



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2006-20
ОЭФ

В.В. Абрамов, А.А. Волков, П.И. Гончаров, А.Ю. Калинин,
А.В. Кораблев, Ю.П. Корнеев, А.В. Кострицкий, А.Н. Криницын,
В.И. Крышкин, А.А. Марков, В.В. Талов, Л.К. Турчанович,
А.В. Хмельников

**ОДНОСПИНОВАЯ АСИММЕТРИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ
АДРОНОВ С БОЛЬШИМ p_T И ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ x_F
В pA-СОУДАРЕНИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ 40 ГэВ**

Направлено в ЯФ

Протвино 2006

Аннотация

Абрамов В.В. и др. Односпиновая асимметрия заряженных адронов с большими p_T и отрицательными x_F в pA-соударениях при энергии 40 ГэВ: Препринт ИФВЭ 2006-20. – Протвино, 2006. – 10 с., 3 рис., 6 табл., библиогр.: 18.

Измерена поперечная односпиновая асимметрия заряженных адронов ($\pi^\pm, K^\pm, p, \bar{p}$), образующихся в протон-ядерных соударениях. Измерения выполнены на установке ФОДС-2 с использованием поляризованного протонного пучка ИФВЭ с энергией 40 ГэВ и ядерных мишеней (С и Cu). Данные получены в диапазоне углов в с.ц.м. $95^\circ - 112^\circ$ вблизи центральной области ($-0,08 < x_F < -0,06, 0,7 < p_T < 3,4$ ГэВ/ c). Зависимость анализирующей способности от массового числа ядра мишени незначительная. Обсуждаются основные результаты измерений односпиновой асимметрии при трех значениях угла регистрации частиц.

Abstract

Abramov V.V. et al. Single-Spin Asymmetry of Charged Hadrons with Large p_T and Negative x_F in pA-Collisions at 40 GeV: IHEP Preprint 2006-20. – Protvino, 2006. – p. 10, figs. 3, tables 6, refs.: 18.

The transverse single-spin asymmetry has been measured for charged hadrons ($\pi^\pm, K^\pm, p, \bar{p}$), produced in proton-nucleus collisions. The measurements have been performed at FODS-2 experimental setup using IHEP 40 GeV polarized beam and nuclear targets (C and Cu). The data are obtained in c.m. angle range $95^\circ - 112^\circ$ near the central region ($-0.08 < x_F < -0.06, 0.7 < p_T < 3.4$ GeV/ c). The dependence of analyzing power off target nuclei mass is not significant. The main results of the single-spin asymmetry measurements at three different detection angles are discussed.

Введение

Односпиновые асимметрии (A_N) в адрон-адронных взаимодействиях имеют значительно большую (на порядки) величину, чем можно было бы ожидать согласно предсказаниям теории возмущений КХД [1]. Величина A_N слабо меняется в широком диапазоне изменения энергии реакции в с.ц.м. (\sqrt{s}), от 4,9 ГэВ в экспериментах с фиксированной мишенью [2,3,4,5,6] до 200 ГэВ на адронном коллайдере RHIC в BNL [7,8]. Зависимость от других кинематических переменных, таких, как поперечный импульс (p_T), угол образования частиц в с.ц.м. (θ_{cm}) и фейнмановская переменная $x_F = p_Z^{\text{cm}}/p_{\text{max}}^{\text{cm}}$, где p^{cm} – импульс частицы в с.ц.м. налетающего адрона и нуклона мишени, оказывается более существенной и исследована экспериментально недостаточно подробно [9]. Знание детальной зависимости от кинематических переменных, а также от типа адронов A и h в реакциях

$$p^\uparrow + A \rightarrow h + X \quad (1)$$

может оказаться существенным при построении модели, адекватно описывающей всю совокупность имеющихся данных.

Данная работа завершает цикл исследований, выполненных на установке ФОДС-2 (эксперимент SERPUKHOV-175) в двух сеансах 2003 года в трех кинематических областях, соответствующих углам 90 [10], 160 [11] и 230 мрад между осью плеча и направлением пучка в л.с.к. В настоящей работе представлены только данные для номинального угла плеча 230 мрад, что соответствует углам образования π^\pm -мезонов $95^\circ - 112^\circ$ в с.ц.м. налетающего протона с импульсом 40 ГэВ/с и нуклона мишени. В работе приведены результаты измерений односпиновой асимметрии для заряженных адронов ($\pi^\pm, K^\pm, p, \bar{p}$), образующихся в кинематической области, соответствующей большим поперечным импульсам (p_T) и небольшим, отрицательным значениям фейнмановской переменной x_F . Данные при отрицательных значениях переменной x_F и энергии $\sqrt{s} = 200$ ГэВ указывают на совместимую с нулем величину A_N для заряженных пионов [8]. Модели, учитывающие корреляцию поляризации протона с поперечным импульсом кварка в функциях распределения (механизм Сиверса [12]), предсказывают значительную величину A_N при отрицательных x_F и энергиях $\sqrt{s} \leq 20$ ГэВ, в то время как аналогичные корреляции в функциях фрагментации (механизм Коллинза [13]) приводят к незначительной, слабо зависящей от энергии A_N при $x_F < 0$ [14]. Таким образом, измерения A_N при отрицательных x_F и энергиях

$\sqrt{s} \leq 20$ ГэВ оказываются чувствительными к механизму происхождения односпиновых асимметрий и это является одной из причин интереса к области фрагментации неполяризованной мишени.

Данные, полученные в настоящем эксперименте при положительных x_F , указывают на уменьшение $|A_N|$ при уменьшении x_F или угла θ_{cm} [10,11].

Измерения выполнены на двух ядерных мишенях (С и Сu). Использование ядерных мишеней позволяет в 5 – 10 раз увеличить статистику при максимальных значениях $p_T \geq 2,5$ ГэВ/с. Измерения на нескольких ядрах интересны также с точки зрения выяснения возможного влияния ядерной среды на величину поляризационных эффектов [15,11]. В дальнейшем планируется измерение анализирующей способности также на водородной и дейтериевой мишенях.

1. Постановка эксперимента

Измерения выполнены на вертикально поляризованном протонном пучке ускорителя ИФВЭ. Поляризованные протоны образуются при распадах на лету неполяризованных Λ -гиперонов. Смена знака поляризации пучка проходит в течение 30 с каждые 18 минут. Средний импульс поляризованных протонов составляет 40 ГэВ/с, импульсный разброс $\Delta p/p = \pm 4,5\%$, поляризация пучка $P_B = 39 \pm 2\%$, интенсивность до 3×10^7 протонов за сброс. Подробное описание пучка, экспериментальной установки, условий измерений и процедуры обработки можно найти в [9,10].

Анализирующая способность (A_N) измерялась правым (если смотреть по пучку) плечом поворотного магнитного двухплечевого спектрометра ФОДС-2 [16], располагавшимся под углом 230 мрад к оси пучка. Область переменных x_F и p_T , захватываемых плечом спектрометра, составляла $-0,25 \leq x_F \leq -0,05$ и $0,6 \leq p_T \leq 3,6$ ГэВ/с соответственно. Среднее значение x_F в каждом бине по p_T слабо зависит от величины поперечного импульса и составляет величину порядка $-0,07 \pm 0,01$.

В каждом плече спектрометра, после магнита, располагаются дрейфовые камеры для реконструкции траектории частицы, два сцинтилляционных счетчика и адронный калориметр для выработки триггера, спектрометр колец черенковского излучения и пороговый черенковский счетчик для идентификации адронов.

Перед ядерной мишенью толщиной 0,1 длины взаимодействия имеются две плоскости сцинтилляционных годоскопов (32 канала с шагом 3 мм на плоскость). Пучковые годоскопы используются для измерения координат поляризованных протонов в каждом событии и средних X - и Y -координат в течение сброса. Интенсивность пучка и его профили перед мишенью измеряются ионизационными камерами. Ионизационные профилометры используются также для настройки поляризованного пучка.

2. Вычисление анализирующей способности

Для уменьшения систематических погрешностей измерения анализирующей способности проводились при двух полярностях и при двух значениях величины поля ($\pm B$ и $\pm B/2$) в анализирующем магните.

Анализирующая способность вычислялась по формуле

$$A_N^L = \frac{-1}{P_B \cdot \cos \phi} \cdot \frac{N_R^\uparrow - N_R^\downarrow}{N_R^\uparrow + N_R^\downarrow}, \quad (2)$$

где P_B является средней поляризацией протонного пучка (39%), $\cos \phi$ – средний азимутальный угол образования частиц, N_R^\uparrow и N_R^\downarrow – выходы частиц каждого сорта в правом (R) плече, нормированные на число протонов с поляризацией вверх (\uparrow) и вниз (\downarrow) соответственно.

Анализирующая способность (A_N) для каждой экспозиции, соответствующей заданным значениям величины магнитного поля, его знака и порога по энерговыделению в калориметре, определялась независимо. Полученные величины A_N усреднялись, с учетом их статистических ошибок, отдельно для углеродной и медной мишеней. К статистической ошибке суммарной статистики в каждой точке (p_T, x_F) добавлена квадратично систематическая ошибка $\epsilon = 4\%$, связанная с неопределенностью в углах падения пучка на мишень, с точностью измерения его интенсивности и дрейфом пучка и аппаратуры в процессе измерений.

3. Результаты

Результаты измерения анализирующей способности A_N , соответствующие номинальному положению правого плеча ФОДС-2 под углом 230 мрад для инклюзивных реакций (1) на углеродной и медной мишенях, показаны ниже на рисунках и представлены в таблицах для шести типов заряженных адронов (π^\pm , K^\pm , p , \bar{p}). В таблицах указан также средний угол образования частиц в с.ц.м. для реакции на углеродной мишени, который уменьшается от 112° до 95° при увеличении p_T .

3.1. Анализирующая способность для реакций $p^\uparrow + C(\text{Cu}) \rightarrow \pi^\pm + X$

На рис. 1а и в табл. 1 представлена зависимость A_N от p_T для реакций образования π^\pm -мезонов на углеродной и медной мишенях. Имеется указание (на уровне трех стандартных отклонений) на наличие максимума $A_N(p_T)$ при $p_T \approx 1,9$ ГэВ/с, где A_N достигает величины порядка 0,14. Вне области $1,4 \leq p_T \leq 2,3$ ГэВ/с A_N совместима с нулем в пределах ошибок измерений. Среднее значение A_N в указанной выше области по p_T (вблизи возможного максимума) составляет $0,072 \pm 0,024$ и $0,076 \pm 0,025$ для pC - и pCu -взаимодействий соответственно.

Зависимость A_N от p_T для реакций образования π^\pm -мезонов на углеродной и медной мишенях показана рис. 1б и представлена в табл. 2. Величина A_N для π^\pm -мезонов совместима с нулем во всей исследованной области по p_T . Среднее значение A_N в области $0,7 \leq p_T \leq 3,4$ составляет $0,012 \pm 0,018$ и $0,032 \pm 0,023$ для pC - и pCu -взаимодействий соответственно. Следует отметить, что A_N для π^\pm -мезонов близка к нулю также при положительных значениях $x_F \leq 0,3$ [10,11], что объясняется, возможно, значительным вкладом u -кварков и глюонов, компенсирующих в этой области отрицательный вклад в A_N d -кварков.

Зависимость A_N от массового числа A ядра мишени для π^\pm -мезонов – незначительная.

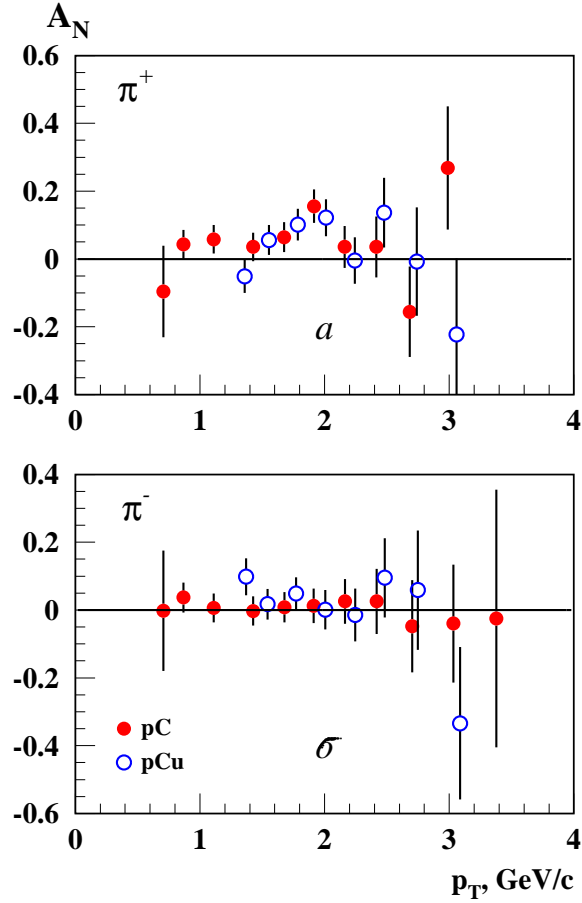


Рис. 1. Зависимости A_N от p_T для реакций $p^\dagger + C(\text{Cu}) \rightarrow \pi^\pm + X$.

Таблица 1. A_N и θ_{cm} для реакций $p^\dagger + C(\text{Cu}) \rightarrow \pi^\pm + X$ как функции p_T и x_F .

p_T , ГэВ/с	x_F	$A_N(\text{pC})$	p_T , ГэВ/с	x_F	$A_N(\text{pCu})$	$\theta_{\text{cm}}(\text{pC})$
0.707	-0.069	-0.10 ± 0.14				112.20°
0.867	-0.062	$+0.043 \pm 0.043$				106.65°
1.111	-0.063	$+0.058 \pm 0.042$	1.358	-0.103	-0.051 ± 0.048	103.34°
1.426	-0.080	$+0.036 \pm 0.042$	1.554	-0.098	$+0.056 \pm 0.044$	103.20°
1.675	-0.079	$+0.064 \pm 0.044$	1.784	-0.091	$+0.101 \pm 0.047$	101.16°
1.915	-0.074	$+0.155 \pm 0.049$	2.011	-0.082	$+0.122 \pm 0.054$	99.18°
2.161	-0.069	$+0.036 \pm 0.062$	2.243	-0.074	-0.004 ± 0.069	97.61°
2.415	-0.068	$+0.036 \pm 0.090$	2.477	-0.068	$+0.14 \pm 0.10$	96.72°
2.684	-0.070	-0.16 ± 0.13	2.740	-0.069	-0.01 ± 0.16	96.22°
2.988	-0.068	$+0.27 \pm 0.18$	3.060	-0.067	-0.22 ± 0.22	95.44°

Таблица 2. A_N и $\theta_{\text{см}}$ для реакций $p^\uparrow + \text{C}(\text{Cu}) \rightarrow \pi^- + X$ как функция p_T и x_F .

p_T , ГэВ/с	x_F	$A_N(p\text{C})$	p_T , ГэВ/с	x_F	$A_N(p\text{Cu})$	$\theta_{\text{см}}(p\text{C})$
0.707	-0.071	-0.00 ± 0.18				112.63°
0.868	-0.061	$+0.037 \pm 0.044$				106.26°
1.110	-0.064	$+0.006 \pm 0.043$	1.370	-0.102	$+0.098 \pm 0.054$	103.46°
1.426	-0.081	-0.003 ± 0.043	1.543	-0.095	$+0.017 \pm 0.045$	103.27°
1.677	-0.081	$+0.008 \pm 0.045$	1.772	-0.088	$+0.048 \pm 0.048$	101.34°
1.913	-0.074	$+0.013 \pm 0.051$	2.006	-0.081	$+0.001 \pm 0.058$	99.12°
2.163	-0.069	$+0.026 \pm 0.066$	2.246	-0.075	-0.015 ± 0.078	97.54°
2.417	-0.069	$+0.026 \pm 0.096$	2.482	-0.068	$+0.10 \pm 0.12$	96.76°
2.702	-0.075	-0.05 ± 0.14	2.749	-0.070	$+0.06 \pm 0.18$	96.57°
3.032	-0.078	-0.04 ± 0.17	3.087	-0.072	-0.33 ± 0.22	96.10°
3.379	-0.074	-0.03 ± 0.38				95.19°

Таблица 3. A_N и $\theta_{\text{см}}$ для реакций $p^\uparrow + \text{C}(\text{Cu}) \rightarrow K^+ + X$ как функции p_T и x_F .

p_T , ГэВ/с	x_F	$A_N(p\text{C})$	p_T , ГэВ/с	x_F	$A_N(p\text{Cu})$	$\theta_{\text{см}}(p\text{C})$
1.342	-0.131	$+0.19 \pm 0.18$	1.385	-0.127	$+0.044 \pm 0.081$	111.95°
1.452	-0.107	$+0.127 \pm 0.051$	1.561	-0.123	$+0.119 \pm 0.053$	106.92°
1.685	-0.101	$+0.106 \pm 0.054$	1.797	-0.113	$+0.037 \pm 0.059$	103.90°
1.913	-0.090	$+0.119 \pm 0.065$	2.021	-0.101	$+0.066 \pm 0.075$	100.99°
2.156	-0.084	$+0.034 \pm 0.091$	2.256	-0.092	$+0.18 \pm 0.11$	99.14°
2.399	-0.076	-0.13 ± 0.14	2.507	-0.086	-0.10 ± 0.16	97.45°
2.681	-0.076	-0.02 ± 0.19	2.770	-0.087	$+0.35 \pm 0.24$	96.68°
2.995	-0.078	-0.27 ± 0.21	3.113	-0.085	$+0.22 \pm 0.27$	96.14°
3.386	-0.085	$+0.01 \pm 0.55$				95.92°

3.2. Анализирующая способность для реакций $p^\uparrow + \text{C}(\text{Cu}) \rightarrow K^\pm + X$

На рис. 2а и в табл. 3 представлена зависимость A_N от p_T для реакций образования K^+ -мезонов в $p\text{C}$ - и $p\text{Cu}$ -соударениях. Как и в случае π^+ -мезонов, A_N положительна при $p_T \leq 2,3$ ГэВ/с, что связано, видимо, со значительным вкладом валентных поляризованных u -кварков в процессах образования π^+ - и K^+ -мезонов в этой области. Среднее значение A_N в области $1,3 \leq p_T \leq 3,4$ составляет $0,108 \pm 0,030$ и $0,089 \pm 0,033$ для $p\text{C}$ - и $p\text{Cu}$ -взаимодействий соответственно.

На рисунке 2б и в табл. 4 показана зависимость A_N от p_T для K^- -мезонов. В пределах экспериментальных неопределенностей A_N согласуется с нулевой величиной, что и ожидается в большинстве моделей, поскольку K^- -мезон не имеет валентных кварков, общих с валентными кварками поляризованного протона, а морские кварки поляризованы незначительно [17]. Среднее значение A_N в области $1,3 \leq p_T \leq 3,1$ ГэВ/с составляет $0,028 \pm 0,043$ и $0,017 \pm 0,057$ для $p\text{C}$ - и $p\text{Cu}$ -взаимодействий соответственно. Не наблюдается существенного различия в величине A_N для ядер C и Cu в случае образования K^\pm -мезонов.

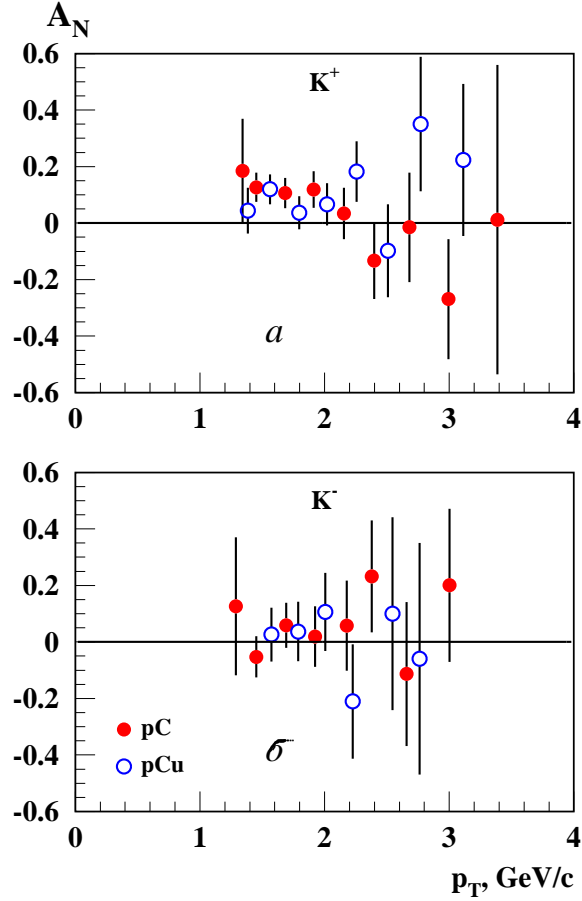


Рис. 2. Зависимости A_N от p_T для реакций $p^\uparrow + C(\text{Cu}) \rightarrow K^\pm + X$.

Таблица 4. A_N и θ_{cm} для реакций $p^\uparrow + C(\text{Cu}) \rightarrow K^- + X$ как функции p_T и x_F .

p_T , ГэВ/с	x_F	$A_N(\text{pC})$	p_T , ГэВ/с	x_F	$A_N(\text{pCu})$	$\theta_{\text{cm}}(\text{pC})$
1.288	-0.117	$+0.13 \pm 0.24$				110.19°
1.453	-0.110	-0.053 ± 0.073	1.575	-0.127	$+0.026 \pm 0.095$	107.04°
1.693	-0.107	$+0.059 \pm 0.079$	1.788	-0.112	$+0.04 \pm 0.11$	104.35°
1.925	-0.096	$+0.02 \pm 0.11$	2.006	-0.098	$+0.11 \pm 0.14$	101.41°
2.178	-0.088	$+0.06 \pm 0.16$	2.227	-0.086	-0.21 ± 0.20	99.29°
2.377	-0.071	$+0.23 \pm 0.20$	2.546	-0.096	$+0.10 \pm 0.34$	96.89°
2.658	-0.074	-0.11 ± 0.26	2.762	-0.084	-0.06 ± 0.41	96.43°
3.003	-0.081	$+0.20 \pm 0.27$				96.23°

3.3. Анализирующая способность для реакций $p^\uparrow + C(\text{Cu}) \rightarrow p(\bar{p}) + X$

На рис. 3а и в табл. 5 представлена зависимость A_N от p_T для реакций образования протонов в pC- и pCu-соударениях. В пределах точности измерений A_N не зависит от

p_T и массового числа ядра мишени и совместима с нулевой величиной. Среднее значение A_N в области $0,6 \leq p_T \leq 3,4$ ГэВ/с составляет $0,020 \pm 0,016$ и $0,008 \pm 0,018$ для pC - и pCu -взаимодействий соответственно. Заметим, что среднее значение x_F при заданном p_T , ввиду большой массы протона, значительно более смещено в отрицательную область, чем в случае π^\pm -мезонов. Измерения на двух мишенях согласуются между собой.

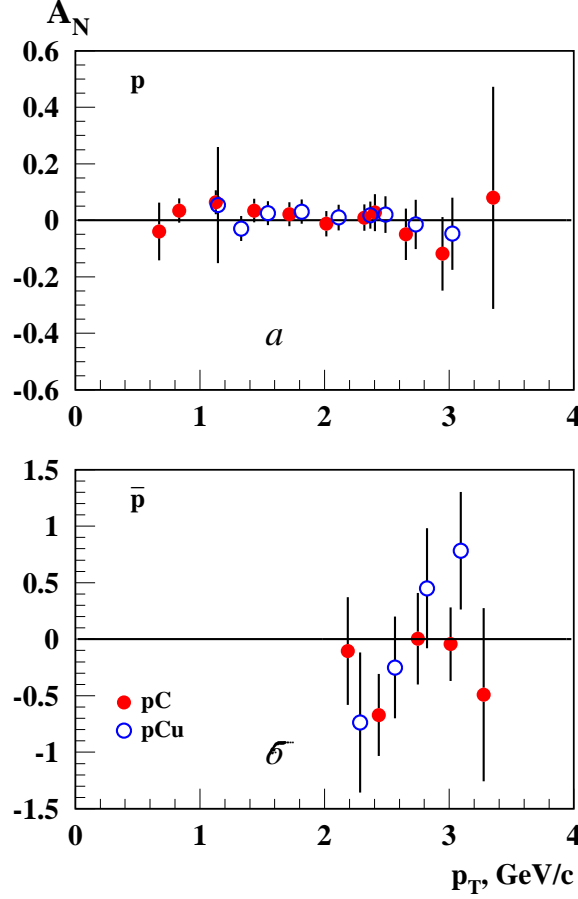


Рис. 3. Зависимости A_N от p_T для реакций $p^\uparrow + C(Cu) \rightarrow p(\bar{p}) + X$.

Данные других экспериментов, измеренные, как правило, при $p_T \leq 1$ ГэВ/с либо в области отрицательных x_F , имеют незначительную величину A_N [2,3,4]. Данные, полученные в области больших x_F и p_T , показывают значительную, меняющую свой знак односпиновую асимметрию [10].

На рис. 3б и в табл. 6 представлена зависимость A_N от p_T для реакций образования антипротонов в pC - и pCu -соударениях. Как и в случае образования K^- -мезонов, A_N в образовании антипротонов совместима в пределах довольно значительных ошибок измерений с нулем. Антипротоны не имеют общих с поляризованным протоном кварков, и это может объяснять незначительную величину наблюдаемой односпиновой асимметрии. В других кинематических областях величина A_N для антипротонов также близка к нулю [5,10,11]. Среднее значение A_N в области $2,1 \leq p_T \leq 3,3$ ГэВ/с составляет $-0,23 \pm 0,18$ и

0,09±0,26 для pC - и pCu -взаимодействий соответственно. Данные на медной и углеродной мишенях согласуются между собой в пределах экспериментальных неопределенностей.

Таблица 5. A_N и θ_{cm} для реакций $p^\dagger + C(Cu) \rightarrow p + X$ как функции p_T и x_F .

p_T , ГэВ/ c	x_F	$A_N(pC)$	p_T , ГэВ/ c	x_F	$A_N(pCu)$	$\theta_{cm}(pC)$
0.672	-0.248	-0.04 ± 0.10				147.68°
0.833	-0.198	+0.034 ± 0.043	1.144	-0.225	+0.05 ± 0.21	135.51°
1.128	-0.172	+0.064 ± 0.042	1.330	-0.189	-0.029 ± 0.044	123.15°
1.436	-0.166	+0.034 ± 0.042	1.544	-0.174	+0.026 ± 0.042	116.34°
1.717	-0.158	+0.022 ± 0.043	1.817	-0.164	+0.031 ± 0.043	111.51°
2.013	-0.157	-0.012 ± 0.045	2.113	-0.165	+0.010 ± 0.046	108.47°
2.319	-0.161	+0.010 ± 0.047	2.366	-0.159	+0.018 ± 0.048	106.56°
2.404	-0.108	+0.027 ± 0.065	2.489	-0.112	+0.020 ± 0.065	100.89°
2.651	-0.100	-0.050 ± 0.091	2.730	-0.105	-0.015 ± 0.087	99.18°
2.945	-0.095	-0.12 ± 0.13	3.024	-0.097	-0.05 ± 0.13	97.87°
3.352	-0.097	+0.08 ± 0.39				97.07°

Таблица 6. A_N и θ_{cm} для реакций $p^\dagger + C(Cu) \rightarrow \bar{p} + X$ как функции p_T и x_F .

p_T , ГэВ/ c	x_F	$A_N(pC)$	p_T , ГэВ/ c	x_F	$A_N(pCu)$	$\theta_{cm}(pC)$
2.186	-0.119	-0.10 ± 0.48	2.284	-0.130	-0.74 ± 0.62	101.90°
2.434	-0.123	-0.67 ± 0.36	2.564	-0.136	-0.25 ± 0.45	101.07°
2.748	-0.129	+0.00 ± 0.40	2.822	-0.136	+0.45 ± 0.53	100.30°
3.011	-0.112	-0.04 ± 0.33	3.093	-0.116	+0.78 ± 0.52	98.19°
3.277	-0.091	-0.49 ± 0.77				96.13°

4. Обсуждение результатов

Проведенные на установке ФОДС-2 измерения показали наличие значительной односторонней асимметрии в образовании поляризованных заряженных адронов при положительных значениях переменной x_F [10,11]. В области отрицательных значений x_F величина A_N для большинства адронов близка к нулю, и только для π^- - и K^+ -мезонов A_N имеет небольшую положительную величину. Требуется дальнейшие исследования в области отрицательных значений x_F для подтверждения наблюдаемого эффекта. Интересно, что для π^- -мезонов A_N совместима с нулем уже при углах образования частиц $\theta_{cm} \geq 73^\circ$ [11], тогда как для π^+ -мезонов $A_N > 0$ при $\theta_{cm} \leq 103^\circ$. Таким образом, можно говорить о наличии порогового угла θ_{cm} для π^- -мезонов, ниже которого A_N отлична от нуля (при энергии пучка 40 ГэВ). Различие в величине предельного угла θ_{cm} для π^+ - и π^- -мезонов может быть связано с различием свойств u - и d -кварков, поскольку они вносят основной вклад в образование π^+ - и π^- -мезонов соответственно.

Подводя итоги измерений односторонней асимметрии в сеансе 2003 г. (работы [10,11] и настоящая) отметим здесь наиболее важные результаты.

Для адронов, содержащих валентные кварки, общие с кварками поляризованного пучка (π^\pm , K^+ , протоны), наблюдается значительная, отличная от нуля величина A_N , которая уменьшается по абсолютной величине при увеличении угла образования частиц в с.ц.м.

Для π^+ -мезонов A_N достигает максимума при p_T порядка 1,9 – 2,7 ГэВ/с и имеет тенденцию уменьшения A_N до нуля при более высоких p_T . Положение максимума A_N зависит от угла образования π^+ -мезонов в с.ц.м.

В реакциях образования протонов на ядрах значительная величина A_N наблюдается лишь в области $p_T \geq 1,2$ ГэВ/с и $\theta_{\text{см}} \leq 70^\circ$. То есть здесь также имеется предельный угол в с.ц.м., выше которого $A_N \approx 0$. Результаты других экспериментов были получены вне этой области и совместимы с нулевой величиной A_N [2,3,4].

Односпиновая асимметрия адронов, в состав которых не входят валентные кварки поляризованного протона пучка, такие, как антипротоны и K^- -мезоны, во всей исследованной области кинематических переменных имеют совместимую с нулем в пределах точности измерений величину A_N , что можно интерпретировать как следствие малой степени поляризации морских кварков в протоне [17]. Уточнение этих измерений на большей статистике может выявить в будущем небольшую односпиновую асимметрию, связанную с поляризацией морских кварков.

Зависимость односпиновых асимметрий от массового числа ядра мишени для большинства типов адронов оказалась незначительной. Только в образовании протонов наблюдается небольшое уменьшение $|A_N|$ при переходе к более тяжелой мишени. Отметим, что поляризация вторичных протонов в соударениях неполяризованных протонов с протонами и ядрами также зависит от типа мишени [18]. Поскольку в настоящем эксперименте и в других экспериментах не было измерений на тяжелых ядрах (Sn, W, Pb), представляет интерес проведение таких исследований при одновременном уменьшении статистической и систематической погрешностей измерений. Это может позволить выявить тонкие эффекты, связанные с процессом образования адронов, и, в частности, с явлением цветовой прозрачности ядер [15].

Заключение

В области небольших отрицательных значений x_F наблюдается положительная асимметрия для π^+ - и K^+ -мезонов при $p_T \approx 1,9$ ГэВ/с. Зависимость от массового числа ядра мишени – незначительная. Измерения при трех значениях угла образования адронов, выполненные в настоящем эксперименте, и измерения при различных углах и энергиях, выполненные в других экспериментах, указывают на связь кваркового состава наблюдаемых адронов (наличие в них кварков из поляризованного протона пучка) с величиной и знаком односпиновых эффектов. Для адронов, не имеющих общих с протоном пучка кварков, односпиновая асимметрия совместима с нулем. Влияние размеров ядра мишени на величину односпиновой асимметрии оказалось незначительным для большинства типов адронов. Различие в величине предельных углов образования π^+ - и π^- -мезонов, выше которых $A_N \approx 0$, указывает на возможное различие свойств u - и d -кварков в сильных взаимодействиях, что более существенно проявляется при энергии настоящего эксперимента, чем при более высоких энергиях.

Авторы выражают благодарность сотрудникам подразделений ИФВЭ за помощь в подготовке и проведении эксперимента, а также дирекции ИФВЭ за поддержку данной

работы. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 05-02-08039).

Список литературы

- [1] Kane G., Pumplin J. and Repko W. *Phys. Rev. Lett.* **41**, 1689 (1978).
- [2] Dragoset W.H. *et al. Phys. Rev.* **D18**, 3939 (1978).
- [3] Saroff S. *et al. Phys. Rev. Lett.* **64**, 995 (1990).
- [4] Allgower C.E. *et al. Phys. Rev.* **D65**, 092008 (2002).
- [5] Abramov V.V., Dyshkant A.S., Evdokimov V.N. *et al. Nucl.Phys.* **B492**, 3 (1997); e-Print Archive: hep-ex/0110011.
- [6] Adams D.L. *et al. Phys. Lett.* **B264**, 462 (1991).
- [7] Adams J. *et al. Phys. Rev. Lett.* **92**, 171801 (2004).
Saito N. *Int. J. Mod. Phys.* **A20**, 4425 (2005); hep-ex/0505024.
- [8] Videbaek F. *BRAHMS coll.* Proceedings of the 13th International Workshop on Deep Inelastic Scattering (DIS 05), Madison, Wisco 27 Apr - 1 May 2005; *AIP Conf. Proc.* **792**, 993 (2005); nucl-ex/0508015; nucl-ex/0601008.
- [9] Абрамов В.В. *ЯФ* **68** (2005) 414.
- [10] Абрамов В.В., Волков А.А., Гончаров П.И. и др. Препринт ИФВЭ 2006-09. - Протвино, 2006. (Направлено в ЯФ.)
- [11] Абрамов В.В., Волков А.А., Гончаров П.И. и др. Препринт ИФВЭ 2006-18. - Протвино, 2006. (Направлено в ЯФ.)
- [12] Sivers D. *Phys. Rev.* **D41**, 83 (1990); **D43**, 261 (1991).
- [13] Collins J.C. *Nucl. Phys.* **B396**, 161 (1993).
- [14] Anselmino M. *et al. Phys. Rev.* **D73**, 014020 (2006).
- [15] Kochelev N.I., Tokarev M.V. *Phys. Lett.* **B309**, 416 (1993).
- [16] Абрамов В.В., Балдин Б.Ю., Бузулуцков А.Ф. и др. *ПТЭ* **35**, 1006 (1992). Препринт ИФВЭ 91-144. - Протвино, 1991.
- [17] Hirai M., Kumano S., Saito N. *Phys. Rev.* **D74**, 014015 (2006).
- [18] Polvado R.O. *et al. Phys. Rev. Lett.* **41**, 1689 (1978).

Рукопись поступила 16 октября 2006 г.

В.В. Абрамов и др.

Односпиновая асимметрия заряженных адронов с большими p_T и отрицательными x_F в рА-соударениях при энергии 40 ГэВ.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы **ИТ_РХ**.

Редактор Л.Ф. Васильева.

Подписано к печати 17.10.06. Формат 60 × 84/8.
Офсетная печать. Печ.л. 1.5. Уч.-изд.л. 1.2. Тираж 90. Заказ 98.
Индекс 3649. ЛР т020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

