государственный научный центр российской федерации
институт физики высоких энергий

ИФВЭ 2003-26
ОЭФ

А.Н. Васильев, В.В. Мочалов

Общие особенности односпиновой асимметрии инклюзивного рождения π-мезонов в экспериментах с фиксированной мишенью.

Направлено в *ЯФ*

Протвино 2003

УДК 539.12.142 М–24

Аннотация

А.Н. Васильев, В.В. Мочалов. Общие особенности односпиновой асимметрии инклюзивного рождения π-мезонов в экспериментах с фиксированной мишенью. : Препринт ИФВЭ 2003-26. – Протвино, 2003. – 12 с., 8 рис., 10 табл., библиогр.: 13.

В работе проведен анализ результатов различных экспериментов по измерению односпиновой асимметрии в инклюзивном рождении π-мезонов в диапазоне энергий от 10 до 200 ГэВ. Обнаружен экспериментальный факт, что односпиновая асимметрия начинает возрастать при одном значении энергии π-мезона в системе центра масс.

Abstract

V. Mochalov and A. Vasiliev. General features in single spin asymmetry of π-meson inclusive production in fixed target experiments: IHEP Preprint 2003-26. – Protvino, 2003. – p. 12, figs. 8, tables 10, refs.: 13.

The analysis of inclusive π-meson single spin asymmetry measurements was done. It was found that the single spin asymmetry begins to grow up at the same value of the π-meson energy in the center of mass system.

Введение.

В эксперименте ПРОЗА-М в ИФВЭ были проведены измерения односпиновой асимметрии A_N в реакциях $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ и $\pi^- + d_\uparrow \to \pi^0 + X$ при энергии пучка 40 ГэВ в центральной области, при значении скэйлинговой переменной Фейнмана $|x_\mathrm{F}| < 0.15$ [1]. Было обнаружено, что при поперечном импульсе $p_T < 1.6$ ГэВ/c асимметрия сравнима с нулем, тогда как при $p_T > 1.6$ ГэВ/c асимметрия линейно возрастает по абсолютной величине и достигает -40% при $p_T \approx 2.5$ ГэВ/c. Результаты приведены в **табл. 1** и на **рис. 1** (слева). Если фитировать асимметрию линейной функцией, то прямая пересекает ось абсцисс при значении поперечного импульса $p_T^0 \approx 1.7$ ГэВ/c [1]. Асимметрия в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ была также измерена в области фрагментации поляризованной мишени [2]. Результаты измерений представлены в **табл. 2** и на **рис. 1** (справа). Обнаружено, что асимметрия при $-0.8 < x_\mathrm{F} < -0.4$ и p_T в диапазоне от 1 до 2 ГэВ/c значительна, тогда как при малых значениях $|x_\mathrm{F}|$ и p_T асимметрия сравнима с нулем. Оказалось, что асимметрия начинает возрастать при значении $E^0_{cms} \approx 1.7$ ГэВ [2]. Подобное же поведение было обнаружено и в реакции $p + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ при энергии 70 ГэВ [3]. Таким образом, можно предположить, что до некоторого порогового значения асимметрия не возникает, потом линейно растет и, наконец, может выходить на насыщение на некотором уровне, хотя бы потому, что асимметрия не может быть больше 100%.

Тогда можно описать поведение асимметрии функцией

$$A_N = \begin{cases} 0 & \text{, если } E < E_0 \\ k \cdot (E - E_0) & \text{, если } E \geq E_0 \end{cases} \tag{1}$$

где E - энергия рожденного π^0-мезона в системе центра масс, E_0 - пороговое значение. Отметим, что π^0-мезоны регистрируются в достаточно узком угле относительно оси пучка, поэтому для каждого эксперимента зависимость асимметрии от энергии отражает на самом деле зависимость от поперечного импульса (в экспериментах в центральной области) или зависимость от x_F для экспериментов в области фрагментации поляризованной частицы. Насыщение достигается при больших значениях поперечного импульса или x_F, где ошибки измерений достаточно высоки, поэтому эти точки не сильно меняют результат. Так как нет критерия, позволяющего определить в какой момент асимметрия начинает выходить на насыщение, при фитировании использовались все точки.

В результате фитирования по формуле (1) значения точки E_0, в которой асимметрия начинает возрастать, соответственно равны $E^0_{cms} = (1.67 \pm 0.11)$ ГэВ в центральной области $E^0_{cms} = (1.76 \pm 0.16)$ ГэВ в области фрагментации поляризованной мишени. Заметим, что реальные ошибки несколько выше, так как не учтены точность определения энергии и для каждой точки происходит интегрирование по поперечному

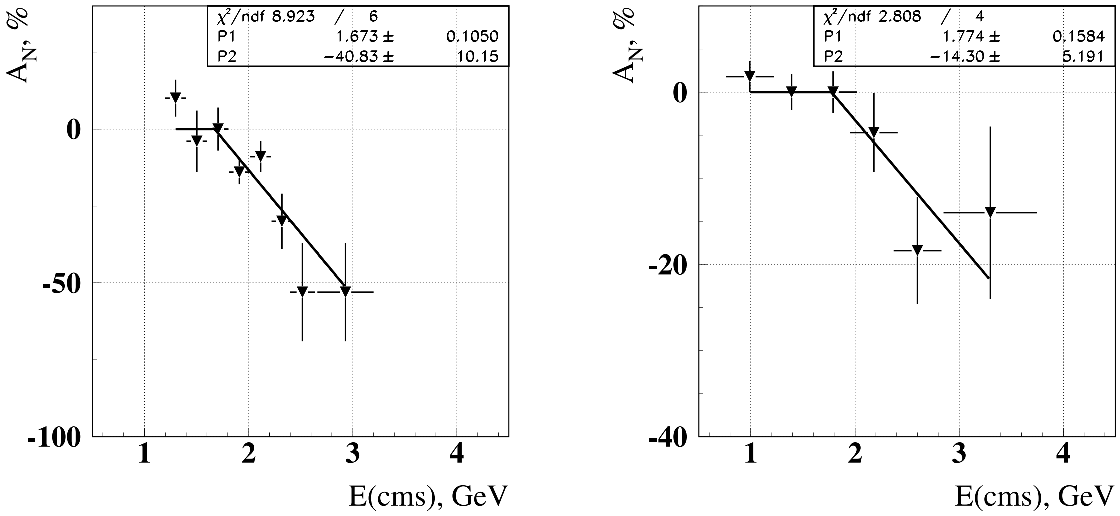

Рис. 1. Зависимость A_N от энергии π^0-мезона в системе центра масс в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ в в центральной области (слева) [1] и в области фрагментации мишени (справа) [2] при импульсе пучка 40 ГэВ/с. Для реакции в центральной области $p_T \approx E(cms)$.

импульсу и $x_{\rm F}$. Изменение среднего значения переменной $x_{\rm F}$ на 0.01 приводит при 200 ГэВ, например, к изменению значения точки пересечения на 0.1 ГэВ.

Таким образом в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ асимметрия начинает расти при одной и той же энергии π^0-мезона в системе центра масс в двух различных кинематических областях. Однако, данный результат не дает ответа на вопрос, от какой кинематической переменной поведение асимметрии универсально. Большинство существующих моделей рассматривает асимметрию как функцию $x_{\rm F}$ или p_T в зависимости от кинематической области, в которой проведены измерения. Для того, чтобы ответить на данный вопрос рассмотрим результаты других экспериментов.

В данной работе проанализированы результаты измерения односпиновой асимметрии инклюзивного образования π^+, π^0, π^--мезонов во всех поляризационных экспериментах с фиксированной мишенью в разных кинематических областях при энергиях пучка от 13 до 200 ГэВ. Отметим, что рассматривались результаты только при значениях поперечного импульса $p_T > 0.5$ ГэВ/с.

Односпиновые асимметрии инклюзивного образования π^+ мезонов.

В данной главе рассмотрим результаты пяти экспериментов по измерению A_N инклюзивного рождения π^+-мезонов. Измерения были проведены в БНЛ при энергии пучка 13.3, 18.5 и 22 ГэВ, в ИФВЭ при 40 ГэВ и в Фермилабе при 200 ГэВ.

Рассмотрим сначала результаты двух экспериментов в области фрагментации поляризованного пучка в реакции $p_\uparrow + p \to \pi^+ + X$ в одинаковых кинематических областях в переменных поперечного импульса p_T и $x_{\rm F}$, но при существенно разных энергиях пучка. Для анализа использовались данные, полученные при энергии пучка 22 ГэВ в эксперименте E925 [4], приведенные в **табл. 3**. Данные эксперимента E704 [5] при 200 ГэВ приведены в **табл. 4**. В обоих экспериментах при значениях $p_T > 0.7$ ГэВ/с и $x_{\rm F} > 0.7$ асимметрия достигает 40%. В то же время асимметрия начинает возрастать при существенно разных значениях переменной $x_{\rm F}$. При фитировании экспериментальных данных по формуле (1), где асимметрия зависит от $x_{\rm F}$, получаем, что точка пересечения прямой нулевого значения асимметрии в эксперименте E925 равна $x^0_{\rm F} = 0.46 \pm 0.01$, а в эксперименте E704 $x^0_{\rm F} = 0.16 \pm 0.02$. (см. **рис. 2**, верхний ряд). Заметим, что в области фрагментации поляризованного пучка асимметрия практически во всех моделях зависит, в основном, от x_{F} (см. например [6]), что противоречит экспериментальным данным.

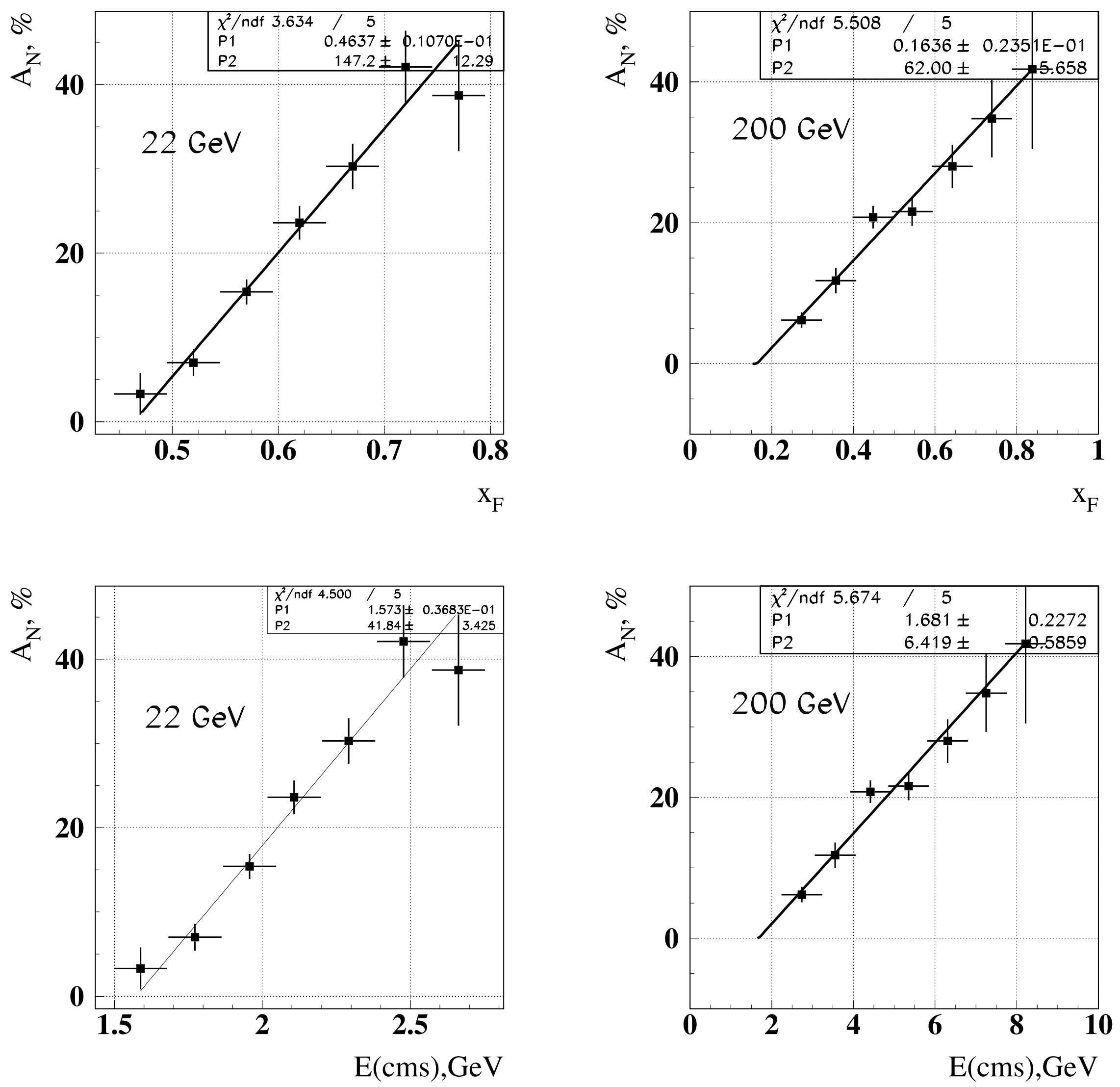

Рис. 2. Зависимость A_N от x_{F} и энергии в системе центра масс в реакции $p_{\uparrow} + p \to \pi^{+} + X$ в области фрагментации поляризованного пучка в экспериментах E925 при 22 ГэВ(слева) и E704 при 200 ГэВ

Ранее во введении и в работе [2] было отмечено, что в реакции $\pi^{-} + p_{\uparrow} \to \pi^{0} + X$ для двух разных кинематических областей (в области фрагментации поляризованной частицы и в центральной области при $x_{\mathrm{F}} \approx 0$) абсолютное значение асимметрии начинает возрастать при одном и том же значении энергии π^0-мезона в системе центра масс. Для каждого эксперимента найдем зависимость асимметрии от энергии в системе центра масс E_{cms} (см. **рис. 2**, нижний ряд). Точки пересечения прямой с осью абсцисс (1.57 ± 0.04) ГэВ для эксперимента E925 и (1.68 ± 0.22) ГэВ для E704 совпадают в пределах ошибок между собой и близки к результатам, полученным для асимметрии π^0-мезона.

Для всех остальных экспериментов далее сразу анализировалась зависимость асимметрии от полной энергии π-мезона в системе центра масс функцией (1).

Измерения в БНЛ при 13.3 и 18.5 ГэВ

Асимметрия в БНЛ при энергии поляризованного протонного пучка 13.3 и 18.5 ГэВ исследовалась при $< x_{\mathrm{F}} >= 0.2$ в зависимости от поперечного импульса. Результаты, взятые из работы [7], приведены на **рис. 3** и в в **табл. 5**. Пересечение оси линейной функцией происходит при $E^0_{cms} = (1.26 \pm 0.04)$ ГэВ при энергии пучка 13.3 ГэВ, и в точке $E^0_{cms} = (1.46 \pm 0.08)$ ГэВ при 18.5 ГэВ.

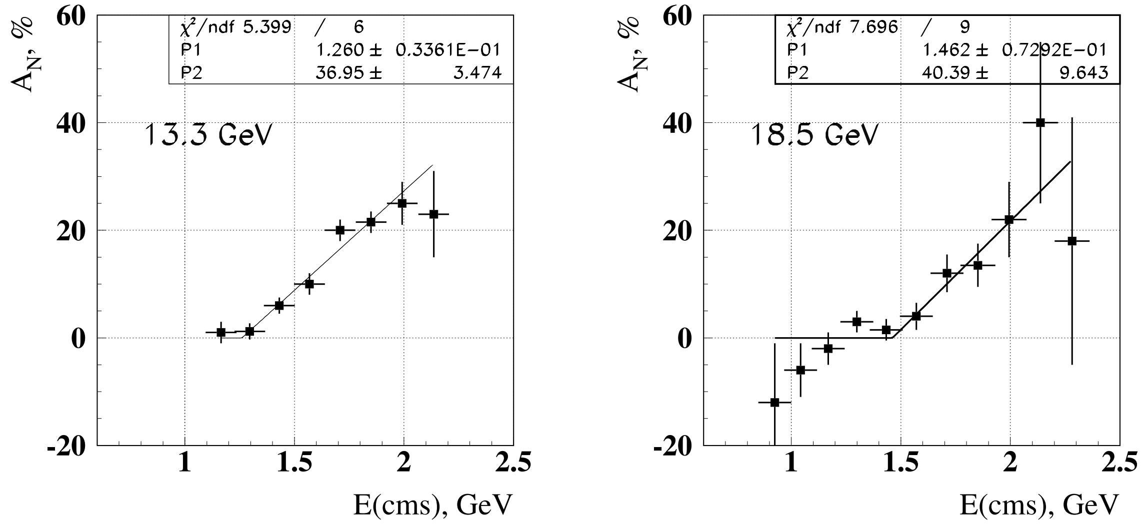

Рис. 3. Зависимость A_N от E_{cms} в реакции $p_\uparrow + p \to \pi^+ + X$ при 13.3 (слева) и 18.8 ГэВ/с [7].

Измерения в ИФВЭ при 40 ГэВ

Асимметрия инклюзивного рождения π^+-мезонов была также измерена в эксперименте ФОДС, Протвино [8]. Авторы сделали вывод, что асимметрия пересекает ноль при фитировании данных прямой линией при $x_T = 0.37 \pm 0.02$, что соответствует при $x_{\mathrm{F}} \equiv 0$ значению энергии (1.62 ± 0.1) ГэВ в системе центра масс. К сожалению в работе не приведено значения x_{F} для каждого интервала по поперечному импульсу. В то же время в работе указано, что среднее значение x_{F} менялось от 0.02 до 0.1. Значение $x_{\mathrm{F}} = 0.1$ для каждого интервала по продольному импульсу означает пересечение оси при $E_{cms} = 1.66$ ГэВ. Поэтому с хорошей точностью получаем $E^0_{cms} = 1.64 \pm 0.15$ ГэВ.

Односпиновые асимметрии инклюзивного образования π^0-мезонов.

Асимметрия инклюзивного рождения π^0-мезонов исследовалась в ЦЕРН при 24 ГэВ в $pp_\uparrow$-рассеянии, в Протвино в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ при 40 ГэВ и реакции $pp_\uparrow \to \pi^0 + X$ при 70 ГэВ, а также в Фермилабе при 200 ГэВ в $p_\uparrow p$ и $\bar{p}_\uparrow p$ взаимодействиях. Результаты анализа асимметрии в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ при 40 ГэВ рассмотрено ранее.

Измерения в реакции $pp_\uparrow \to \pi^0 + X$.

Результаты измерения асимметрии в реакции $p + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ при энергии 24 ГэВ [9] приведены в **табл. 7** и на **рис. 4** (слева). Асимметрия возрастает, начиная с $p_T = (1.70 \pm 0.07)$ ГэВ/с.

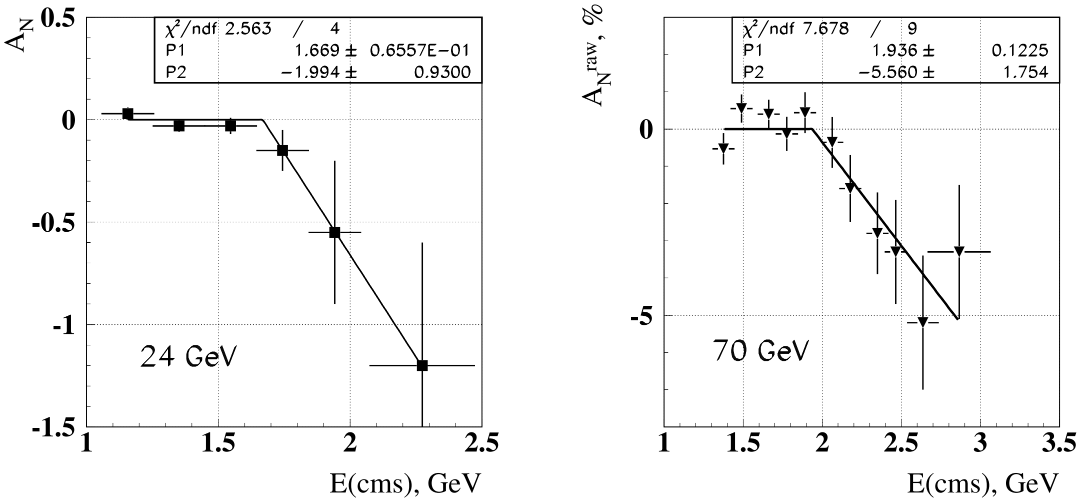

Рис. 4. Зависимость A_N от E_{cms} в реакции $pp_{\uparrow} \to \pi^0 + X$ в центральной области при 24 ГэВ (ЦЕРН, слева) и в области фрагментации поляризованной частицы при 70 ГэВ(Протвино, справа).

Предварительные результаты измерения A_N в реакции $pp_{\uparrow} \to \pi^0 + X$ при энергии 70 ГэВ опубликованы в работе [3]. В центральной области измеренная асимметрия близка к нулю, тогда как в области фрагментации мишени “сырая асимметрия” A_N^{raw} достигала -3%, что соответствует величине -30% физически наблюдаемой A_N. Данные представлены в **табл. 8** и на **рис. 4** (справа). Точка пересечения прямой оси абсцисс равна $E^0_{cms} = (1.93 \pm 0.12)$ ГэВ.

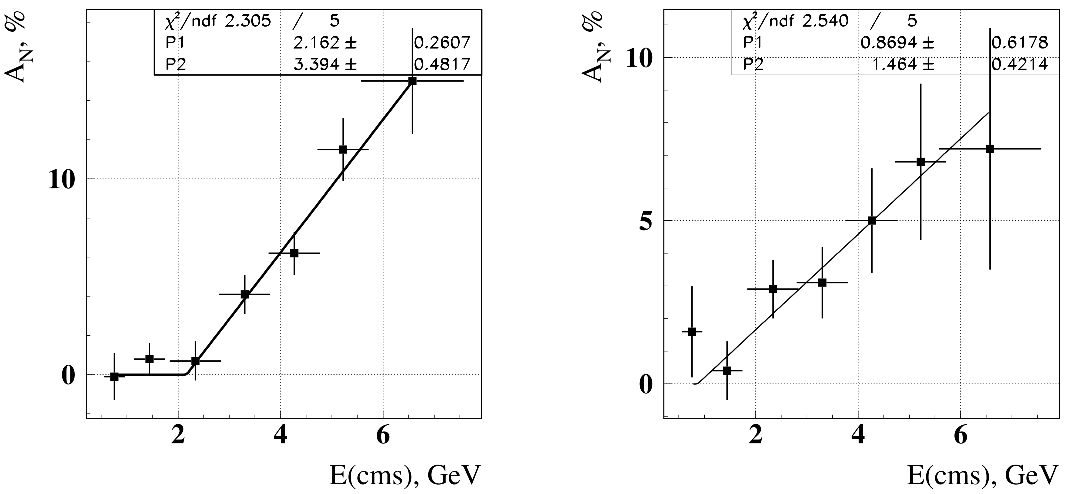

Рис. 5. Зависимость асимметрии A_N π^0-мезонов от E_{cms} в $p_{\uparrow}p$ (слева) и $\bar{p}_{\uparrow}p$ (справа) взаимодействии в области фрагментации пучка при 200 ГэВ (ФНАЛ). Две прямые показывают зависимость значения точки пересечения от выбора области фитирования.

Измерения в реакции $p_\uparrow(\bar{p}_\uparrow) + p \to \pi^0 + X$ при 200 ГэВ.

Асимметрия A_N в реакции $p_\uparrow(\bar{p}_\uparrow) + p \to \pi^0 + X$ при 200 ГэВ, измеренная в эксперименте E704 [10], приведена в **табл. 9** и на **рис. 5**. Асимметрия в реакции $p_\uparrow + p \to \pi^0 + X$ начинает расти при $E^0_{cms} = (2.16 \pm 0.26)$ ГэВ, а в реакции $\bar{p}_\uparrow + p \to \pi^0 + X$ при $E_{cms} = (0.9 \pm 0.6)$ ГэВ.

В центральной области в реакции $p_\uparrow + p \to \pi^0 + X$ асимметрия совпадала с нулем во всем диапазоне измерений [11].

Односпиновые асимметрии инклюзивного образования π^--мезонов.

Подобные же исследования были проведены для реакции $p_\uparrow + p \to \pi^- + X$ при 22 [4] и 200 ГэВ [5]. Результаты фитирования приведены на **рис. 6**. Асимметрия начинает возрастать при $E^0_{cms} = (1.95 \pm 0.02)$ ГэВ для эксперимента E925 и при $E^0_{cms} = (2.9 \pm 0.2)$ при 200 ГэВ для эксперимента E704.

Асимметрия π^- в реакции $p_\uparrow + p \to \pi^- + X$ в центральной области во всех проведенных экспериментах при 13.3 и 18.5 ГэВ в БНЛ [7] и при 40 ГэВ в ИФВЭ [8] совместима с нулем.

Односпиновые асимметрии в реакции $\bar{p}_\uparrow p \to \pi^\pm + X$ при 200 ГэВ

Асимметрия в реакции $\bar{p}_\uparrow p \to \pi^\pm X$ при 200 ГэВ приведена на **рис. 7** и в **табл. 6**. Для π^+-мезонов точка пересечения линейной функцией оси абсцисс равна $E^0_{cms} = 3.1 \pm 0.5$. Для π^--мезонов данные имеют очень большие ошибки, поэтому результат сильно зависит от того, учитывать при фитировании вторую точку или нет. Если она входит в фитирование, то $E^0_{cms} = 1.0 \pm 2.2$ ГэВ, если же ее исключить из фитирования, то результат равен $E^0_{cms} = 1.6 \pm 1.9$ ГэВ.

Обсуждение результатов.

В **табл. 10** и на **рис. 8** приведены все обсуждавшиеся результаты. В ошибках учтена как ошибки фитирования, так и разрешение по кинематическим переменным. В таблице также приведены значения

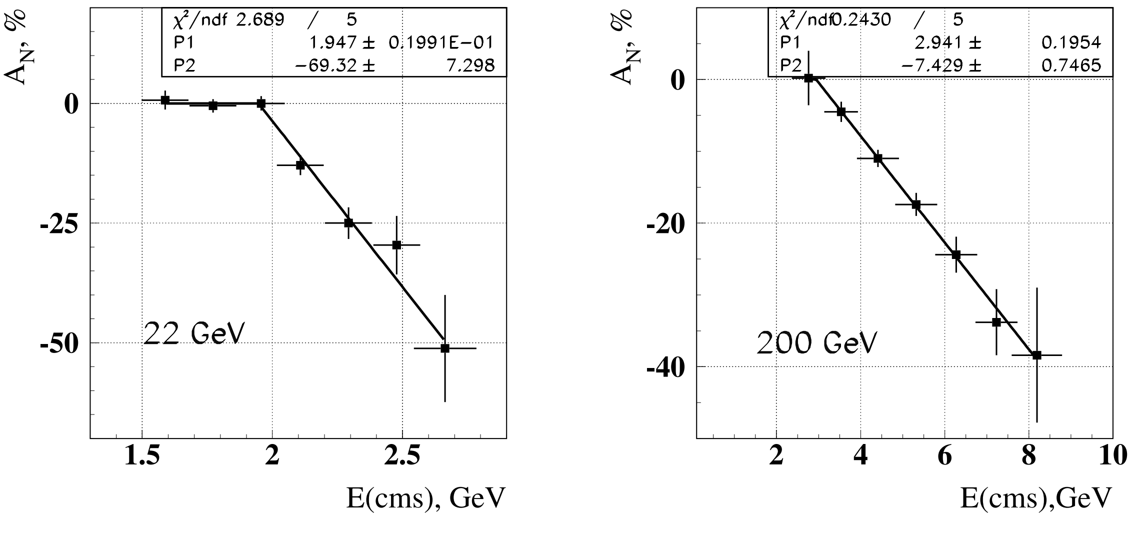

Рис. 6. Зависимость A_N от E_{cms} в реакции $p_\uparrow + p \to \pi^- + X$ в области фрагментации мишени при импульсе пучка 22 ГэВ/с (слева) и 200 ГэВ/с(справа).

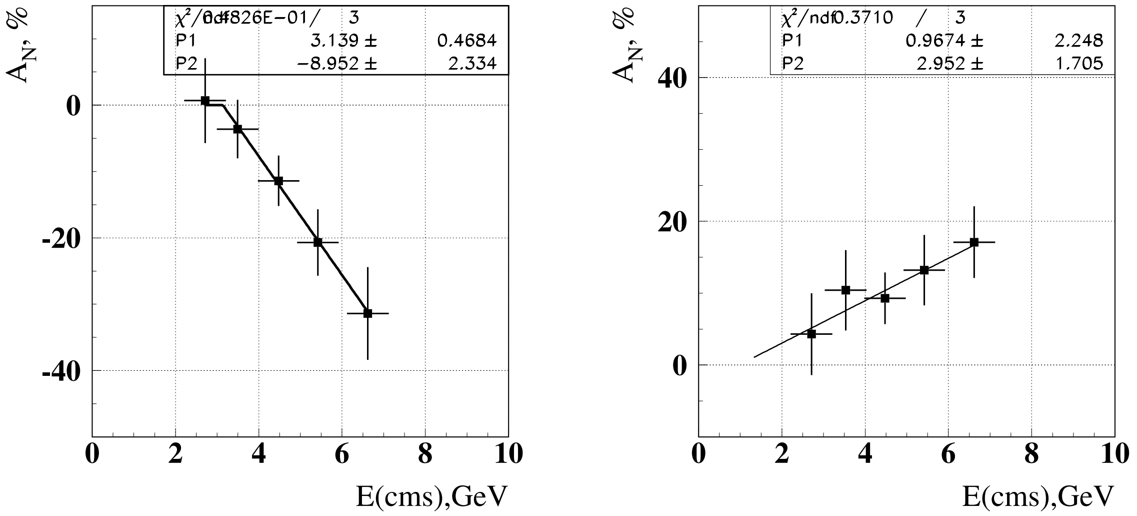

Рис. 7. Зависимость A_N π^+-мезонов (слева) и π^--мезонов (справа) от E_{cms} в $\bar{p}_\uparrow p$ взаимодействии при 200 ГэВ [12].

χ^2/N и наклон $k \cdot (\sqrt{s} - E^0_{cms})$, характеризующий асимптотическую асимметрию на конце фазового объема при ее дальнейшем описании линейной функцией и отсутствии насыщения. В таблице не приведены эксперименты, в которых асимметрия равна нулю.

Отметим, что равна нулю асимметрия инклюзивного рождения π^0 и π^--мезонов в $p_\uparrow p$ взаимодействии в центральной области. Если в области фрагментации π^--мезон рождается, в основном, от валентного d-кварка, поляризация которого считается противоположной направлению поляризации протона и u-кварка (по SU(6) и из данных по структурным функциям для продольно поляризованного протона, см. например [13]), то в центральной области вклад в образование π^--мезона дают и другие каналы с разными значениями поляризации кварка. Поэтому в области фрагментации поляризованной частицы асимметрии π^--мезона, рождающегося от d-кварка, и π^+-мезона, рождающегося от u-кварка, противоположны, тогда как в центральной области асимметрия π^--мезона размывается, просто из-за того, что в протоне один валентный d-кварк и два u-кварка. Это может служить объяснением, почему в $p_\uparrow p$ взаимодействии в центральной области близка к нулю асимметрия π^0-мезона. В случае $\pi^- p_\uparrow$ взаимодействия большая асимметрия π^0-мезона может возникнуть при образовании π^0-мезона из валентных $\overline{u}$-кварка от падающего π^-мезона и u-кварка из поляризованного протона, тогда как вклад валентного d-кварка из протона при больших поперечных импульсах в данном случае существенно подавлен относительно указанного канала.

Отметим, что асимметрия инклюзивного рождения π^+-мезонов начинает возрастать при одном и том же значении E^0_{cms} в диапазоне $\sim 1.5 \div 2.$ ГэВ. Такое же поведение наблюдается и для π^0-мезонов. В то же время, для π^--мезонов данное утверждение 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. Отметим, что мы рассматриваем только данные с $p_T > 0.5$ ГэВ/с. При образовании π^--мезонов, как уже отмечалось ранее, вклад могут давать и другие каналы, при этом соотношение вкладов каналов может зависеть от x_R, то есть 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. Отметим, что 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. Именно такое поведение и наблюдается

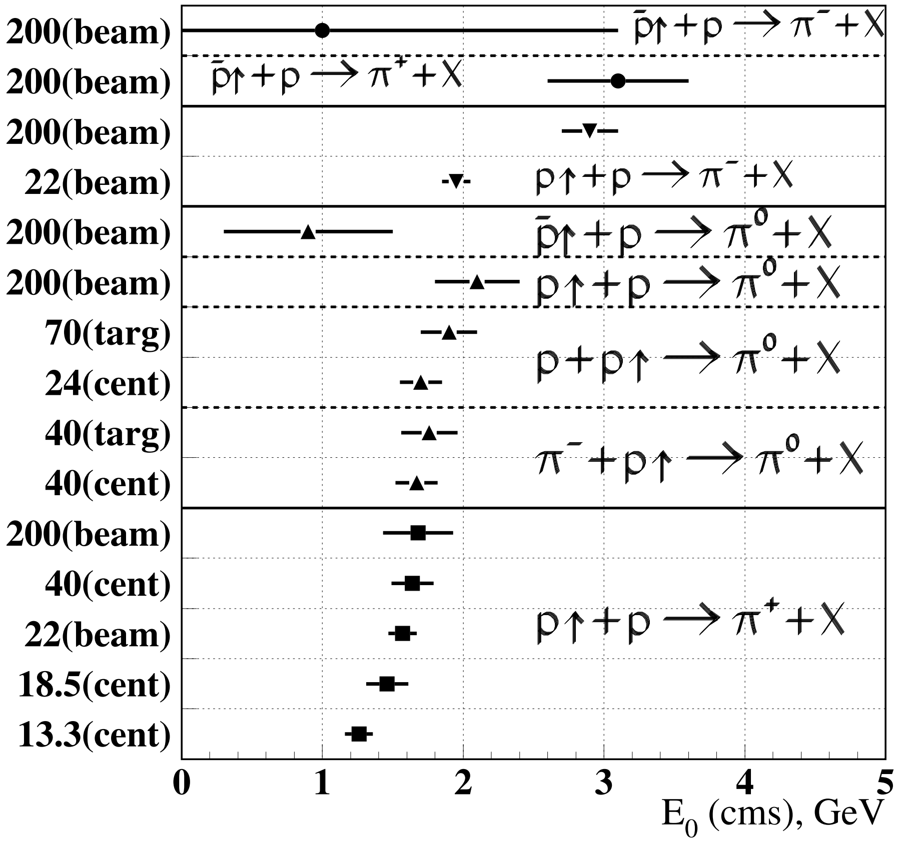

Рис. 8. Точки начала появления асимметрии для разных экспериментов. *cent*– эксперименты в центральной области (при $x_f \approx 0$), *targ* –в области фрагментации мишени, *beam* –в области фрагментации пучка.

— 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 $p_\uparrow + p \to \pi^+ + X$.

Отметим также, что для четырех экспериментов, в которых измерялась асимметрия в реакции $p_\uparrow + p \to \pi^+ + X$, значения $k \cdot (E^{max}_{cms} - E^0_{cms})$ близки.

Выводы

В работе проведен анализ данных по односпиновой асимметрии инклюзивного образования π-мезонов в экспериментах с фиксированной мишенью в диапазоне энергий пучка от 10 до 200 ГэВ. Обнаружен экспериментальный факт, что для π-мезона, родившегося от кварков, число которых в адроне больше и поляризация которых совпадает с поляризацией адрона, асимметрия начинает возрастать при одном и том же значении энергии π-мезона в системе центра масс E^0_{cms} и не зависит от начальной энергии пучка.

Благодарности

Авторы глубоко признательны Ю.А. Матуленко, Л.В. Ногач, П.А. Семенову, Л.Ф. Соловьеву, К.Е. Шестерманову, и также А.М. Зайцеву и В.В. Киселеву за полезные обсуждения.

Работа поддержана грантом РФФИ 03-02-16919.

Список литературы

[1] Н.С. Амаглобели и др. — ЯФ, 50(1989),695; V.D. Apokin et al, Phys.Lett.,B243(1990),461.

[2] А.Н. Васильев и др. — Препринт ИФВЭ 2003-21, Протвино, 2003; направлено в ЯФ.

[3] N. Belikov et al — preprint IHEP-1997-51, Protvino, 1997; N. Belikov et al — Proc. of 13th International Symposium on High-Energy Spin Physics (SPIN 98), Protvino, Russia, 8-12 Sep 1998. In *Protvino 1998, High energy spin physics* 465-467.

[4] C.E. Allgower et al. — Phys.Rev.**D65**(2002),092008.

[5] D.L. Adams et al. — Phys. Lett. **B264** (1991), 462.

[6] M. Anselmino and F.Murgia — Phys.Lett. **B442** (1998), 470; hep-ph/9808426.

[7] S. Heppelmann et al. — SINGLE SPIN ASYMMETRY IN LARGE P(T) INCLUSIVE PI+ AND PI- PRODUCTION FROM P (POLARIZED) P INTERACTIONS, Prepared for 8th International Symposium on High-energy Spin Physics, Minneapolis, MN, 12-17 Sep 1988. In *Minneapolis 1988, Proceedings, High-energy spin physics, vol. 1*, pp. 157-159.

[8] V.V. Abramov et al. — Preprint IHEP-96-82, Protvino, 1996; Nucl.Phys.**B492** (1997), 3; hep-ex/0110011.

[9] J. Antille et al., — Phys.Lett.,**B94** (1980),523.

[10] D.L. Adams et al — FERMILAB-PUB-91-014-E; ANL-HEP-PR-91-09; IFVE-91-50; Phys.Lett.**B276**(1992), 531.

[11] D.L. Adams et al. — Preprint IHEP 91-49; Z.Phys.**C56**(1992), 181.

[12] A. Bravar et al — Phys.Rev.**D55** (1997),1159.

[13]D. Adams et al. (By Spin Muon Collaboration) — CERN-PPE-97-022; CERN-PPE-97-22; DAPNIA-SPHN-97-27; Phys.Rev.**D56** (1997), 5330; hep-ex/9702005.

Таблица 1. Зависимость A_N от p_T в реакции $\pi^- + p_\uparrow(d_\uparrow) \to \pi^0 + X$ в центральной области при 40 ГэВ/c [1].

p_T,ГэВ/c	$\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$	$\pi^- + d_\uparrow \to \pi^0 + X$	$\pi^- + N_\uparrow \to \pi^0 + X$
1.2 - 1.4	10 ± 6		
1.4 - 1.6	-4 ± 10		
1.6 - 1.8	-8 ± 7	3 ± 4	0.3 ± 3.5
1.8 - 2.0	-14 ± 5	-14 ± 6	-14 ± 4
2.0 - 2.2	-7 ± 7	-13 ± 9	-9 ± 5
2.2 - 2.4	-35 ± 12	-24 ± 15	-30 ± 9
2.4 - 2.6	-56 ± 20	-47 ± 27	-53 ± 16
2.6 - 3.2	-35 ± 19	-100 ± 31	-53 ± 16

Таблица 2. A_N от E_{cms} в реакции $\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ в области фрагментации мишени при 40 ГэВ/c

$< E_{cms} >$, ГэВ	0.99	1.39	1.79	2.18	2.6	3.3
A_N,%	1.8 ± 1.8	$0. \pm 2.1$	$0. \pm 2.4$	-4.7 ± 4.6	-18.4 ± 6.2	-14.0 ± 10.0

Таблица 3. Асимметрии $\pi^{\pm}$-мезонов в реакции $p_{\uparrow}+p \to \pi^{\pm}+X$ в эксперименте E925 при 22 ГэВ [4].

$x_{\rm F}$	$< p_T >$,ГэВ/с	A_N,% в реакции $p_{\uparrow}+p \to \pi^{+}+X$	A_N,% в реакции $p_{\uparrow}+p \to \pi^{-}+X$
0.45-0.50	~ 0.5	3.3 ± 2.5	0.7 ± 2.0
0.50-0.55	~ 0.6	7.0 ± 1.6	-0.5 ± 1.4
0.55-0.60	~ 0.7	15.4 ± 1.1	0.0 ± 1.5
0.60-0.65	~ 0.7	23.6 ± 2.0	-12.9 ± 2.1
0.65-0.70	~ 0.8	30.3 ± 2.7	-25.0 ± 3.3
0.70-0.75	~ 0.9	42.1 ± 4.3	-29.6 ± 6.1
0.75-0.80	~ 1.0	38.7 ± 6.6	-51.2 ± 11.2

Таблица 4. Зависимость асимметрии $\pi^{\pm}$-мезонов от $x_{\rm F}$ в реакции $p_{\uparrow}+p \to \pi^{\pm}+X$ в эксперименте E704 при $p_T >$ 0.5 ГэВ/с и энергии 200 ГэВ [5].

$< x_{\rm F} >$	A_N,% в реакции $p_{\uparrow}+p \to \pi^{+}+X$	A_N,% в реакции $p_{\uparrow}+p \to \pi^{-}+X$
0.273	6.2 ± 1.1	0.2 ± 3.8
0.357	11.8 ± 1.8	-4.5 ± 1.4
0.448	20.8 ± 1.6	-11.0 ± 1.2
0.544	21.6 ± 2.0	-17.4 ± 1.6
0.642	28.0 ± 3.1	-24.4 ± 2.5
0.739	34.8 ± 5.5	-33.8 ± 4.6
0.838	41.8 ± 11.3	-38.4 ± 9.4

Таблица 5. Асимметрия π^{+}-мезонов в реакции $p_{\uparrow}+p \to \pi^{\pm}+X$ при 13.3 и 18.5 ГэВ[7]. Измерения проводились при $< x_{\rm F} >= 0.2$.

$< p_T >$, ГэВ/с	A_N,% при 13.3 ГэВ	A_N,% при 18.5 ГэВ
0.70	–	-12 ± 11
0.85	–	-6 ± 5
1.00	1.0 ± 2.0	-2 ± 3
1.15	1.2 ± 1.5	3 ± 2
1.30	6 ± 1.5	2.5 ± 2
1.45	10 ± 2.0	4 ± 2.5
1.60	20 ± 2.0	12 ± 3.5
1.75	21.5 ± 2.0	13.5 ± 4
1.90	25 ± 4.0	22 ± 7
2.05	21 ± 8.0	40 ± 15
2.20	–	18 ± 23

Таблица 6. Зависимость асимметрии $\pi^{\pm}$-мезонов от $x_{\rm F}$ в реакции $\bar{p}_{\uparrow}+p \to \pi^{\pm}+X$ в эксперименте E704 при $p_T >$ 0.5 ГэВ/с и энергии 200 ГэВ [12].

$x_{\rm F}$	A_N,% в реакции $\bar{p}_{\uparrow}+p \to \pi^{+}+X$	A_N,% в реакции $\bar{p}_{\uparrow}+p \to \pi^{-}+X$
0.27	4.3 ± 5.7	0.7 ± 6.4
0.35	11.4 ± 3.6	-3.6 ± 4.3
0.45	9.3 ± 3.6	-11.4 ± 3.8
0.55	13.2 ± 4.9	$-21. \pm 5.$
0.67	17.1 ± 5.0	$-32. \pm 7.$

Таблица 7. Зависимость A_N от p_T в реакции $p + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ при $0. < x_F < 0.1$ и импульсе пучка 24 ГэВ/с [9].

p_T, ГэВ	1.0-1.2	1.2-1.4	1.4-1.6	1.6-1.8	1.8-2.0	2.0-2.5
$< x_T >$	0.33	0.39	0.45	0.51	0.57	0.67
A_N,%	2.9 ± 2.3	-3.0 ± 2.8	-2.6 ± 4.0	$-14. \pm 10.$	$-56. \pm 32.$	-126 ± 71

Таблица 8. Зависимость A_N от E_{cms} в реакции $p + p_\uparrow \to \pi^0 + X$ в области фрагментации мишени при 70 ГэВ/с [3].

$< E_{cms} >$(ГэВ)	A_N^{raw},%	E_{cms}(ГэВ)	A_N^{raw},%
1.37	-0.53 ± 0.42	2.18	-1.6 ± 0.9
1.49	0.55 ± 0.38	2.35	-2.8 ± 1.1
1.66	0.40 ± 0.39	2.46	-3.3 ± 1.4
1.78	0.55 ± 0.38	2.64	-5.2 ± 1.8
1.89	0.44 ± 0.55	2.86	-3.3 ± 1.8
2.06	-0.36 ± 0.68		

Таблица 9. Зависимость A_N от p_T в реакции $p_\uparrow(\bar{p}_\uparrow) + p \to \pi^0 + X$ при $0.5 < p_T < 2.0$ ГэВ/с и энергии 200 ГэВ/с [10].

$< x_F >$	$< p_T >$	A_N,% в реакции $p_\uparrow + p \to \pi^0 + X$	A_N,% в реакции $\bar{p}_\uparrow + p \to \pi^0 + X$
0.03	0.7	-0.1 ± 1.2	1.6 ± 1.4
0.13	0.7	0.8 ± 0.8	0.4 ± 0.9
0.23	0.7	0.7 ± 1.0	2.9 ± 0.9
0.33	0.8	4.1 ± 1.0	3.1 ± 1.1
0.43	0.9	6.2 ± 1.1	5.0 ± 1.6
0.53	0.9	11.5 ± 1.6	6.8 ± 2.4
0.67	1.0	15.0 ± 2.7	7.2 ± 3.7

Таблица 10. Сводная таблица. Точка начала роста асимметрии E^0_{cms} для разных экспериментов. $E^{max}_{cms} = \sqrt{s}/2$.

Реакция	Энергия	E^0_{cms}, ГэВ	χ^2/N	$k \cdot (E^{max}_{cms} - E^0_{cms})$, %	ссылка
$p_\uparrow + p \to \pi^+ + X$	13.3	1.26 ± 0.1	0.9	52 ± 6	[7]
$p_\uparrow + p \to \pi^+ + X$	18.5	1.46 ± 0.15	0.85	63 ± 16	[7]
$p_\uparrow + p \to \pi^+ + X$	21.92	1.57 ± 0.1	0.9	68 ± 6	[4]
$p_\uparrow + p \to \pi^+ + X$	40	1.64 ± 0.15			[8]
$p_\uparrow + p \to \pi^+ + X$	200	1.68 ± 0.25	1.1	52 ± 5	[5]
$\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$	40	1.67 ± 0.15	1.5	107 ± 26	[1]
$\pi^- + p_\uparrow \to \pi^0 + X$	40	1.76 ± 0.2	0.7	36 ± 14	[2]
$p + p_\uparrow \to \pi^0 + X$	24	1.7 ± 0.15	0.6	334 ± 165	[9]
$p + p_\uparrow \to \pi^0 + X$	70	1.9 ± 0.2	0.85	208 ± 70	[3]
$p_\uparrow + p \to \pi^0 + X$	200	2.1 ± 0.3	0.5	26 ± 5	[10]
$\bar{p}_\uparrow + p \to \pi^0 + X$	200	0.9 ± 0.6	0.5	13 ± 4	[10]
$p_\uparrow + p \to \pi^- + X$	21.92	1.95 ± 0.1	0.5	87 ± 11	[4]
$p_\uparrow + p \to \pi^- + X$	200	2.9 ± 0.2	<0.1	51 ± 6	[5]
$\bar{p}_\uparrow + p \to \pi^+ + X$	200	3.1 ± 0.5	<0.1	59 ± 16	[12]
$\bar{p}_\uparrow + p \to \pi^- + X$	200	1.0 ± 2.2	0.1	25 ± 15	[12]