угла вылета пиона относительно направления импульса снаряда в плоскости реакции.
- Создано математическое обеспечение для обработки данных эксперимента E-278С, проведенного на ускорителе SATURNE-II. Разработанные процедуры и программы могут быть использованы (и уже используются) для обработки данных и планирования других экспериментов. Основные результаты диссертации представлены в 6 работах:

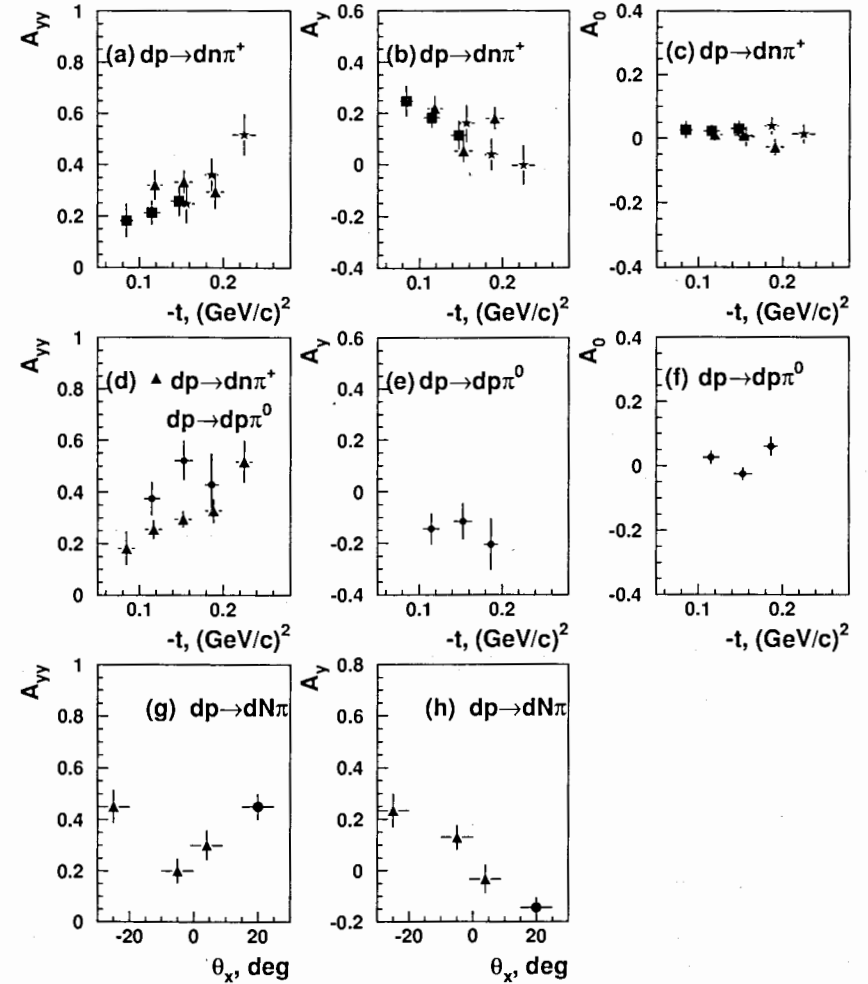


Рис. 8: Экспериментальные данные для спин-зависимых наблюдаемых A_{yy} и A_y в зависимости от t и θ_π для однопионных каналов. На рис.(a,b,c) квадраты соответствуют настройке спектрометра на $p_d=3.04$ ГэВ/с, треугольники - 2.94 ГэВ/с, звезды - $p_d=2.85$ ГэВ/с; а) тензорная анализирующая способность A_{yy} в зависимости от $|t|$; б) векторная анализирующая способность A_y в зависимости от $|t|$; в) ложная асимметрия A_0 в зависимости от $|t|$; д) A_{yy} усредненная по всем настройкам для $dn\pi^+$, π^+ в FS (треугольники), A_{yy} для $dp\pi^0$, p в FS (точки); е) A_y для $dp\pi^0$; ф) A_0 для $dp\pi^0$; г) A_{yy} усредненная по всем настройкам для $dn\pi^+$, π^+ в FS (треугольники), A_{yy} для $dp\pi^0$ (точки) от горизонтального угла вылета пиона θ_π . h) A_y усредненная по всем настройкам для $dn\pi^+$, π^+ в FS (треугольники), A_y для $dp\pi^0$ (точки) от горизонтального угла вылета пиона.

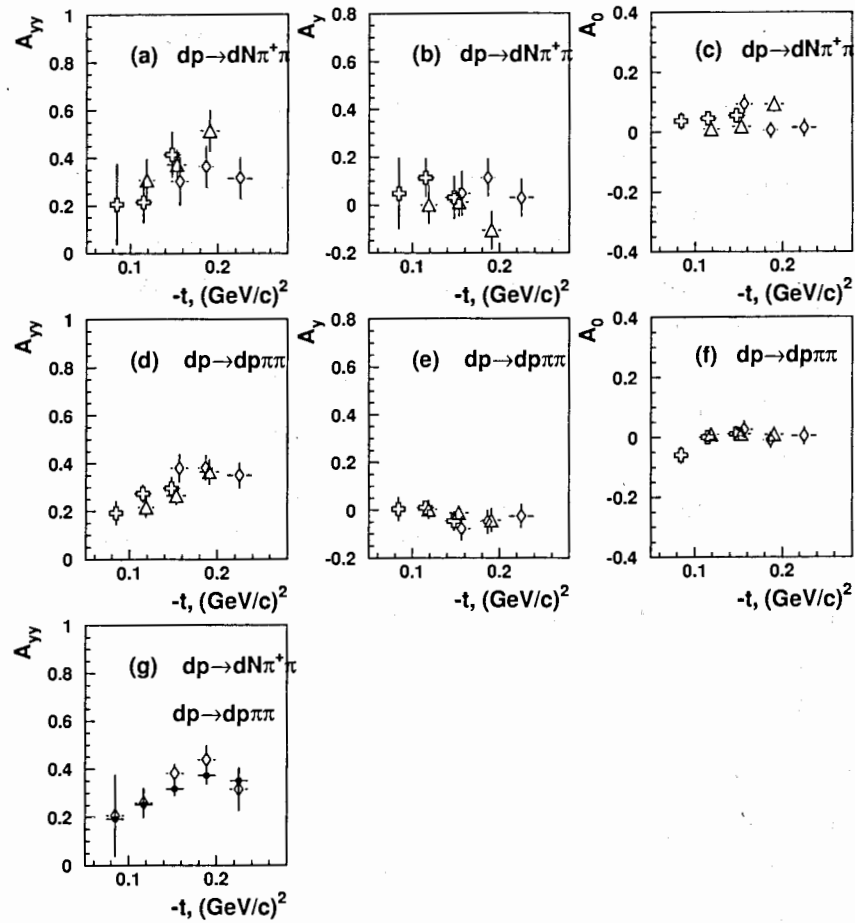


Рис. 9: Экспериментальные данные для спин-зависимых наблюдаемых A_{yy} и A_y в зависимости от t и θ_π для двухпионных каналов. Квадраты соответствуют настройке спектрометра на $p_d=3.04$ ГэВ/с, треугольники - 2.94 ГэВ/с, звезды - $p_d=2.85$ ГэВ/с; а), б), с) для $dN\pi^+\pi^-$, когда π^+ в FS. д), е), ф) для $dp\pi\pi$, когда p в FS. г) Сравнение усредненных по всем настройкам спектрометра A_{yy} для $dN\pi^+\pi^-$ где π^+ регистрируется в FS (пустые ромбы); A_{yy} для $dp\pi\pi$ когда p регистрируется в FS (точки).

Table II. Спин-зависимые наблюдаемые A_{yy} and A_y .

t (ГэВ/с) ²	$\langle t \rangle$ (ГэВ/с) ²	θ_π (градус)	A_{yy}	A_y
$dp \rightarrow dN\pi^+\pi^-, \pi^+$ регистрируется в FS				
		$-36^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 6^\circ$	0.22 ± 0.02	-0.004 ± 0.078
		$-36^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 6^\circ$	0.19 ± 0.01	0.107 ± 0.044
		$-36^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 6^\circ$	0.15 ± 0.01	0.091 ± 0.031
		$-36^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 6^\circ$	0.12 ± 0.01	0.196 ± 0.036
		$-36^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 6^\circ$	0.08 ± 0.03	0.247 ± 0.064
$-0.28 \leq t \leq -0.14$	0.19 ± 0.05	$0^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 8^\circ$	0.349 ± 0.062	-0.011 ± 0.06
$-0.28 \leq t \leq -0.14$	0.19 ± 0.05	$-10^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 0^\circ$	0.262 ± 0.068	0.051 ± 0.06
$-0.28 \leq t \leq -0.14$	0.19 ± 0.05	$-38^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq -18^\circ$	0.525 ± 0.083	0.161 ± 0.08
$-0.22 \leq t \leq -0.1$	0.15 ± 0.05	$0^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 8^\circ$	0.307 ± 0.056	-0.033 ± 0.055
$-0.22 \leq t \leq -0.1$	0.15 ± 0.05	$-10^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 0^\circ$	0.259 ± 0.048	0.130 ± 0.045
$-0.22 \leq t \leq -0.1$	0.15 ± 0.05	$-38^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq -18^\circ$	0.411 ± 0.065	0.234 ± 0.064
$-0.17 \leq t \leq -0.07$	0.12 ± 0.05	$0^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 8^\circ$	0.268 ± 0.079	-0.041 ± 0.072
$-0.17 \leq t \leq -0.07$	0.12 ± 0.05	$-10^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 0^\circ$	0.123 ± 0.052	0.197 ± 0.051
$-0.17 \leq t \leq -0.07$	0.12 ± 0.05	$-38^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq -18^\circ$	0.425 ± 0.098	0.298 ± 0.091
$dp \rightarrow dp\pi^0, p$ регистрируется в FS				
$-0.28 \leq t \leq -0.14$	0.19 ± 0.02	$6^\circ \leq \theta_{\pi^0} \leq 36^\circ$	0.428 ± 0.120	-0.204 ± 0.110
$-0.22 \leq t \leq -0.1$	0.15 ± 0.02	$6^\circ \leq \theta_{\pi^0} \leq 36^\circ$	0.521 ± 0.076	-0.115 ± 0.071
$-0.17 \leq t \leq -0.07$	0.12 ± 0.02	$6^\circ \leq \theta_{\pi^0} \leq 36^\circ$	0.374 ± 0.065	-0.144 ± 0.061
$dp \rightarrow dN\pi^+\pi^-, \pi^+$ регистрируется в FS				
		$-56^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 0^\circ$	0.22 ± 0.01	0.031 ± 0.086
		$-56^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 0^\circ$	0.19 ± 0.01	0.005 ± 0.060
		$-56^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 0^\circ$	0.15 ± 0.01	0.048 ± 0.046
		$-56^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 0^\circ$	0.12 ± 0.01	0.053 ± 0.060
		$-56^\circ \leq \theta_{\pi^+} \leq 0^\circ$	0.08 ± 0.03	-0.10 ± 0.16
$dp \rightarrow dp\pi\pi, p$ регистрируется в FS				
		$-60^\circ \leq \theta_{\pi^{(-,+,\circ)}} \leq 60^\circ$	0.22 ± 0.01	0.026 ± 0.048
		$-60^\circ \leq \theta_{\pi^{(-,+,\circ)}} \leq 60^\circ$	0.19 ± 0.01	0.046 ± 0.036
		$-60^\circ \leq \theta_{\pi^{(-,+,\circ)}} \leq 60^\circ$	0.15 ± 0.01	0.036 ± 0.026
		$-60^\circ \leq \theta_{\pi^{(-,+,\circ)}} \leq 60^\circ$	0.12 ± 0.01	0.036 ± 0.027
		$-60^\circ \leq \theta_{\pi^{(-,+,\circ)}} \leq 60^\circ$	0.08 ± 0.03	0.005 ± 0.048

[1] Momentum reconstruction procedure for nonfocusing spectrometer with wide-aperture analyzing magnet and nonuniform field.

L. S. Azhgirey *et al.* JINR Rapid Comm., 2[94]-99, 5 (1999)

[2] Calibration of SPES4- π set-up in experiments on SATURNE-II.

L.V. Malinina and E.A. Stokovsky, Particles and Nuclei Lett., 3[100], 86 (2000).

[3] Analyzing powers of inelastic dp scattering in the energy region of Delta and Roper resonances excitation.

L.V. Malinina *et al.*, preprint JINR, E1-2001-36, Dubna, 2001; submitted at Ph.Rev.C.

[4] Measurement of the tensor analyzing power A_{yy} of inelastic $p(dd')$ scattering in the energy region of Delta and Roper resonances excitation with SPES4- π at SATURNE-II.

L.V. Malinina *et al.*, preprint JINR, E1-2001-12, in Proc. of the XV International Seminar on High Energy Physics Problems (ISHEPP XV), Dubna, 2000.

[5] Study of Delta and Roper resonances excitation in light nuclei induced reaction.

E.A. Stokovsky *et al.*, Few Body Systems, Suppl. 10, 495 (1999)

[6] Study of inelastic (dd') scattering in exclusive experiment at SPES4- π at SATURNE-II.

G.D. Alkhazov *et al.*, in Proc. of the XIV International Seminar on High Energy Physics Problems (ISHEPP XIV), ed. A.M. Baldin, V.V. Burov, v.II, p.136, Dubna, 2000.

Список литературы

- [1] N. Isgur and G. Karl, Phys. Rev. D **18**, 4187, (1978); S. Capstick and N. Isgur, Phys. Rev. D **34**, 2809, (1986).
- [2] А.П. Балдина и др., Релятивистская ядерная физика-от сотен МэВ до ТэВ, Труды Международного Совещания, Болгария, Варна, стр 349.(1998)
- [3] E. Oset, E. Shiino, H. Toki, Phys. Lett., B**224**, 249 (1989); P. Fernandez de Cordoba, E. Oset, Nucl. Phys. A**544**, 793 (1992); P. Fernandez de Cordoba *et al.*, Nucl. Phys. A **586**, 586 (1995).
- [4] L.S. Azhgirey *et al.*, Phys. Lett. B**391**, 22, (1997); YaF 61, 494, (1998).
- [5] V. Punjabi *et al.*, Phys. Lett. B**350**, 178, (1995).
- [6] L.S. Azhgirey *et al.*, Phys. Lett. B**387**, 37, (1996)
- [7] L. S. Azhgirey *et al.*, Phys. Lett. B **361**, 21 (1995); L. S. Azhgirey *et al.* JINR Rapid Comm., 2[88]-98, 17 (1998).
- [8] M. P. Rekaló and E. Tomasi-Gustafsson, Phys. Rev. C. **54**, 3125 (1996). ; M. P. Rekaló, E. Tomasi-Gustafsson *et al.*, Phys. Rev. C. **59**, 1526 (1999).
- [9] R.A.Arndt, I.I.Strakovsky and R.L.Workman, Phys. Rev. C. **50**, 1796 (1994).

Рукопись поступила в издательский отдел
30 мая 2001 года.