государственный научный центр российской федерации
институт физики высоких энергий

На правах рукописи
2003–xx

Мочалов Василий Вадимович

Односпиновая асимметрия инклюзивного образования π^0 мезонов в центральной области и области фрагментации поляризованной мишени при энергии 40 ГэВ

01.04.23 — физика высоких энергий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико–математических наук

Протвино 2003

УДК 539.1.07 М–24

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий (г.Протвино).

Научный руководитель – доктор физико-математических наук А.Н. Васильев.

Официальные оппоненты: доктор физико–математических наук, академик РАН С.С. Герштейн (ОТФ, ИФВЭ), доктор физико–математических наук В.П. Канавец (ИТЭФ).

Ведущая организация: Объединенный Институт Ядерных Исследований (Дубна).

Защита диссертации состоится "______" ________________ 2003 г. в ________ часов на заседании диссертационного совета К 034.02.01 при Институте физики высоких энергий по адресу: 142281, Протвино Московской обл..

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФВЭ.

Автореферат разослан "________" ____________________ 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Ю.Г.Рябов

Общая характеристика работы

Понятие спина является фундаментальной характеристикой элементарных частиц. Среди поляризационных измерений односпиновые асимметрии при высоких энергиях с участием нуклоном являются наиболее загадочными и интересными. Многие из них значительны по величине, а их причина связана с новыми и трудноуловимыми характеристиками партонной адронизации и/или функций распределения. С точки зрения пертурбативной КХД односпиновые эффекты должны быть малы. Но уже первые эксперименты с поляризованными мишенями обнаружили значительные асимметрии в упругих реакциях и реакциях перезарядки. Была обнаружена значительная поляризация гиперонов. В 70-е-90-е годы было проведено несколько экспериментов, в которых была обнаружена значительная величина односпиновой асимметрии в инклюзивном рождении π-мезонов.

Целью данной работы является измерение односпиновой асимметрии в инклюзивном рождении нейтральных мезонов в разных кинематических областях при энергиях 40 и 70 ГэВ, сравнение полученных результатов с имеющимися экспериментальными данными и теоретическими моделями, поиск общих закономерностей. В диссертацию вошли результаты, полученные в течение 15-ти лет на ускорителе ИФВЭ на трех модификациях экспериментальной установки ПРОЗА в разных кинематических областях для четырех различных реакций. В диссертацию вошли результаты по измерению асимметрии в реакциях:

$$\pi^- + d_\uparrow \to \pi^0 + X \tag{1}$$

$$\pi^- + p_\uparrow(d_\uparrow) \to \eta + X \tag{2}$$

$$p + p_\uparrow \to \pi^0 + X \tag{3}$$

в *центральной области*, то есть под углом 90°в системе центра масс и в реакции

$$\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X \tag{4}$$

в области *фрагментации поляризованной протонной мишени.*

Помимо представленных в диссертации, существует всего шесть других мировых результатов по измерению асимметрии в инклюзивном рождении π^0-мезонов.

При выполнении данной работы были получены следующие **новые результаты**, которые **выносятся на защиту**:

- Измерена односпиновая асимметрия в реакции $\pi^- + d_\uparrow \to \pi^0 + X$ в центральной области (под углом 90° в системе центра масс) при импульсе частиц пучка 40 ГэВ/с.
- Измерена односпиновая асимметрия в реакции $\pi^- + p_\uparrow(d_\uparrow) \to \eta + X$ в центральной области при 40 ГэВ/с.
- Измерена односпиновая асимметрия в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ в области фрагментации поляризованной мишени при 40 ГэВ/с.
- Измерена односпиновая асимметрия в реакции $p + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ в центральной области при энергии пучка 70 ГэВ.
- Обнаружен экспериментальный факт возникновения односпиной асимметрии инклюзивного образования π -мезонов при одной и той же энергии вторичной частицы в системе центра масс.

При получении результатов разработан метод вычисления односпиновой асимметрии π^0-мезонов одноплечевым спектрометром.

Результаты, приведенные в диссертации, опубликованы в работах [1]–[15], в журналах “Ядерная Физика”, “Приборы и техника эксперимента”, Physics Letters B, трудах международных конференций, препринтах ГНЦ ИФВЭ. Результаты докладывались на международной школе по спиновым явлениям, сессии отделения физики РАН, семинарах ОЭФ ГНЦ ИФВЭ. **Апробация диссертации** прошла в ГНЦ ИФВЭ 27 августа 2003 г.

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Объем диссертации — 135 страниц печатного текста, в том числе 70 рисунков и 25 таблиц; библиография включает 110 наименований.

Содержание работы

В **Главе 1** рассматриваются существующие экспериментальные результаты и теоретические модели, в которых большие односпиновые асимметрии объясняются введением дополнительного поперечного импульса кварка $\boldsymbol{k}_T$ в поляризованном нуклоне в *начальном* (механизм Сиверса) или в *конечном состоянии* (механизм Коллинза); вкладом высших твистов; влиянием орбитального момента валентных кварков (Берлинская модель); или кварк-антикваркового облака внутри конституентного кварка (кварковая модель для U-матрицы); взаимодействием магнитного момента кварков с хромомагнитным полем; образованием резонансов или возбужденных состояний.

Глава 2 содержит описание установки. Измерения проводились на 14-м канале ускорительного комплекса У70. При проведении исследований использовались три различные модификации экспериментальной установки ПРОЗА-М, которые использовали одинаковые принципы регистрации частиц и аналогичные детекторы. На **рис. 1** показана схема экспериментальной установки в сеансе 1996 года.

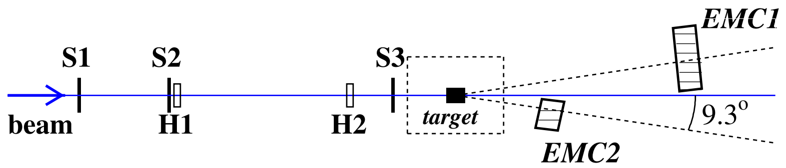

Рис. 1. Схема экспериментальной установки ПРОЗА-М в 1996 году. S1-S3 – сцинтилляционные счетчики полного потока; H1-H2 – годоскопы; EMC1 и EMC2 – электромагнитные калориметры; *target* – поляризованная мишень.

В физических измерениях использовались пучок отрицательных адронов с импульсом 40 ГэВ/с, пучок электронов для калибровки детектора с энергией 10 или 27 ГэВ и пучок протонов с энергией 70 ГэВ. Изогнутый монокристалл использовался для вывода протонного пучка непосредственно из вакуумной камеры ускорителя.

Пучковая аппаратура эксперимента состояла из триггерных счетчиков S1-S3 для мониторирования потока частиц; пучковых годоскопов H1-H2 для определения координат падающих на мишень заряженных частиц и пороговых черенковских счетчиков $\check{C}1 - \check{C}3$ для идентификации частиц пучка.

Пучок отрицательных частиц состоял из π^-, K^--мезонов и $\bar{p}$ в пропорции 97.9 : 1.8 : 0.3%. Размер пучка на мишени $\sigma_x \simeq \sigma_y \simeq$ 3.5 мм. Угловая расходимость пучка ± 2.5 мрад по горизонтали и ± 2.5 мрад по вертикали. Интенсивность пучка протонов в сеансе 1996 года находилась в диапазоне $(3 \div 6) \cdot 10^6$ протонов/сброс. Размер пучка $\sigma_x = 4$ мм по горизонтали, и $\sigma_y = 3$ мм по вертикали. Угловые расходимости пучка соответственно 2 мрад и 1 мрад.

В установке ПРОЗА-М использовалась поляризованная мишень замороженного типа с пропандиолом ($C_3H_8O_2$) в качестве рабочего вещества, заключенном в тефлоновую ампулу диаметром 20 мм и длиной 200 мм. Измерение величины поляризации выполнялось методом ядерно-магнитного резонанса. Поляризация мишени составляла 80%. Также использовалась "дейтериевая" ($C_3D_8O_2$) мишень со средним значением векторной поляризации 35%. Набор статистики при одном знаке поляризации мишени продолжался в среднем около двух суток. Реверс поляризации мишени одновременно с ее накачкой занимал около четырех часов.

В качестве детекторов γ-квантов использовались счетчики из свинцового стекла. В физических сеансах использовалось от 144 до 720 счетчиков. Конструкция калориметра позволяла перемещать светоизолированный корпус в горизонтальном и вертикальном направлениях поперек пучка. Энергетическое разрешение калориметра составляло $\sigma(E)/E = 2.5\%$ при энергии 27 ГэВ.

Контроль за энергетической шкалой осуществлялся:

1. мониторированием каждого счетчика электромагнитного детектора при помощи светодиода;

2. мониторированием светодиода;
3. дополнительной калибровкой на массу π^o-мезона. с точностью 0.1% за 5 часов измерений.

При измерении односпиновой асимметрии A_N в реакции $\pi^- + d_\uparrow \to \pi^0 + X$ использовались 10-битные аналого-цифровые преобразователи (АЦП) в сеансе 1988 года и 12-битные АЦП после 1995 года. Триггером нулевого уровня (60 нс) на частицу пучка являлось совпадение сигналов с трех сцинтилляционных счетчиков S1-S3 и срабатывание в каждой из плоскостей годоскопов.

Был разработан триггер первого уровня (350 нс) на суммарное поперечное энерговыделение в калориметре. Суммарный сигнал был пропорционален поперечной энергии $E_T = E \cdot sin\theta$, зарегистрированной детектором.

В **Главе 3** представлены результаты измерений односпиновой асимметрии в реакции $\pi^- + d_\uparrow \to \pi^0(\eta) + X$ в центральной области при 40 ГэВ. Для вычисления асимметрии использовались только события с двумя восстановленными γ-квантами. Следующие критерии использовались для отбора "хороших" событий:

- энергия пары γ-квантов находилась в интервале $5 - 15$ ГэВ;
- эффективная масса пары γ-квантов находилась в диапазоне $70 \div 220$ МэВ/с^2 для π^0-мезона и в диапазоне $480 \div 660$ МэВ/с^2 для η-мезона. Массовый спектр пары γ-квантов показан на **рис. 2**. Фон под массовым пиком π^0-мезона зависел, в принципе, от поперечного импульса p_T и возрастал от 10% при $p_T = 1.8$ ГэВ/с до 20% при $p_T = 3.0$ ГэВ/с. Фон под массовым пиком η-мезона был $\approx 50\%$;
- пары γ-квантов отбирались по углу разлета (по асимметрии энергии $A_E = |E_1 - E_2|/(E_1 + E_2)$, E_1, E_2 – энергии γ-квантов) так что, $A_E < 0.8$ для π^0-мезона и $A_E < 0.6$ для η-мезона.

Односпиновая асимметрия A_N определяется как

$$A_N(x_F, p_T) = \frac{1}{P_{target}} \frac{1}{< cos\phi >} \cdot \frac{\sigma_\uparrow^H(x_F, p_T) - \sigma_\downarrow^H(x_F, p_T)}{\sigma_\uparrow^H(x_F, p_T) + \sigma_\downarrow^H(x_F, p_T)}, \qquad (5)$$

где P_{target} – поляризация мишени, $cos\phi$ – азимутальный угол между нормалью к плоскости, задаваемой осью пучка и направлением

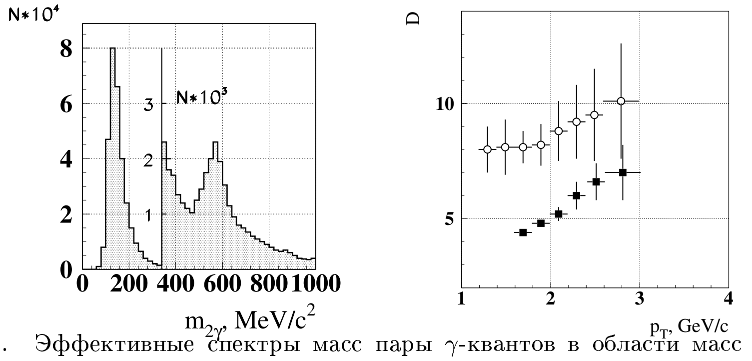

Рис. 2. Эффективные спектры масс пары γ-квантов в области масс π^0- и η-мезона (слева). Справа зависимость фактора разбавления D водородной (пустые кружки) и дейтериевой (заполненные квадраты) мишеней в зависимости от поперечного импульса p_T при измерениях под углом 90°в системе центра масс. Измерения проведены при одних значениях p_T, но сдвинуты относительно друг друга для лучшего восприятия.

вылета π^0-мезона, и вектором поляризации мишени $\sigma_\uparrow^H$ и $\sigma_\downarrow^H$ – сечения образования π^0 - мезонов на водороде при противоположных направлениях вектора поляризации мишени. Азимутальный угол, в котором регистрировались π^0-мезоны составлял $0 \pm 15°$ для EMC1 и $180 \pm 15°$ для EMC2, поэтому значение $\cos\phi$ принималось равным 1 или -1.

Реально измеряемая в эксперименте сырая асимметрия A_N^{raw} для детектора EMC1, связана с физически наблюдаемой величиной A_N (5) выражением

$$A_N = \frac{D}{P_{target}} \cdot A_N^{raw} = \frac{D}{P_{target}} \cdot \frac{n_\uparrow - n_\downarrow}{n_\uparrow + n_\downarrow} \qquad (6)$$

где D – фактор "разбавления" мишени, $n_\uparrow$ и $n_\downarrow$ – нормированные на монитор числа π^0-мезонов, образованных на пропандиоловой мишени при противоположных направлениях вектора поляризации.

Для получения окончательного значения асимметрии согласно формуле (6) был определен фактор разбавления мишени в специальных измерениях на углеродной и на "пустой" мишени (см. **рис.2**).

Сечение на пропандиоловой мишени бралось как усредненное значение для двух противоположных значений поляризации мишени.

Результаты измерений асимметрии A_N в реакции $\pi^- + d_\uparrow \to \pi^0 + X$ приведены в **табл. 1** и на **рис. 3**. При $p_T > 2.2$ ГэВ/с асимметрия велика и превышает по абсолютному значению 30%.

Таблица 1. Асимметрия A_N при энергии 40 ГэВ и $x_F \approx 0$.

p_T, ГэВ/с	$A_N^{\pi^0}$, %	A_N^{η} , %	A_N^{raw} (фон) , %
1.6 – 1.8	3 ± 4	9 ± 8	0.5 ± 0.6
1.8 – 2.0	-14 ± 6	-5 ± 10	0.6 ± 0.7
2.0 – 2.2	-13 ± 9		-0.8 ± 1.0
2.2 – 2.4	-24 ± 15		0.1 ± 1.0
2.4 – 2.6	-47 ± 27	-62 ± 22	
2.6 – 3.2	-100 ± 31		-0.65 ± 1.4

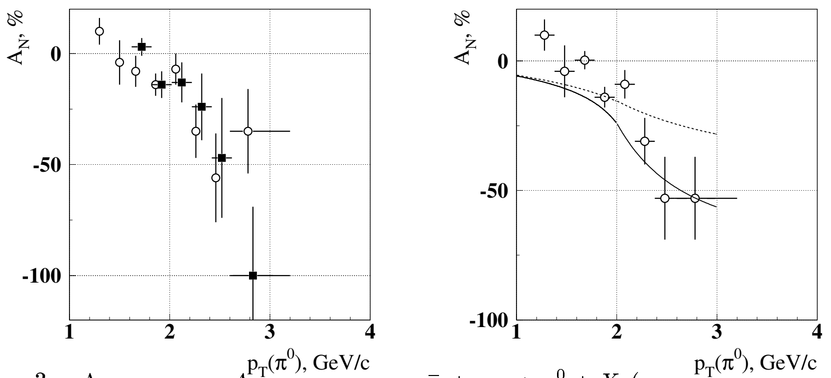

Рис. 3. Асимметрия A_N в реакциях $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ (пустые окружности) и $\pi^- + d_\uparrow \to \pi^0 + X$ (черные квадраты) в зависимости от поперечного импульса p_T (слева). Измерения проведены при одних значениях p_T, точки сдвинуты для лучшего восприятия. Суммарная асимметрия в реакции $\pi^- + N_\uparrow \to \pi^0 + X$ (справа). Сплошная линия – предсказания кварковой модели для U-матрицы[16], пунктирная – для модели с хромомагнитным моментом кварка [17].

Параллельно было проведено измерение в реакции (2). Результаты измерений приведены в **табл. 1**. и на **рис. 4**. При $p_T > 2.2$ ГэВ/с

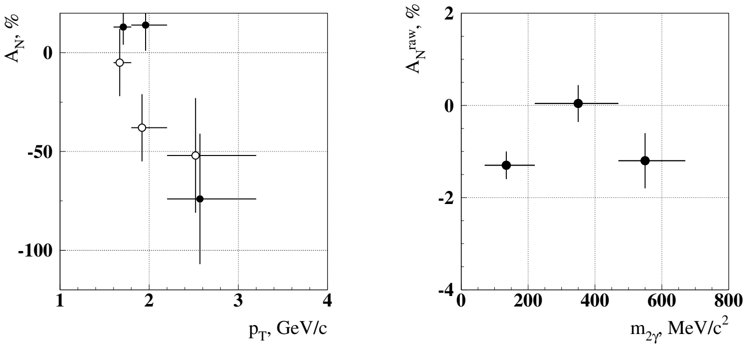

Рис. 4. Зависимость асимметрии A_N в реакции $\pi^- p_\uparrow(d_\uparrow) \to \eta + X$ (слева) и асимметрия пар γ-квантов в зависимости от их массы при $1.8 < p_T < 3.2$ ГэВ/с в области масс π^0 и η-мезонов и между ними (справа).

асимметрия значительна и достигает –50%. Асимметрия не зависит от типа мишени.

Проверка наличия ложной асимметрии осуществлялась несколькими способами:

- Вся статистика для одного знака поляризации разбивалась на два ансамбля событий и им приписывались разные знаки поляризации. Находилась асимметрия для этих двух наборов данных. Найденная асимметрия во всем диапазоне была сравнима с нулем.
- Находилась асимметрия пары γ-квантов в диапазоне масс $220 \div 460$ МэВ/с^2, то есть заведомо в области фоновых событий. Значение измеренной асимметрии приведено в **табл. 1** и на **рис. 4**. Ложная асимметрия при всех значениях поперечного импульса была сравнима с нулем, а при $p_T > 1.8$ ГэВ/с, то есть там, где значение реальной асимметрии π^0- и η-мезонов велико $A_N^{raw}(220 < m_{2\gamma} < 460) = 0.04 \pm 0.4\%$.
- Сравнивалось значение асимметрии для двух детекторов. В пределах ошибок асимметрии совпадают.

Неопределенности результата, связанные с неточным определением фактора разбавления и поляризации мишени не превышают, во-первых, 10%, а, во-вторых, они входят как шкальный множитель при вычислении асимметрии A_N и одинаково сказываются как на значении собственно асимметрии, так и на значении ошибки.

Поведение асимметрии π^0-мезонов в изучаемой реакции в зависимости от поперечного импульса p_T и в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ совпадает в пределах ошибок. Так, асимметрия при значении поперечного импульса $p_T > 2.2$ ГэВ/с равна $(-40 \pm 12)\%$ для реакции $\pi^- + d_\uparrow \to \pi^0 + X$ и $(-39 \pm 9)\%$ для реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$. Суммарное взвешенное значение асимметрии A_N для двух реакций при $p_T > 2.2$ ГэВ/с равно $(-39 \pm 7)\%$.

Было сделано несколько попыток объяснить возникновение асимметрии в центральной области. Предсказания Трошина и Тюрина из работы [16] приведены сплошными линиями на **рис. 3**. Пунктирными линиями на этом же рисунки нанесены предсказания из модели Рыскина. В моделях Коллинза и Сиверса ожидаются малые величины асимметрии. Асимметрия в модели высших твистов убывает с ростом поперечного импульса, что противоречит представляемым экспериментальным данным.

Глава 4 посвящена измерениям асимметрии в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ в области фрагментации поляризованной мишени. Ранее измерения в этой кинематической области не проводились. γ -кванты от распада π°- мезона регистрировались электромагнитным калориметром из 720-ти счетчиков (30 столбцов по 24 счетчика в каждом). Калориметр находился на расстоянии ~ 2.3 м от мишени. Центральные счетчики EMC-720 располагались под углом 30° к центру мишени в горизонтальной плоскости в сеансе 1999 года для измерений при $-0.4 < x_F < -0.1$ и под углом 40° в двух сеансах 2000 года для измерений при $-0.8 < x_F < -0.3$. При анализе данных эксперимента отбирались γ -кванты с энергией от 0.5 до 3.5 ГэВ.

Для проверки алгоритма восстановления гамма-квантов и π^0-мезонов было проведено моделирование электромагнитных ливней в свинцовом стекле в рамках программы GEANT3.21. В результате моделирования обнаружено, что при регистрации низкоэнергичных γ-квантов теряется значительная (до 20%) доля энергии, в основном, из-за порога регистрации электроники. Зависимость отношения регистрируемой энергии к истинной показана на **рис.5**. На этом же рисунке показано, что эффективность реконструкции электромагнитных ливней в калориметре в отсутствие фона превышает 80% при энергии 0.5 ГэВ и близка к 100% при энергиях выше 0.8 ГэВ.

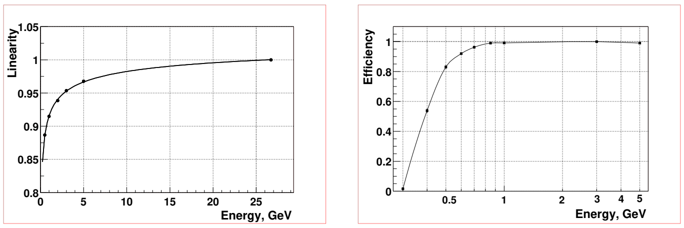

Рис. 5. Доля зарегистрированной калориметром энергии (слева) и эффективность восстановления электромагнитного ливня в детекторе (справа) от истинной энергии γ-кванта при моделировании.

Поправки к энергии ливня, полученные при моделировании, позволили учесть потери энергии и правильно восстановить энергию и массу π^0-мезона. На **рис.6** показан массовый спектр пары гамма-квантов, ширина которого σ_m составляет 15 МэВ/c^2.

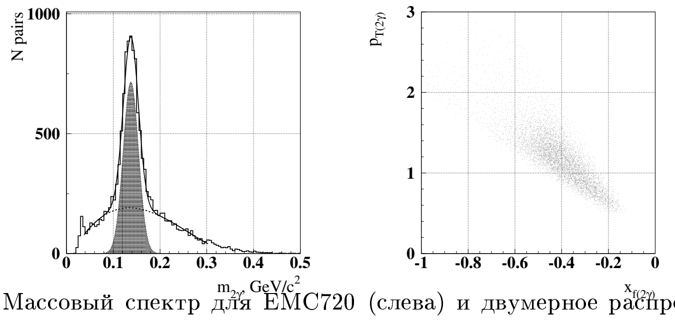

Рис. 6. Массовый спектр для EMC720 (слева) и двумерное распределение π^0-мезонов в зависимости от p_T и x_F (справа).

При измерении A_N может возникнуть дополнительная аппаратурная асимметрия, связанная с дрейфом электроники триггера, просчетами мониторных счетчиков либо другими причинами. Измеренная асимметрия является суммой реальной асимметрии A_N и аппаратурной асимметрии. Для того, чтобы избавиться от этого систематического сдвига асимметрии, был разработан метод, основанный на допущении, что асимметрия фона равна нулю. Под асимметрией фона A_{backgr} подразумевается асимметрия пар гамма-квантов вне массового пика π^0 мезонов. Основанием для такого утверждения служат результаты ранее проведенных экспериментов – ПРОЗА-М (см. результаты **Главы 3**) и Е704[18].

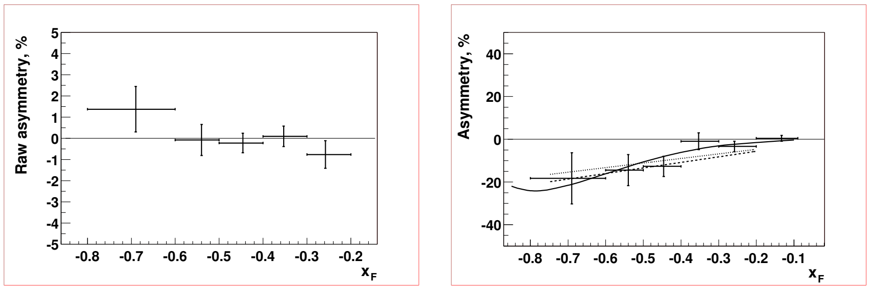

Рис. 7. Зависимость ложной асимметрии от x_F для сеанса весна 2000 г. (слева). Справа представлена асимметрия A_N π^0-мезонов в области фрагментации мишени в зависимости от x_{F}. Разрешение по x_{F} меняется от 0.03 при $-0.3 < x_f < -0.1$ до 0.07 при $-0.8 < x_{\mathrm{F}} < -0.6$. Сплошная линия — расчеты в рамках модели Коллинза; пунктирные линии — предсказания кварковой модели для U-матрицы (две кривые приведены для разных значений значений $\langle L_{\{\bar{q}q\}} \rangle$ – среднего значения углового момента внутри конституентного кварка).

Ложная асимметрия совместима с нулем (результат для одного из трех сеансов представлен на **рис.7** (слева)).

Окончательные результаты с учетом фактора разбавления и поляризации мишени приведены на **рис. 7** (справа). Ошибки определения фактора разбавления D и поляризации мишени, которые составляют около 10%, не учитывались.

Асимметрия инклюзивно рожденных π^0- мезонов в области фрагментации поляризованной частицы измерялась также в экспериментах Е704 при 200 ГэВ и в БНЛ при 20 ТэВ в системе покоя мишени. Результаты трех экспериментов в области *фрагментации поляризованной частицы* приведены в **табл. 2**. Во всех экспериментах абсолютное значение асимметрии возрастает с ростом $|x_F|$ и при больших значениях $|x_F|$ достигает $10 - 15\%$. Отсюда можно заключить, что асимметрия инклюзивно образованного π^0-мезона в обла-

Таблица 2. Результаты измерений A_N в области фрагментации поляризованных протонов в разных экспериментах при $1 < p_T < 2$ ГэВ/с.

Эксперимент	$\|A_N\|$, %
E704, ФНАЛ [19]	12.4 ± 1.4
STAR, БНЛ [20]	14 ± 4
Данный эксперимент	13.8 ± 3.8

сти фрагментации поляризованного протона практически не зависит от энергии в диапазоне 40-20000 ГэВ в лабораторной системе. Измеренная анализирующая способность в данной реакции довольно высока, $10 - 15\%$, а сечение образования π^0-мезонов велико. Таким образом, данная реакция может использоваться для измерения поляризации протонных пучков.

Ранее в эксперименте ПРОЗА-М (см. **Главу 3** и [2]) измерялась асимметрия A_N в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ при импульсе пучка 40 ГэВ/с в центральной области. Асимметрия при этом возрастала по модулю с ростом p_T и достигала -40%. Точка пересечения асимметрией нуля (при фитировании линейной функцией) соответствовала $p_T^0 = 1.67 \pm 0.15$ ГэВ/с. Чтобы сравнить наши новые результаты с работой [2], мы построили зависимость асимметрии от энергии π^0-мезона в системе центра масс.

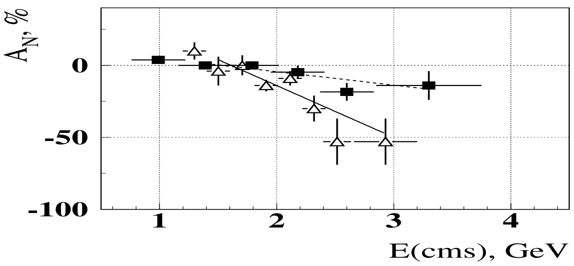

Рис. 8. Асимметрия A_N π^0-мезонов в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ в зависимости от энергии π^0-мезона E в системе центра масс в области фрагментации мишени (■, результаты данного эксперимента) и в центральной области (△, результаты работы [2]).

Асимметрия начинает возрастать по модулю (см. **рис. 8**) при $p_0 = 1.65 \pm 0.2$ ГэВ/с. Так как измерения в [2] проводились под углом 90° в системе центра масс, то p_T^0 был близок к p_0. Таким образом, в обеих кинематических областях асимметрия по модулю начинает возрастать при одной и той же энергии π^0-мезона.

Предсказания односпиновой асимметрии A_N в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ [21] для модели Коллинза, полученные Ансельмино для эксперимента E704 [22,23], приведены на **рис.7** (справа) сплошной линией. Предсказание Ансельмино в рамках модели Сиверса слабо отличается от приведенной кривой. На этом же рисунке пунктирными линиями приведены предсказания кварковой модели для U-матрицы на основании формулы (26) из работы [24] и предположения, что результаты слабо зависят при переходе от энергии 200 ГэВ к 40 ГэВ [25].

В **Главе 5** описаны результаты измерения асимметрии в реакции $p + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ в центральной области при энергии 70 ГэВ. До этого асимметрия в данной реакции в центральной области измерялась в двух экспериментах. В ЦЕРН при энергии 24 ГэВ/с были обнаружены значительные эффекты [26], однако, статистические ошибки эксперимента были велики. Измеренная в Фермилабе асимметрия A_N при энергии пучка 200 ГэВ была равна нулю [27].

Калориметры располагались под углом 9.3° к центру мишени в горизонтальной плоскости, что соответствовало углу 90° в системе центра масс при импульсе пучка 70 ГэВ/с, и перекрывали одинаковый телесный угол, если смотреть из центра поляризованной мишени. ЕМС1 (480 счетчиков, уложенных в виде прямоугольной матрицы 24 столбца по 20 счетчиков в каждом) находился на расстоянии 6.9 м от центра мишени, ЕМС2 (12 столбцов по 12 счетчиков) на расстоянии 2.8 м. В эксперименте измерялась асимметрия π^0-мезонов в диапазоне поперечных импульсов от 1 до 3 ГэВ/с.

Чтобы восстановить π^0-мезоны при энергиях больше 10 ГэВ был использован специальный алгоритм восстановления ливней. Алгоритм реконструкции γ-квантов основан на выделении электромагнитного ливня по известной форме с использованием алгоритма, описанного в работе [28]:

Данный алгоритм позволял разделять перекрывающиеся ливни даже в том случае, если расстояние между ними не превышало один счетчик. Для проверки алгоритма было проведено моделирование методом Монте-Карло. В **табл. 3** показана эффективность алгоритма для энергии пары $E_{2\gamma} = 15$ ГэВ.

Таблица 3. Эффективность алгоритма разделения перекрывающихся ливней при энергии $E_{2\gamma} = 15$ ГэВ в зависимости от расстояния между γ-квантами.

Расстояние (в ячейках)	1.5	1.2	1.0
Эффективность (%)	91	88	71

На **рис. 9** показаны массовые спектры для двух калориметров. Четкие пики π^0-мезона видны при всех значениях p_T в исследуемой области. Разрешение π^0-мезона по массе составило 10 МэВ для дальнего калориметра EMC1 и от 12 до 17 МэВ для EMC2 при разных энергиях π^0-мезонов.

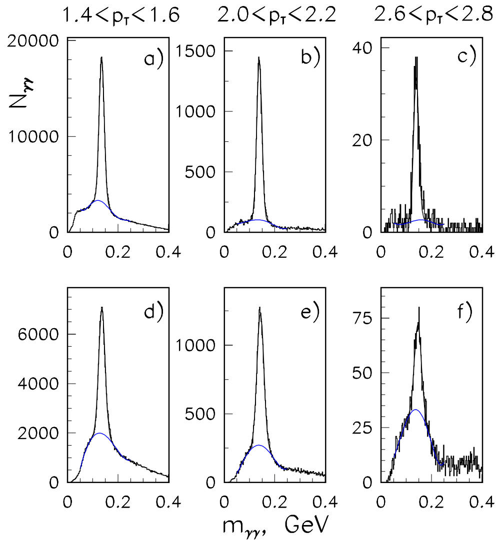

Рис. 9. Массовые спектры для EMC1 ($a-c$) и EMC2 ($d-f$) для разных интервалов поперечных импульсов p_T.

На **рис.10а** показано двумерное распределение кинематическим переменным p_T и x_F. Для проверки качества данных была получена зависимость числа π^0-мезонов, нормированное на прошедший через мишень пучок, от поперечного импульса (см. **рис. 10b**). Результат находится в хорошем согласии с измерениями инвариантных сечений инклюзивного образования заряженных π-мезонов при $p_T > 1.8$ ГэВ/с, полученных на установке ФОДС (Протвино) при энергии 70 ГэВ [29], в которых коэффициент показателя экспоненты сечения π^+- и π^--мезонов составил -5.68 ± 0.02 и -5.88 ± 0.02 $(N/(\text{ГэВ/с}))^{-1}$ соответственно.

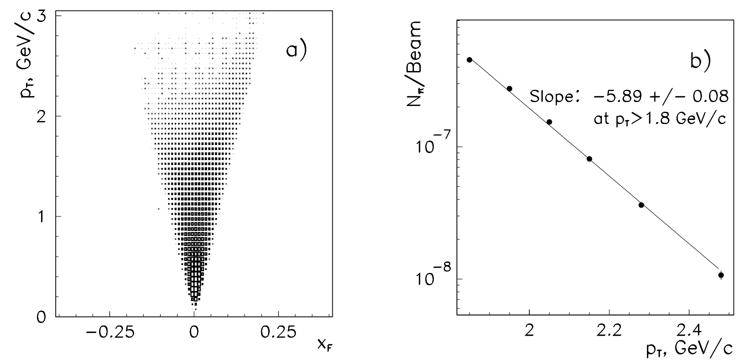

Рис. 10. Двумерное распределение π^0-мезонов по p_T и x_F (a) и зависимость относительного сечения от p_T (b), *Beam* – число пучковых частиц, прошедших через мишень. Разрешение по p_T составляет 0.08 ГэВ/с.

Фактор разбавления был проверен на меньшей статистике. Он хорошо совпадает с прошлыми специальными измерениями. Так, при $p_T \sim 1.8$ ГэВ/с $D = 8.4 \pm 1.2$, а при $p_T \sim 2.1$ ГэВ/с фактор разбавления $D = 9.2 \pm 1.5$. На **рис. 11** показана асимметрия, просуммированная для двух калориметров. Во всем диапазоне измерений асимметрия совпадает с нулем.

Глава 6 посвящена поиску общих закономерностей. При исследовании реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ (см. Главы 3 и 4) было обнаружено, что асимметрия начинает возрастать при значении $E^0_{cms} \approx 1.65$ ГэВ. Были проанализированы данные экспериментов в области фрагментации мишени при 22 и 200 ГэВ. Асимметрия начинает возрастать при одном значении энергии в системе центра масс (см. **рис 12**).

Был проведен анализ всех данных по асимметрии. Результаты приведены на **рис. 13**. Асимметрия инклюзивного рождения π^+ и

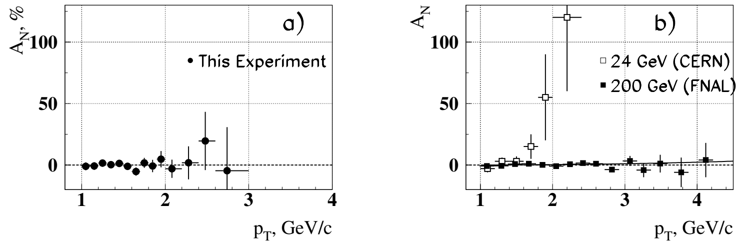

Рис. 11. a) Зависимость суммарной (для обоих детекторов) асимметрии A_N от поперечного импульса. b) Асимметрия при 24 ГэВ [26] и 200 ГэВ[27] в центральной области; кривая показывает расчеты Ансельмино для энергии 200 ГэВ и $x_{\mathrm{F}} = 0$ [23].

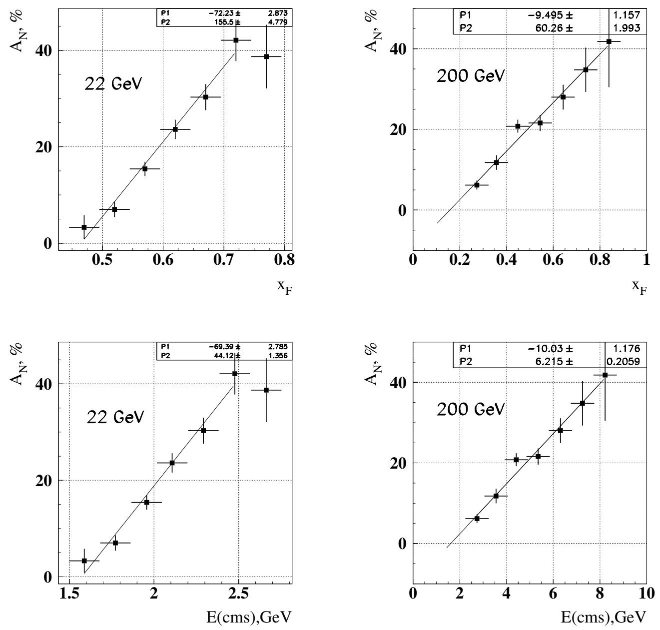

Рис. 12. Зависимость A_N от x_F и полной энергии в системе центра масс в реакции $p_\uparrow + p \to \pi^+ + X$ в области фрагментации поляризованного пучка в экспериментах E925 при 22 ГэВ(слева) и E704 при 200 ГэВ

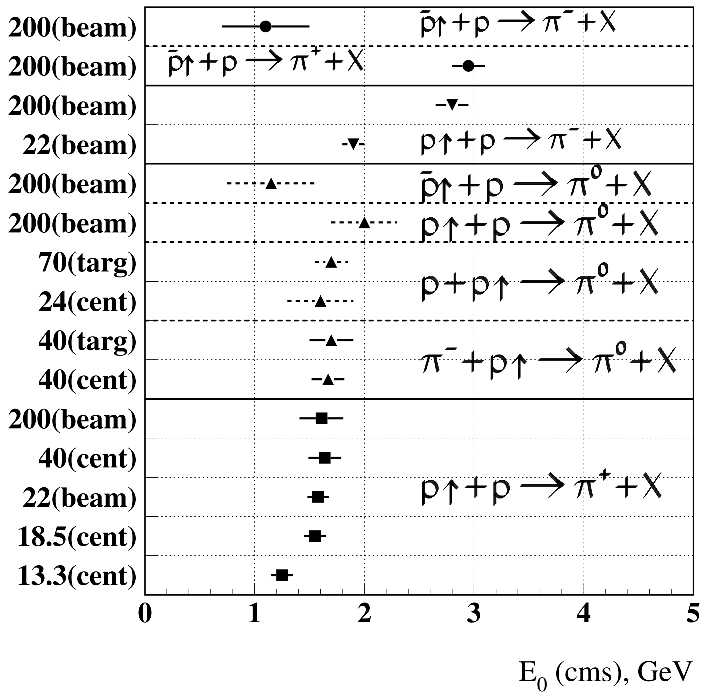

Рис. 13. Точки начала появления асимметрии для разных экспериментов. *cent*–эксперименты в центральной области (при $x_f \approx 0$), *targ* –в области фрагментации мишени, *beam* –в области фрагментации пучка.

π^0-мезонов начинает возрастать при одном и том же значении E^0_{cms} в диапазоне $\sim 1.5 \div 2$. ГэВ. В то же время, для π^--мезонов это не выполняется. Это может быть связано с тем, что π^+-мезоны образуются от валентных u-кварков, поляризация которых совпадает с поляризацией протона и их число больше, чем других кварков. При образовании π^--мезонов вклад могут давать и другие каналы, при этом соотношение вкладов каналов может зависеть не только от энергии вторичной частицы в системе центра масс, но и от энергии системы центра масс $\sqrt{s}$. Поэтому асимметрия π^--мезонов в

$p_\uparrow p$ взаимодействии во всех случаях начинает возрастать при больших значениях E_{cms}, чем для π^+-мезонов и это приводит к разному значению точки возникновения асимметрии π^--мезонов при разных энергиях. Если указанное предположение верно, то в $\bar{p}_\uparrow p$-взаимодействии асимметрии π^+- и π^--мезонов должны по отношению к $p_\uparrow p$ взаимодействию поменяться местами, что и наблюдается в эксперименте — асимметрия π^+-мезона начинает возрастать при том же самом значении E^0_{cms}, что и асимметрия π^--мезона в $p_\uparrow p$ взаимодействии, а поведение асимметрии в реакции $\bar{p}_\uparrow + p \to \pi^- + X$ аналогично поведению асимметрии в реакции $p_\uparrow + p \to \pi^+ + X$.

Был обнаружен факт, что для π-мезона, родившегося от кварка, число которых в адроне больше и поляризация которого совпадает с поляризацией адрона, асимметрия начинает возрастать при одном и том же значении E^0_{cms}.

Обнаруженная универсальность величины E^0_{cms} может указывать на существование универсальных подструктур в адронах — конституентных кварков Концепция конституентных кварков широко обсуждалась в начале кварковой эры, но только недавно получила возможное прямое экспериментальное доказательство в лаборатории им. Джефферсона[30]. Односпиновая асимметрия может появляться при возбуждении конституентного кварка. Величина E^0_{cms} может быть связана с минимальной энергией возбуждения.

В конце глав 3–6 приведены выводы по исследованиям. **В заключении** сформулированы основные результаты диссертации:

Основные результаты

Проведено измерение A_N инклюзивно рожденных π^0-мезонов в области фрагментации поляризованной мишени и под углом 90° в системе центра масс:

1. При участии диссертанта подготовлена установка ПРОЗА-М и проведен набор данных в реакции $\pi^- + d_\uparrow \to \pi^0 + X$ в сеансах 1986-1988 годов. Подготовлен пакет программ и проведен анализ набранных данных, приводящих к следующим выводам:

- Односпиновая асимметрия A_N инклюзивного рождения в реакции $\pi^- + d_\uparrow \to \pi^0 + X$ в центральной области при значении поперечного импульса $p_T > 2.2$ ГэВ/с велика и равна $(-40 \pm 12)\%$ при энергии пучка 40 ГэВ.

- Асимметрия одинакова для рассеянии π^- на поляризованных водородной и дейтериевой мишенях, то есть не зависит от типа поляризованной мишени. Суммарное значение асимметрии A_N для реакций $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ и $\pi^- + d_\uparrow \to \pi^0 + X$ при $p_T > 2.2$ ГэВ/с равно $(-39 \pm 7)\%$.
- При значениях поперечного импульса $p_T < 1.6$ асимметрия сравнима с нулем.
- Асимметрия инклюзивного рождения η-мезонов также велика и достигает $(-62 \pm 22)\%$ при $p_T > 2.2$ ГэВ/с.
- В то же время асимметрия комбинаторной пары γ-квантов в области масс между массами π^0- и η-мезонов совместима с нулем.
- Расчеты в рамках кварковой модели для U-матрицы хорошо описывают экспериментальные данные.

2. При участии диссертанта подготовлена экспериментальная установка ПРОЗА-2 и проведен набор данных в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ в сеансах 1999-2000 годов. Соискателем подготовлен пакет программ для анализа данных “в линию” и “вне линии”. Подготовлены алгоритмы реконструкции событий и проведен анализ набранных данных. Основные выводы данного исследования заключаются в следующем:

- Впервые измеренная асимметрия в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ равна $A_N = (-13.8 \pm 3.8)\%$ при $-0.8 < x_F < -0.4$ и p_T в диапазоне от 1 до 2 ГэВ/с.
- При $-0.4 < x_F < -0.1$ ГэВ/с и p_T в диапазоне от $0.5 - 1.5$ ГэВ/с асимметрия сравнима с нулем.
- Асимметрия в области $|x_F| > 0.4$ совместима с измерениями во ФНАЛ (E704, 200 ГэВ) и БНЛ (20 ТэВ в системе покоя мишени) в области фрагментации поляризованного протонного пучка. Экспериментально установлено, что асимметрия возникает в области фрагментации поляризованного протона и не зависит от того, является ли этот протон пучковой частицей, или частицей мишени.
- инклюзивное рождение π^0-мезона в области фрагментации поляризованного протона может использоваться для измерения поляризации протонного пучка.

– –

- Существующие теоретические модели хорошо описывают полученные данные.

3. Модернизирована экспериментальная установка ПРОЗА-М и проведен набор данных в реакции $p + p_{\uparrow} \to \pi^0 + X$ в 1996 году. Впервые проведены исследования на пучке протонов, выведенном с помощью изогнутого монокристалла из ускорителя с жесткой фокусировкой. Основные выводы измерений в данной реакции заключаются в следующем:

- Асимметрия в реакции $p + p_{\uparrow} \to \pi^0 + X$ при 70 ГэВ в области $1.0 < p_T < 3.0$ ГэВ/с совместима с нулем в пределах ошибок, что хорошо согласуется с результатами E704 при 200 ГэВ и отличается от результатов, полученных при 24 ГэВ в ЦЕРН. Асимметрия в области энергий от 70 до 200 ГэВ действительно мала. Если существует зависимость асимметрии от энергии, то это происходит при изменении энергии пучка от 24 до 70 ГэВ.
- Предсказания теоретических моделей не противоречат полученным результатам.

4. Из совокупности всех проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

- Из сравнения результатов измерений асимметрии в реакции $\pi^- + p_{\uparrow} \to \pi^0 + X$ ($\pi^- + d_{\uparrow} \to \pi^0 + X$) в центральной области под углом 90° в системе центра масс и в области фрагментации поляризованной мишени следует, что абсолютное значение асимметрии при 40 ГэВ начинает возрастать при одном и том же значении импульса π^0-мезона в системе центра масс $p_0 \approx 1.65$ ГэВ/с для двух различных кинематических областей.
- Сравнивая результаты в реакции $p + p_{\uparrow} \to \pi^0 + X$ при 70 ГэВ и реакциях $\pi^- + p_{\uparrow} \to \pi^0 + X$ ($\pi^- + d_{\uparrow} \to \pi^0 + X$) при 40 ГэВ в одной и той же кинематической области (под углом 90°в системе центра масс), можно сделать вывод, что асимметрия зависит от сорта взаимодействующих частиц. Иначе следует предположить значительное изменение динамики взаимодействия при изменении энергии пучка от 40 до 70 ГэВ.
- Большое значение асимметрии в реакции $\pi^- + d_{\uparrow} \to \pi^0 + X$ указывает на значительный вклад валентных кварков в инклюзивное рождение π^0-мезонов при поперечных импульсах $p_T > 2.2$ ГэВ/с и

$x_F \approx 0$. Если в $pp_\uparrow$-взаимодействии из-за противоположных по знаку поляризаций u- и d-кварков в протоне и перемешивания каналов из поляризованного и неполяризованного протона может происходить сокращение асимметрии, то в случае $\pi^- p_\uparrow$ взаимодействия большая асимметрия может возникнуть при образовании π^0-мезона из валентных $\bar{u}$-кварка от падающего π^-мезона и u-кварка из поляризованного протона.

- Модели, где большие эффекты объясняются орбитальным моментом кварков, наиболее полно отражают существующие экспериментальные данные, тогда как модели на основе механизмов Сиверса, Коллинза и высших твистов хорошо объясняют результаты в области фрагментации поляризованной частицы.

5. Проведен анализ всех существующих данных инклюзивного рождения π-мезонов. В результате данного анализа обнаружен экспериментальный факт, что в большинстве экспериментов асимметрия начинает возрастать при энергии вторичной частицы в системе центра масс в диапазоне $1.5 - 2.0$ ГэВ/с. Это не зависит от начальной энергии пучка и угла вылета частицы.

6. Данный факт может служить экспериментальным указанием на наличие конституентных кварков, где энергия E_0 в системе центра масс определяет энергию связи возникающей $q\bar{q}$ пары и не зависит от энергии пучка.

Список литературы

[1] V.D. Apokin, Yu.I. Arestov, O.V. Astafev, N.I. Belikov, B.V. Chuiko, A.A. Derevshchikov, O.A. Grachov, Yu.A. Matulenko, A.P. Meshchanin, A.A. Morozov, **V.V. Mochalov**, A.I. Mysnik, S.B. Nurushev, D.I. Patalakha, A.F. Prudkoglyad, V.L. Rykov, L.F. Solovev, V.L. Solovyanov, A.N. Vasilev (Serpukhov, IHEP), N.S. Borisov, Yu.M. Kazarinov, B.A. Khachaturov, M.Yu. Liburg, V.N. Matafonov, A.B. Neganov, Yu.A. Usov (Dubna, JINR), Yu.Sh. Bagaturiya, L.N. Glonti, G.G. Macharashvili, A.I. Ocherashvili, T.M. Sakhelashvili (Tbilisi State U.): **REVEALING OF ESSENTIAL SPIN EFFECTS IN HARD COLLISIONS AT 40-GEV.**, Proceedings SPIN-1988 in Minneapolis , vol. 1 149.

[2] M.S. Amaglobeli, Yu.Sh. Bagaturiya, L.N. Glonti, G.G. Macharashvili, A.I. Ocherashvili, T.M. Sakhelashvili, B.G. Chiladze (Tbilisi State U.), V.D. Apokin, Yu.I. Arestov, O.V. Astafev, N.I. Belikov, A.N. Vasilev, O.A. Grachov, A.A. Derevshchikov, G.V. Zholobov, Yu.A. Matulenko, A.P. Meshchanin,

N.G. Minaev, A.A. Morozov, **V.V. Mochalov**, A.I. Mysnik, S.B. Nurushev, D.I. Patalakha, A.F. Prudkoglyad, V.V. Rykalin, V.L. Rykov, L.F. Solovev, V.L. Solovyanov, V.Yu. Khodyrev, B.V. Chuiko (Serpukhov, IHEP), N.S. Borisov, Yu.M. Kazarinov, M.Yu. Liburg, V.N. Matafonov, A.B. Neganov, Yu.A. Usov, B.A. Khachaturov (Dubna, JINR)
MEASUREMENT OF THE SINGLE-SPIN ASYMMETRY IN INCLUSIVE PRODUCTION OF PI0 AND ETA MESONS IN THE CENTRAL REGION AT MOMENTUM 40-GEV/C. Preprint IHEP-1989-37, Sov.J.Nucl.Phys.50:432-437,(1989), ЯФ 50:695-704,(1989)

[3]V.D. Apokin, Yu.I. Arestov, O.V. Astafev, N.I. Belikov, B.V. Chuiko, A.A. Derevshchikov, O.A. Grachov, Yu.A. Matulenko, A.P. Meshchanin, A.A. Morozov, **V.V. Mochalov**, A.I. Mysnik, S.B. Nurushev, D.I. Patalakha, A.F. Prudkoglyad, V.L. Rykov, L.F. Solovev, V.L. Solovyanov, A.N. Vasilev (Serpukhov, IHEP), N.S. Borisov, Yu.M. Kazarinov, B.A. Khachaturov, M.Yu. Liburg, V.N. Matafonov, A.B. Neganov, Yu.A. Usov (Dubna, JINR), Yu.Sh. Bagaturiya, L.N. Glonti, G.G. Macharashvili, A.I. Ocherashvili, T.M. Sakhelashvili (Tbilisi State U.)
OBSERVATION OF SIGNIFICANT SPIN EFFECTS IN HARD COLLISIONS AT 40-GEV/C., Phys.Lett.B243:461-464,1990

[4] В.Д. Апокин, Н.И. Беликов, А.Н. Васильев, Ю.М. Гончаренко, О.А. Грачев, В.Н. Гришин, А.М. Давиденко, А.А. Деревщиков, Ю.А. Ильин, В.А. Кормилицын, Ю.А. Матуленко, В.А. Медведев, Ю.М. Мельник, А.П. Мещанин, Н.Е. Михалин, **В.В. Мочалов** А.И. Мысник, С.Б. Нурушев, Д.И. Паталаха, А.Ф. Прудкогляд, В.Л. Рыков, Л.Ф. Соловьев, В.Л. Соловьянов, Ю.В. Харлов, В.Ю. Ходырев, Б.В. Чуйко, К.Е. Шестерманов, А.С. Якутин, Л.В. Алексеева(*), Л.В. Ногач(*) (ИФВЭ, Протвино), Н.С. Борисов, Э.И. Бунятова, Ю.М. Казаринов, Ю.Ф. Киселев, В.Г. Коломиец, М.Ю. Либург, В.Н. Матафонов, А.Б. Неганов, Б.С. Неганов, Ю.А. Плис, Ю.А. Усов, А.Н. Федоров (Лаборатория ядерных проблем ОИЯИ, Дубна):
Установка ПРОЗА-М для исследования односпиновых асимметрий в инклюзивном образовании нейтральных мезонов на ускорительном комплексе ИФВЭ Препринт ИФВЭ 1997-38, Протвино 1997, Приб.Техн.Эксп. 1998(4), стр. 23

[5] N.I. Belikov, V.I. Belousov, B.V. Chujko, A.M. Davidenko, A.A. Derevshchikov, O.A. Grachov, V.N. Grishin, Yu.V. Kharlov, V.Yu. Khodyrev, Yu.A. Matulenko, V.A. Medvedev, Yu.M. Melnik, A.P. Meschanin, **V.V. Mochalov** , A.I. Mysnik, S.B. Nurushev, D.I. Patalakha, A.I. Pavlinov, V.L. Rykov, K.E. Shestermanov, L.F. Soloviev, V.L. Solovyanov, M.N. Ukhanov, A.N. Vasiliev, A.E. Yakutin, L.V. Alekseeva, L.V. Nogach, M.A. Bychkov, D. Crandell, J. Muldavin, R. Raymond (Institute of High Energy Physics, Protvino); N.S. Borisov, A.N. Fedorov, V.G. Kolomiets, A.A. Lukhanin, V.N. Matafonov, A.B. Neganov, Yu.A. Plis, Yu.A. Usov (Joint Institute of Nuclear Research, Dubna):
PRELIMINARY RESULTS ON RAW ASYMMETRY IN THE π^0 **-**

PRODUCTION ON A POLARIZED TARGET AT 70 GeV (IHEP-JINR PROZA-M Collaboration) preprint IHEP-1997-51, Protvino, 1997

[6] N. Belikov, V. Belousov, B. Chuiko, A. Davidenko, A. Derevshchikov, V. Grishin, Yu. Kharlov, V. Khodyrev, Yu. Matulenko, V. Medvedev, Yu. Melnik, A. Meshchanin, **V. Mochalov** , A. Mysnik, S. Nurushev, D. Patalakha, A. Pavlinov, A. Prudkoglyad, K. Shestermanov, L. Solovev, V. Solovyanov, M. Ukhanov, A. Vasilev, A. Yakutin (Serpukhov, IHEP), O. Grachov, V. Rykov (Wayne State Univ), N. Borisov, E. Bunyatova, A. Fedorov, V. Kolomiets, V. Matafonov, A. Neganov, Yu. Plis, O. Shchevelev, Yu. Usov (Dubna, JINR), D. Crandell, J. Muldavin, R. Raymond (Michigan Univ) A. Lukhanin (Kharkov, KIPT) L. Alekseeva, L. Nogach, M. Bychkov (Moscow State Univ.): **SINGLE SPIN ASYMMETRY OF PI0 MESONS PRODUCED AT $X_F = 0$ IN 70-GEV P P POLARIZED COLLISIONS.** Proceedings 13th International Symposium on High-Energy Spin Physics (SPIN 98), Protvino, Russia, 465.

[7] А.Н. Васильев, В.Н. Гришин, Ю.А. Матуленко, **В.В. Мочалов**, А.И. Павлинов, Л.Ф. Соловьев, В.Л. Соловьянов: **Экспериментальное изучение угловой зависимости электромагнитного ливня** препринт ИФВЭ-1998-72, Протвино, 1998; Приб.Техн.Эксп. 1999(4). стр. 37

[8] А.Н. Васильев, А.М. Давиденко, Ю.А. Матуленко, **В.В. Мочалов**, П.А. Семенов, Л.Ф. Соловьев, В.Л. Соловьянов: **Экспериментальное исследование цифрового триггера на большие p_t** Препринт ИФВЭ 2001-8, Протвино, 2001.

[9] А.Н. Васильев, В.Н. Гришин, А.А. Деревщиков, В.И. Кравцов, Ю.А. Матуленко, В.А. Медведев, Ю.М. Мельник, А.П. Мещанин, Д.А. Морозов, **В.В. Мочалов**, Л.В. Ногач, С.Б. Нурушев, А.Ф.Прудкогляд, П.А. Семенов, Л.Ф. Соловьев, В.Л. Соловьянов ,М.Н. Уханов, В.Ю. Ходырев, К.Е. Шестерманов, А.Е. Якутин *(Институт Физики Высоких Энергий, Протвино)*, Н.С. Борисов, В.Н. Матафонов, А.Б. Неганов, Ю.А. Плис, Ю.А. Усов, А.Н. Федоров *(Объединенный Институт ядерных исследований,Дубна)*, А.А. Луханин *(Харьковский физико-технический институт, Харьков)*: **Измерение односпиновой асимметрии при 40 ГэВ в инклюзивном рождении π^0-мезонов в области фрагментации поляризованной мишени.**, Препринт ИФВЭ 2003-21, принято к публикации в журнал “Ядерная физика”

[10] А.Н. Васильев, В.Н. Гришин, А.М. Давиденко, А.А. Деревщиков, Ю.А. Матуленко, Ю.М. Мельник, А.П. Мещанин, **В.В. Мочалов**, Л.В. Ногач, С.Б. Нурушев, П.А. Семенов, Л.Ф. Соловьев, В.Л. Соловьянов , В.Ю. Ходырев, К.Е. Шестерманов, А.Е. Якутин *(Институт Физики Высоких Энергий, Протвино)*, Н.С. Борисов, В.Н. Матафонов, А.Б. Неганов, Ю.А. Плис, Ю.А. Усов, А.Н. Федоров *(Объединенный Институт ядерных исследований, Дубна)*

А.А. Луханин *(Харьковский физико-технический институт, Харьков)*:
Поиск односпиновой асимметрии в инклюзивном рождении π^0 мезонов в центральной области при энергии протонов 70 ГэВ. Препринт ИФВЭ 2003-22, принято к публикации в журнал "Ядерная физика"

[11] A.M. Davidenko, V.N. Grishin, V.Yu. Khodyrev, V.I. Kravtsov, Yu.A. Matulenko, V.A. Medvedev, Yu.M. Melnick, A.P. Meschanin, **V.V. Mochalov**, D.A. Morozov, L.V. Nogach, S.B. Nurushev, P.A. Semenov, K.E. Shestermanov, $\boxed{\text{V.L. Solovianov}}$, L.F. Soloviev, A.N. Vasiliev, A.E. Yakutin *(IHEP, Protvino,Russia)*, N.S. Borisov, A.N. Fedorov, V.N. Matafonov, A.B. Neganov, Yu.A. Plis, Yu.A. Usov *(JINR, Dubna, Russia)*, A.A. Lukhanin *(KhPTI, Kharkov, Ukraine)*:
Single-Spin Asymmetry in Inclusive π^0 Production Measured at the Protvino 70 GeV Accelerator Presented at "ADVANCED STUDIES INSTITUTE – SYMMETRIES AND SPIN"(SPIN-Praha-2003).

[12] А.Н. Васильев, **В.В. Мочалов**:
Общие особенности односпиновой асимметрии инклюзивного рождения π-мезонов в экспериментах с фиксированной мишенью. Препринт ИФВЭ 2003-хх, представлено в журнал "Ядерная физика"

[13] **V. Mochalov**, S.Troshin, A.Vasiliev
Indication on the universal hadron substructure — constituent quarks. Preprint IHEP 2003-xx, submitted to Phys. Lett.

[14]A.M. Davidenko, V.N. Grishin, V.Yu. Khodyrev, V.I. Kravtsov, Yu.A. Matulenko, V.A. Medvedev, Yu.M. Melnick, A.P. Meschanin, **V.V. Mochalov**, D.A. Morozov, L.V. Nogach, S.B. Nurushev, P.A. Semenov, K.E. Shestermanov, $\boxed{\text{V.L. Solovianov}}$,L.F. Soloviev, A.N. Vasiliev, A.E. Yakutin *(IHEP, Protvino,Russia)* N.S. Borisov, A.N. Fedorov, V.N. Matafonov, A.B. Neganov, Yu.A. Plis, Yu.A. Usov *(JINR, Dubna, Russia)* A.A. Lukhanin *(KhPTI, Kharkov, Ukraine)*
Recent Results from Protvino Polarized Experiment PROZA-M, Presented at X International Workshop on High Energy Spin Physics SPIN-2003, Dubna, September 16-20, 2003

[15]**V.V. Mochalov**, A.N. Vasiliev and S.M. Troshin
Presence of the universal substructures in the hadrons— constituent quarks, Presented at X International Workshop on High Energy Spin Physics SPIN-2003, Dubna, September 16-20, 2003

[16] С.М. Трошин, Н.Е. Тюрин – Препринт ИФВЭ 88-201, Серпухов, 1988

[17]M.G. Ryskin – Sov. J. Nucl. Phys. **48**, 708 (1988)

[18] сотрудничество E704 – частное сообщение

[19] D.L. Adams et al. – FERMILAB-PUB-91-13-E, ANL-HEP-PR-91-10, IFVE-91-49, Jan 1991. 14pp. Z.Phys.C56:181-184,1992

[20] L.C. Bland – SPIN PHYSICS AT RHIC, proceedings of 15th International Spin Physics Symposium (SPIN 2002), Long Island, New York, 9-14 Sep 2002.e-Print Archive: hep-ex/0212013

[21] M. Anselmino – private communication

[22] M. Anselmino, M. Boglione and F. Murgia – *Phys. Rev.* **D60** (1999) 054027

[23]M. Anselmino and F.Murgia – Phys.Lett.B442(1998),470-478 ;hep-ph/9808426

[24] S.M. Troshin and N.E. Tyurin – *Phys. Rev.* **D**52:3862(1995),

[25] С.М. Трошин – частное сообщение

[26] J. Antille *et al.*, *Phys. Lett.* **94**, 523 (1980).

[27] D.L. Adams *et al*, Preprint 94-88, IHEP (Protvino, 1994); *Phys. Rev.* **53**, 4747 (1996).

[28] А.А. Леднев, Препринт ИФВЭ 93-153, Протвино, 1993

[29] В. Абрамов и др., Препринт ИФВЭ 84-88

[30] R. Petronzio, S. Simula and G. Ricco, Phys. Rev. D67, 094004, 2003;