

УДК 539.17+539.14

ОДНОСПИНОВАЯ ПИОННАЯ АСИММЕТРИЯ**В РЕАКЦИИ $d\uparrow + A \rightarrow \pi^\pm(90^\circ) + X$**

Г.С.Аверичев, Г.Агакишиев, М.Э.Асанова, Ю.Т.Борзунов, Н.Гиорданеску¹, Л.Б.Голованов, Я.Г.Гусейналиев², И.Зборовски³, Ю.И.Минаев, Н.С.Мороз, А.С.Никифоров, Ю.А.Панебратцев, М.Пенця⁴, Е.В.Потребеникова, С.В.Разин, М.К.Сулейманов⁵, А.П.Цвинев, М.В.Токарев, Е.И.Шахалиев, С.С.Шиманский, Г.П.Шкоро⁶, В.И.Юревич

Проведены первые эксперименты по измерению односпиновой асимметрии в реакциях инклюзивного пинообразования

$$d\uparrow + H \rightarrow \pi^\pm(90^\circ) + \dots$$

$$d\uparrow + C \rightarrow \pi^\pm(90^\circ) + \dots$$

Измерения выполнены на пучке поляризованных дейтронов синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ. Асимметрия достигает 30% при импульсе дейтронного пучка $P_d = 4,2$ ГэВ/с и уменьшается с ростом P_d до нескольких процентов при 9 ГэВ/с. Для вторичных пионов с импульсом 300 МэВ/с наблюдается разница в знаке векторной анализирующей способности для π^+ - и π^- -мезонов. Получено указание на большую величину векторной анализирующей способности для π^- -мезонов с импульсами 300 + 400 МэВ/с при импульсе дейтронного пучка $P_d = 6,5$ ГэВ/с. Для дейтронов с импульсом $P_d = 9$ ГэВ/с величина векторной анализирующей способности A_y не превышает 10% в некумулятивной и предкумулятивной кинематических областях.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

One-Spin Pion Asymmetry in the $d\uparrow + A \rightarrow \pi^\pm(90^\circ) + X$ Process

G.S.Averichev et al.

The one-spin asymmetry in the

$$d\uparrow + H \rightarrow \pi^\pm(90^\circ) + \dots$$

$$d\uparrow + C \rightarrow \pi^\pm(90^\circ) + \dots$$

inclusive pion processes has been measured for the first time using the polarized deuteron beam of LHE JINR Synchrophasotron. The asymmetry goes up to 30% at deuteron beam

¹Бухарестский университет, Румыния

²Азербайджанское национальное аэрокосмическое агентство

³ИЯФ Академии наук Чехии

⁴ИАФ, Бухарест, Румыния

⁵ФИ Академии наук Азербайджана

⁶ИЯН Винча, Югославия

momentum $P_d = 4.2$ GeV/c and decreases to few per cent with increasing P_d up to 9 GeV/c.

An indication of the large value for vector analyzing power has been observed for π^- -meson with momentum 300+400 MeV/c at deuteron beam momentum $P_d = 6.5$ GeV/c. The difference of the sign for vector analyzing power has been observed for π^+ - and π^- -mesons. The value of the vector analyzing power for deuteron with momentum $P_d = 9$ GeV/c does not exceed 10% in cumulative and precumulative kinematical regions.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

1. Введение

Изучение спиновых явлений в pp [1,2,3]- и pA [4,5]-взаимодействиях при высоких энергиях показало, что поляризационные эффекты (асимметрии, поляризации гиперонов) не убывают с ростом фейнмановской переменной x и поперечного импульса p_{\perp} . Такой результат необъясним в рамках пертурбативной КХД, и необходим учет непертурбативных механизмов или поправок, связанных с учетом высших твистов [6].

Эксперименты, проведенные в CERN [1], BNL [2] и Fermilab [3] по изучению односпиновых асимметрий A_N в реакциях $p\uparrow + p \rightarrow \pi^{\pm,0} + X$, показали, что A_N мала при малых x и p_{\perp} и достигает $\cong 40\%$ при больших значениях x и p_{\perp} . В эксперименте E704 [3], в котором использовались пучки поляризованных протонов и антипротонов с энергией 200 ГэВ, установлена сильная корреляция между знаком асимметрии и зарядом рожденных π -мезонов.

Большие односпиновые асимметрии в реакции $p\uparrow + d \rightarrow \pi, K + X$ при энергии протонов $P_p = 11,75$ ГэВ/с наблюдались в работе [7]. Отметим, что асимметрии [2,7] наблюдались при относительно небольших поперечных импульсах, и следовательно, не связаны с режимом пертурбативной КХД. Большая асимметрия может быть связана с механизмом рождения резонансов, таких, как Δ -изобара. Исследование механизма поляризации на уровне кварковых степеней свободы возможно при кинематическом переходе в жесткую часть спектра, либо при очень высоких энергиях протонов, либо с использованием ядер и, в первую очередь, дейтрона.

Одной из возможностей изучения механизма поляризации, связанного с ненуклонными степенями свободы, является измерение односпиновых пионных асимметрий в реакции $d\uparrow + p \rightarrow \pi + X$ в области, запрещенной по кинематике на свободных нуклонах, — кумулятивной. Кинематический анализ таких процессов удобно проводить в переменной X (кумулятивное число), введенной В.С.Ставинским [8]. Считается, что с ростом кумулятивного числа X роль немассовых эффектов увеличивается. Это приводит к кинематическому усилению непертурбативных механизмов, которые доминируют в области $X > 1$. В работе [9] для объяснения односпиновых пионных асимметрий в pp - и pA -взаимодействиях был использован инстантонный механизм [10], который может приводить к заметным поляризационным эффектам в процессах с большими передачами. Обнаружение больших поляризационных эффектов могло быть прямым указанием на наличие такого механизма.

В настоящей работе представлены первые экспериментальные данные о право-левой асимметрии образования π^+ - и π^- -мезонов в реакции $d^{\uparrow} + A \rightarrow \pi(90^\circ) + X$ при импульсе дейтронов 4,2; 6,5 и 9 ГэВ/с на ядрах ^1H и ^{12}C .

2. Постановка эксперимента

Эксперимент по измерению одночастичных асимметрий в рождении пионов при взаимодействии пучка поляризованных дейтронов с водородной и углеродной мишенями был выполнен на синхрофазотроне ЛВЭ при помощи установки ДИСК [11].

Схема эксперимента приведена на рис.1.

Пучок векторно или тензорно поляризованных дейтронов направлялся на мишень. Размер пучка (~ 7 мм на полувысоте) и положение центра тяжести пучка определялись при настройке канала с помощью координатного детектора, расположенного непосредственно перед мишенью. Интенсивность пучка в процессе измерений составляла от $\sim 10^8$ до $8 \cdot 10^8$ частиц/цикл (при работе с неполяризованными протонами и дейтронами измерения на установке ДИСК проводятся при интенсивности выше 10^{11} частиц/цикл). Относительная интенсивность первичного пучка измерялась при помощи ионизационной камеры (ИТ) с точностью $\sim 1\%$. Для мониторинга попадания пучка на мишень использовались сцинтилляционные телескопы: $M+10$, $M-10$ и $MP13$.

В эксперименте использовалась трехсекционная жидководородная мишень длиной 300 мм и объемом 1,2 л. Диаметр внутреннего сосуда мишени 70 мм, что обеспечивает прохождение пучка полностью по внутреннему объему мишени. Конденсация водорода и поддержание мишени в рабочем состоянии проводится за счет использования жидкого гелия (теплоты испарения и теплосодержания паров гелия от 4 до 20°K). Каждая секция имеет длину 100 мм, и заполняться водородом могут после-

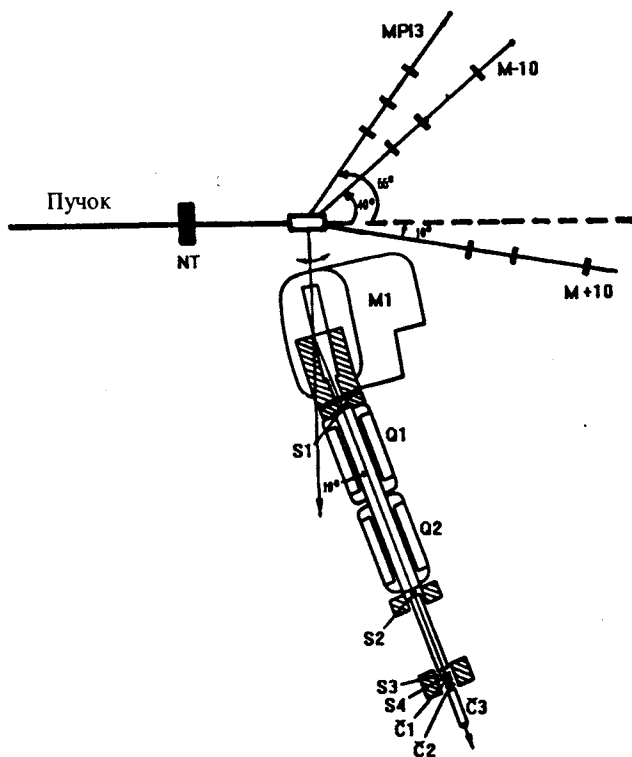


Рис.1. Схема эксперимента

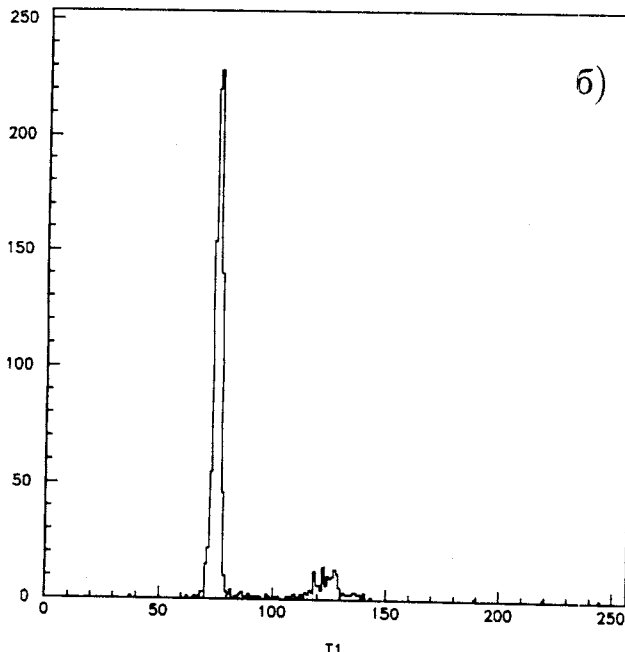
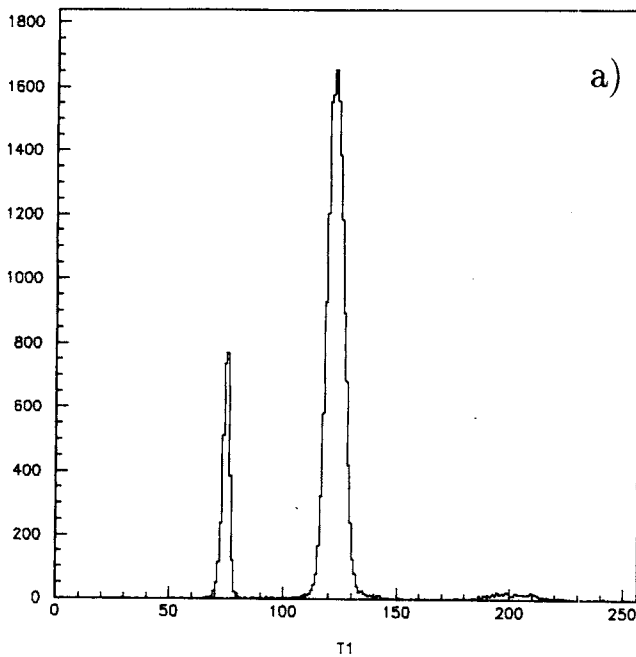


Рис.2. Времяпролетные спектры положительно заряженных частиц с импульсом 400 МэВ/с на базе 3,8 м на мишенях ^{12}C (а) и на ^1H (б). Крайний левый пик соответствует пионам

довательно одна, две или три секции. Вакуумный кожух мишени изготовлен из пенопласта ПС1 с плотностью $0,12 \text{ г/см}^3$ и толщиной 10 мм. Внутренний сосуд мишени изготовлен из майлара толщиной 0,35 мм. Расход жидкого гелия в рабочем режиме $\sim 0,6 \text{ л/ч}$. Время заполнения мишени, находящейся при комнатной температуре, — около двух часов. Мишень может заполняться как водородом, так дейтерием и гелием. После отключения мишени от системы охлаждения мишень сохраняет рабочий режим не менее трех часов. Основную часть вещества стенок мишени составляет углерод, взаимодействие с которым дает фон регистрируемых установкой пионов.

На рис.2 показаны времяпролетные спектры положительно заряженных частиц на базе 3,8 м при работе с углеродной (рис.2а) и водородной (рис.2б) мишенями, когда магнитный спектрометр регистрирует частицы с импульсом 400 МэВ/с. Крайним слева является пионный пик, дальше, в сторону увеличения номера канала времяцифрового преобразователя, находятся протонный и дейтронный пики. Присутствие в спектре протонов для водородной мишени позволяет оценить вклад пионов от взаимодействия с веществом стенок мишени. Проводились измерения и с пустой водородной мишенью. Оценки показали, что фоновые пионы составляют менее 1% от регистрируемых.

Рожденные в мишени частицы (пионы, протоны, дейтроны) регистрировались магнитным спектрометром ДИСК. Входной телесный угол установки составляет $6 \cdot 10^{-4}$ ср, импульсный захват — 8,6%. Идентификация частиц велась по времени пролета на базе 3,8 м (между S1 и S3) и 0,97 м (между S2 и S4) с точностью 260 пс. Для идентификации частиц также измерялись ионизационные потери в сцинтилляторах S2, S3, S4 и интенсивность черенковского излучения в двух твердотельных черенковских счетчиках C1 и C2.

Установка работала на линии с РС/АТ 386. Все данные о работе мониторирующей системы, детекторов спектрометра и метках поляризации пучка дейтронов записывались на магнитный диск и затем анализировались с помощью специально созданного на базе программ KUIP [12] и PAW [13] пакета программ обработки.

Поляризация дейтронного пучка определялась с помощью установки АЛЬФА [14], которая перед набором данных настраивалась для работы в качестве поляриметра. После окончания набора данных проводилось повторное измерение поляризации, и параметры пучка определялись усреднением по этим двум измерениям. Поляриметрия проводилась при импульсе дейтронного пучка 3,5 ГэВ/с. Предварительные исследования показали, что поляризация пучка не изменяется в процессе ускорения пучка, и источник ПОЛЯРИС [15] обеспечивает стабильные параметры поляризации в длительном сеансе работы. Поэтому во время набора данных дополнительной поляриметрии пучка не проводилось.

При поляризационных исследованиях с одноплечевым спектрометром необходим постоянный контроль за ложными асимметриями. С этой целью был выбран трехцикловой режим работы источника поляризованных дейтронов ПОЛЯРИС. Эти циклы задавались метками: «+», «-» и «0». Метка «0» соответствовала неполяризованному пучку. Информация о метках поляризации пучка передавалась источником ПОЛЯРИС перед выводом пучка из ускорителя и записывалась вместе с данными. Векторные p_Z^\pm и тензорные p_{ZZ}^\pm компоненты поляризации для тензорно поляризованного пучка дейтронов имели значения

$$p_Z^+ = 0,210 \pm 0,010; \quad p_{ZZ}^+ = -0,712 \pm 0,028;$$

$$p_Z^- = 0,202 \pm 0,018; \quad p_{ZZ}^- = 0,686 \pm 0,021.$$

Для векторно поляризованного пучка:

$$p_Z^+ = 0,428 \pm 0,025; \quad p_Z^- = -0,470 \pm 0,025,$$

а тензорные компоненты $p_{ZZ}^+ \approx 0$, $p_{ZZ}^- \approx 0$.

При анализе экспериментальных данных система координат была выбрана так, что ось z совпадала с направлением первичного пучка дейтронов, ось y была параллельна нормали к плоскости реакции и совпадала с направлением вектора спина дейтрона. Ось x определялась для правой декартовой системы координат. Такое определение системы координат совпадает с системой координат, принятой в работе [16]. В этом случае сечение рождения пионов может быть представлено в виде

$$\sigma(\theta)^\pm = \sigma_0(\theta) \left(1 + \frac{3}{2} p_Z^\pm A_y(\theta) + \frac{1}{2} p_{ZZ}^\pm A_{yy}(\theta) \right), \quad (1)$$

где метки «+», «-», «0» соответствуют различным поляризационным состояниям пучка дейтронов; $\sigma_0(\theta)$ — сечение процесса с неполяризованным пучком, $A_y(\theta)$, $A_{yy}(\theta)$ — векторная и тензорная анализирующие способности реакции $d\uparrow + A \rightarrow \pi(90^\circ) + X$, θ — полярный угол, под которым регистрируются частицы. При работе с векторно поляризованным пучком третье слагаемое в (1) отсутствует, так как p_{ZZ}^\pm -компоненты близки к нулю. Анализирующие способности $A_y(\theta)$ и $A_{yy}(\theta)$ при тензорной поляризации пучка выражаются через сечения реакции $\sigma(\theta)^\pm$, $\sigma_0(\theta)$:

$$A_y(\theta) = \frac{2}{3} \left\{ \frac{p_{ZZ}^-}{p_Z^+ p_{ZZ}^- - p_Z^- p_{ZZ}^+} \left(\frac{\sigma(\theta)^+}{\sigma_0(\theta)} - 1 \right) - \frac{p_{ZZ}^+}{p_Z^+ p_{ZZ}^- - p_Z^- p_{ZZ}^+} \left(\frac{\sigma(\theta)^-}{\sigma_0(\theta)} - 1 \right) \right\}, \quad (2)$$

$$A_{yy}(\theta) = 2 \left\{ \frac{p_Z^-}{p_Z^- p_{ZZ}^+ - p_Z^+ p_{ZZ}^-} \left(\frac{\sigma(\theta)^+}{\sigma_0(\theta)} - 1 \right) - \frac{p_Z^+}{p_Z^- p_{ZZ}^+ - p_Z^+ p_{ZZ}^-} \left(\frac{\sigma(\theta)^-}{\sigma_0(\theta)} - 1 \right) \right\}. \quad (3)$$

При работе с векторно поляризованным пучком $A_y(\theta)$ определяется выражением

$$A_y(\theta) = \frac{2}{3} \left(\frac{\sigma(\theta)^+}{\sigma_0(\theta)} - \frac{\sigma(\theta)^-}{\sigma_0(\theta)} \right) / (p_z^+ - p_z^-). \quad (4)$$

В выражения (2)—(4) для асимметрии входят только относительные сечения, поэтому нет необходимости проводить калибровки абсолютного числа пучковых частиц. Эффективность детекторов спектрометра и мониторирующей системы оставалась постоянной в течение всего сеанса работы установки. Контроль работы пучковой камеры велся весь сеанс, а в конце работы была проведена калибровка ионизационной камерой.

При постановке эксперимента мы ориентировались на регистрацию около 1000 π -мезонов на каждую метку, что обеспечивало бы статистическую ошибку в несколько процентов. Систематическая ошибка в измерении асимметрии связана с нестабильностями режима вывода пучка. Она оценивалась по показаниям мониторирующей системы. Анализ накопленных данных показал, что систематическая ошибка составляет несколько процентов в абсолютной величине измеряемой асимметрии.

Измерения величины A_y на углероде для вторичных протонов с импульсом 400 МэВ/с и углом регистрации 90° показали, что значение асимметрии равно $0,005 \pm 0,026$. В этом случае статистическая ошибка составила 1,5%. Такие измерения являлись тестом отсутствия ложных асимметрий и готовности установки к измерениям с пионами.

3. Результаты измерений

Проведены измерения зависимости величины векторной анализирующей способности A_y от энергии первичного пучка поляризованных дейтронов. Измерения проводились при импульсах пучка дейтронов 4,2; 6,5 и 9 ГэВ/с.

На рис.3 представлены экспериментальные данные о векторной анализирующей способности процесса $d \uparrow + N \rightarrow \pi^\pm (90^\circ)$ для π^+ - и π^- -мезонов с импульсом 300 МэВ/с.

При импульсе первичных дейтронов 4,2 ГэВ/с асимметрия достигает величины ~30% и убывает до нескольких процентов при импульсе дейтронов 9 ГэВ/с. Кроме того, из рисунка видно, что знак асимметрии зависит от знака заряда пионов.

На рис.4 приведены результаты измерения асимметрии процесса $d \uparrow + N \rightarrow \pi^- (90^\circ)$ при $P_d = 6,5$ ГэВ/с. Из рисунка видно, что асимметрия отлична от нуля во всем измеренном интервале импульсов π^- -мезонов. Она убывает с ростом импульса пионов и при импульсе 550 МэВ/с не превышает 10%.

Измерения при импульсе дейтронов 4,2 и 6,5 ГэВ/с проводились с тензорно поляризованным пучком дейтронов, в котором имеется ненулевая примесь векторной ком-

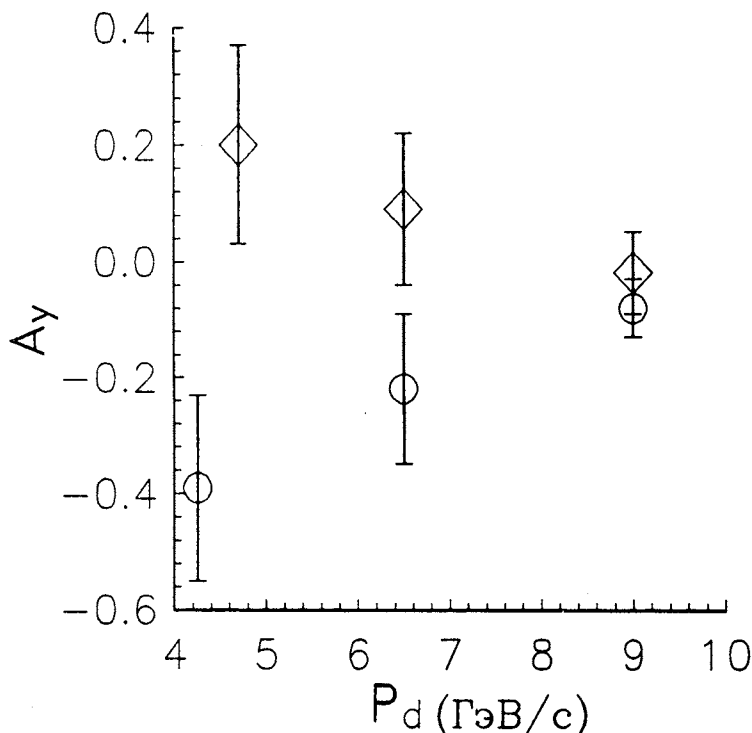


Рис.3. Зависимость анализирующей способности A_y процесса $d \uparrow + N \rightarrow \pi^\pm (90^\circ) + X$ от импульса дейтрона P_d , для вторичных пионов с импульсом 300 МэВ/с, \diamond — π^+ - и \circ — π^- -мезоны

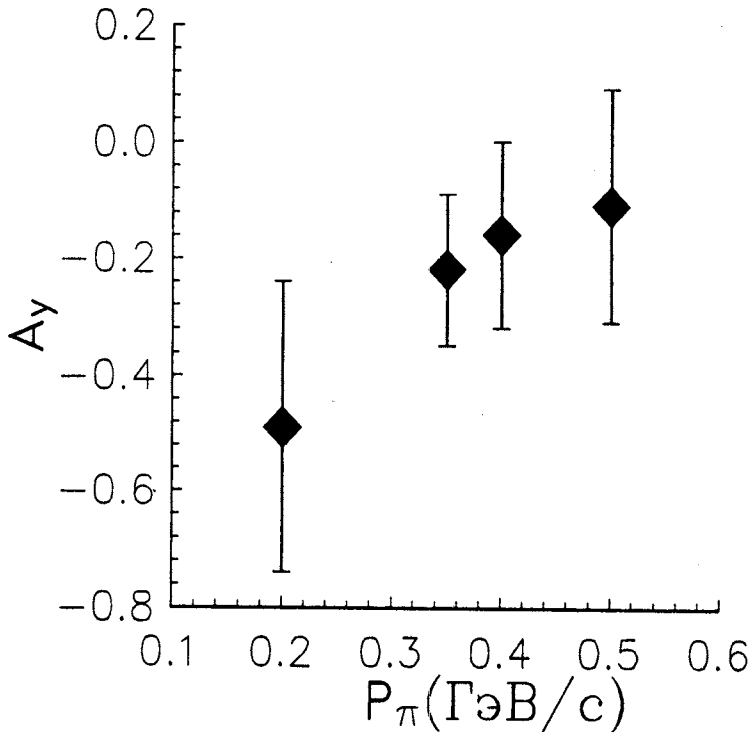


Рис.4. Зависимость анализирующей способности A_y процесса $d \uparrow + H \rightarrow \pi^- (90^\circ) + X$ от импульса π^- -мезона при $P_d = 6,5$ ГэВ/с

поненты. Теоретические оценки [17] предсказывают, что в области кинематических переменных эксперимента величина тензорной анализирующей способности A_{yy} близка к нулю. Измерения показали, что, действительно, эта величина не превышает нескольких процентов.

Данные о векторной анализирующей способности инклюзивного мезонообразования π^+ - и π^- -мезонов при взаимодействии векторно поляризованного пучка дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с с углеродной мишенью приведены в табл.

Таблица. Векторная анализирующая способность A_y процесса $d \uparrow + C \rightarrow h (90^\circ) + X$, $h = \pi^\pm$, p при $P_d = 9$ ГэВ/с

p , МэВ/с	π^-	π^+	p
400	$0,13 \pm 0,08$	$0,04 \pm 0,04$	$0,01 \pm 0,03$
625	$0,09 \pm 0,07$	$0,03 \pm 0,07$	$0,03 \pm 0,04$

Из таблицы видно, что асимметрия π^+ -мезонов близка к нулю, а для π^- -мезонов составляет около 10%.

Проведено измерение асимметрии рождения π^- -мезонов с импульсом 700 МэВ/с в $d^{12}\text{C}$ -взаимодействии при $P_d = 9$ ГэВ/с. Полученная величина асимметрии: $0,02 \pm 0,1$. Это первое измерение асимметрии в кумулятивной области, позволяющее говорить о реальности проведения измерений векторной анализирующей способности в кумулятивной области на установке ДИСК с точностью до нескольких процентов за время порядка 100 часов работы ускорителя.

4. Выводы

1. Проведены первые эксперименты по измерению векторной и тензорной анализирующих способностей A_y и A_{yy} в реакциях инклюзивного пионообразования $d \uparrow + H \rightarrow \pi^\pm(90^\circ) + X$ и $d \uparrow + C \rightarrow \pi^\pm(90^\circ) + X$.

2. Измерена энергетическая зависимость асимметрии при импульсах первичных дейтронов 4,2; 4,7; 6,5 и 9 ГэВ/с для пионов с импульсом $P_\pi = 300$ МэВ/с. Обнаружено, что величина асимметрии достигает 30% при импульсе дейтронного пучка $P_d = 4,2$ ГэВ/с и уменьшается с ростом импульса дейтронного пучка до нескольких процентов при 9 ГэВ/с. Установлено, что для отрицательно и положительно заряженных пионов асимметрия имеет разный знак.

3. Изучено поведение асимметрии π^- -мезонов при импульсе первичных дейтронов 6,5 ГэВ/с в реакции $d \uparrow + H \rightarrow \pi^-(90^\circ) + X$. Наблюдается уменьшение асимметрии от ~ 40% при импульсе пионов 200 МэВ/с до величины, не превышающей 10% при импульсе 550 МэВ/с.

4. Установлено, что асимметрия π^+ -мезонов близка к нулю, а асимметрия π^- -мезонов отлична от нуля, но не превышает 10% при импульсе дейтронов 9 ГэВ/с в реакции $d \uparrow + C \rightarrow \pi^\pm(90^\circ) + X$.

Авторы выражают благодарность дирекции ЛВЭ за поддержку начатых исследований в рамках поляризационной программы, коллективу установки АЛЬФА, оказавшему помощь при определении параметров поляризации пучка дейтронов, персоналу ускорительного комплекса ЛВЭ и источника поляризованных дейтронов ПОЛЯРИС за обеспечение устойчивой работы всех систем.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант №94-02-06477.

Литература

1. Antille J. et al. — Phys. Lett., 1980, B94, p.523.
2. Bonner B.E. et al. — Phys. Rev., 1990, D41, p.13.
- Saroff S. et al. — Phys. Rev. Lett., 1990, 64, p.995.

3. Adams D.L. et al. — Phys. Lett., 1991, B261, p.201; Phys. Lett., 1991, B264, p.462; Z. Phys., 1992, C56, p.181; Phys. Lett., 1992, B276, p.531.
4. Krisch A.D. — In: Proc. 9 Inter. Symp. on High Energy Spin Physics, Bonn, 1990, K.-H.Althoft, W.Meyer eds., 1991, 1, p.20.
5. Heller K. — In: Proc. 9 Inter. Symp. on High Energy Spin Physics, Bonn, 1990, K.-H.Althoft, W.Meyer eds., 1991, vol.1, p.97.
6. Soffer J. — Overview of High Energy Physics with Polarized Particles, 7th International Conference on Polarized Phenomena in Nuclear Physics, C6-135, Paris, 1990.
7. Dragoset W.H. et al. — Phys. Rev., 1978, D18, p.3939.
8. Ставинский В.С. — Сообщения ОИЯИ, P2-9572, Дубна, 1976.
9. Kochelev N.I., Tokarev M.V. — Phys. Lett., 1993, B309, p.416.
10. Dorokhov A.E. et al. — Proton Spin within Nonperturbative QCD, PHY-7056-TH-92, Argonne, 1992.
11. Averichev G.S. et al. — JINR Rapid Communication, No.4[37]-89, Dubna, 1989.
12. Brun R. et al. — KUIP-Kit for User Interface Package, CERN, 1993.
13. Brun R. et al. — PAW Complete Reference, CERN, 1993.
14. Ableev V.G. et al. — Nucl. Instr. and Meth., A306, 1991, p.73.
15. Белушкина А.А. и др. — Труды Совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики, 25—27 мая 1982, ОИЯИ, Д2-82-568, Дубна, 1982, с.21.
16. Ohlsen G.G. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1973, v.109, p.41.
17. Браун М.А., Токарев М.В. — ЭЧАЯ, 1991, т.22, вып.6, с.1237.