



Исследование механизма происхождения односпиновой асимметрии в инклюзивном образовании адронов на поляризованных пучках ускорителя ИФВЭ



В.В. Абрамов

ГНЦ Институт физики высоких энергий, Протвино

(Предложение физической программы
нового эксперимента в ИФВЭ)

В.В. Абрамов, ИФВЭ

1 марта 2005



План доклада



- Введение

- О происхождении односпиновых асимметрий
- Экспериментальные закономерности
- Предсказания для различных энергий
- Требования к постановке эксперимента
- Оценка времени и точности измерений
- Результаты и выводы

Спин – фундаментальная квантовая характеристика частиц – атомов, ядер, адронов, кварков и глюонов...

Большая односпиновая асимметрия $A_N \leq 40\%$ не объясняется в рамках ТВ КХД.

Причина малости A_N – векторная природа глюонов и малость массы токовых кварков \rightarrow киральная симметрия лагранжиана КХД.

$$A_N \approx \alpha_S m_q / E_q \leq 1\%$$

$$\alpha_S \approx 0,2 - 0,5; \quad m_q \approx 5-10 \text{ МэВ}; \quad E_q \approx P_T \approx 1 \text{ ГэВ/с.}$$

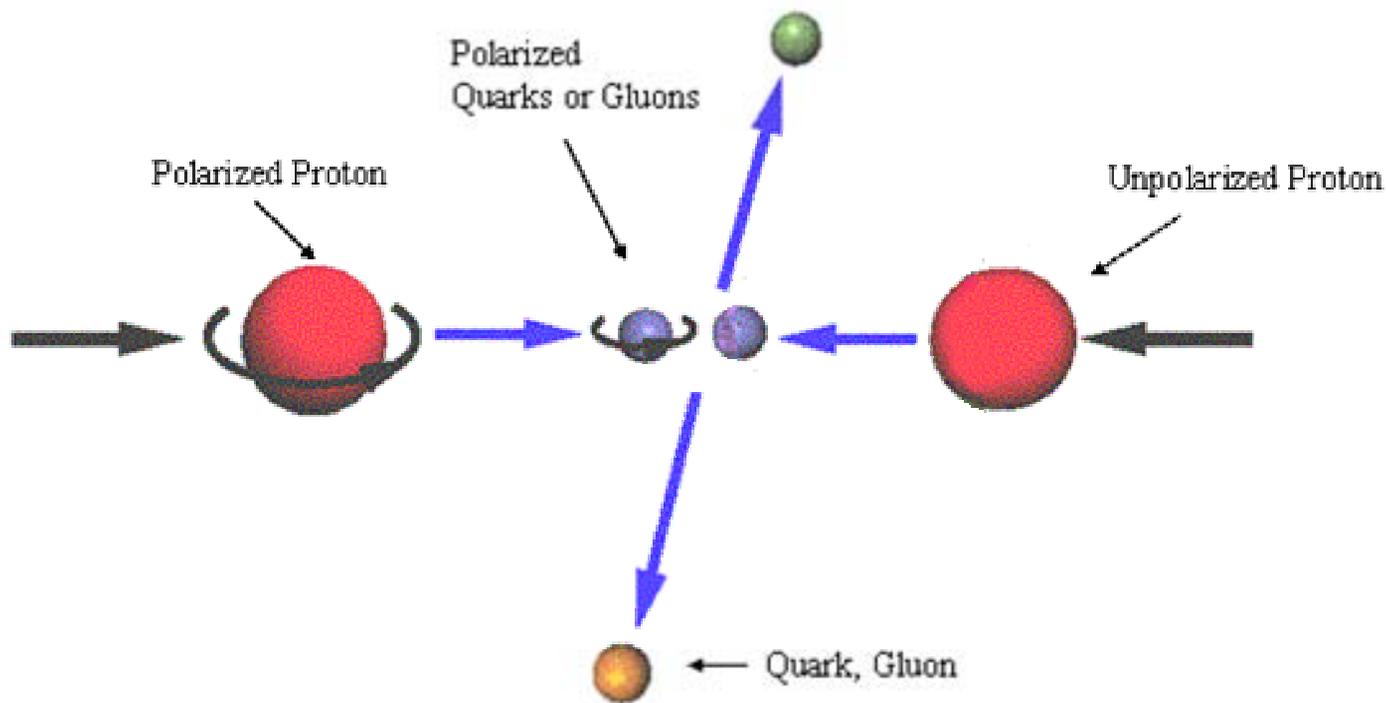
□ Физика односпиновых процессов связана с изучением таких фундаментальных проблем КХД, как спиновые структурные функции адронов, динамика взаимодействия кварков и глюонов, природа конфайнмента и адронизации кварков и глюонов, составляющие и токовые кварки.

□ Детальное изучение этих явлений при высокой точности измерений может привести к качественно новому уровню понимания КХД механизма их происхождения.

□ Анализирующая способность реакции A_N :

$$A_N = (N\uparrow - N\downarrow) / (N\uparrow + N\downarrow) / P / \cos(\varphi),$$

где P -поляризация пучка, $N\uparrow$ и $N\downarrow$ - нормированные выходы частиц для поляризации пучка вверх (\uparrow) или вниз (\downarrow).



$$A\uparrow + B \rightarrow C + X \quad (1)$$

$$A + B \rightarrow C\uparrow + X \quad (2)$$

где A, B, C – адроны, а символ (\uparrow) обозначает поперечную поляризацию.

Одоспиновая асимметрия A_N и поляризация адронов P_N являются, в общем случае, функциями трёх независимых кинематических переменных, например

$$s = (p_A - p_B)^2, \quad t = (p_A - p_C)^2 \quad \text{и} \quad u = (p_B - p_C)^2 \quad (3)$$

Естественно ожидать, что в неупругих соударения при больших $s, -t$ и $-u$ становится важной внутренняя структура адронов. Существенные размерные параметры: радиус адрона R_h , радиус R_Q и масса $M_Q \approx M_p/3$ составляющего кварка, и, возможно, **другие параметры**.

Скейлинг при больших значениях of s , $-t$ и $-u$:

$$A_N = A_N (P_T/P_T^h, P_T/P_T^Q, M_Q/\sqrt{s}, x_A, x_B) \quad (4)$$

$P_T < P_T^h \approx 1/R_h \approx 0.35$ ГэВ (не видно кварков в адроне)

$P_T^h < P_T < P_T^Q$ (проявление составляющих кварков)

$P_T > P_T^Q \approx 3/R_Q \approx 2.7$ ГэВ (переход к токовым кваркам)

Скейлиновые переменные:

$$x_A = -u/s \approx (x_R + x_F)/2 \approx E_C/E_A \text{ (в системе покоя B)} \quad (5)$$

$$x_B = -t/s \approx (x_R - x_F)/2 \approx E_C/E_B \text{ (в системе покоя A)} \quad (6)$$

Пороговая энергия (E_{Th}) адрона C в с.ц.м.:

$$E_{Th} \approx N_Q [M_Q + X_{MIN} \sqrt{s}/2], \quad (7)$$

где N_Q – число кварков в адроне C; X_{MIN} – минимальная доля импульса адрона A для массивного состав. кварка Q.



Проявление пороговой энергии (E_{Th}) адрона C в с.ц.м.



$$E_{Th} \approx N_Q[M_Q + X_{MIN}\sqrt{s}/2],$$

$$\delta P_Z \geq \hbar/2R_P \approx 0.113$$

$$\delta X/X \approx \delta P_Z/M_Q \approx 0.312$$

$$X_{MIN} = 1/3 - 2 \delta X \approx 0.129$$

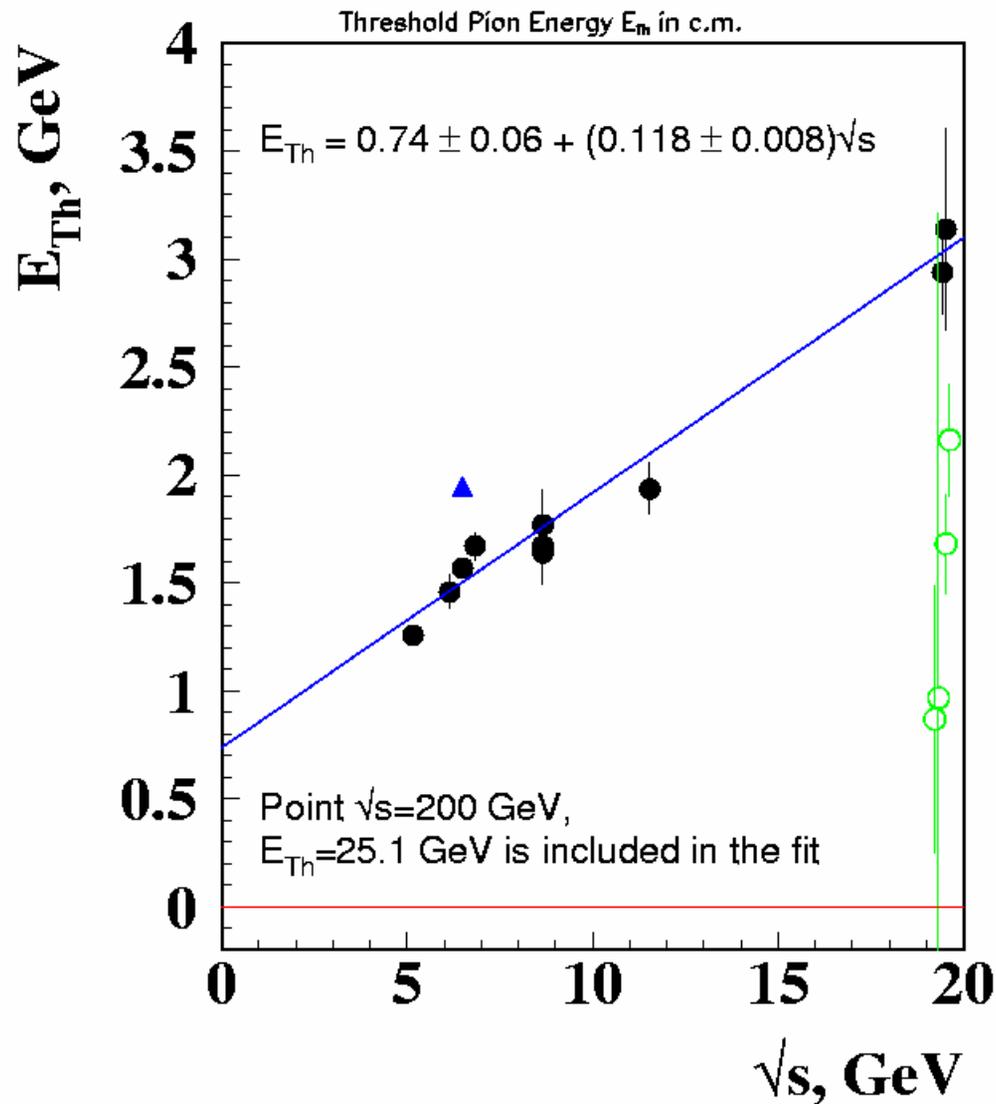
$$M_Q = 0.37 \pm 0.03 \text{ ГэВ}$$

$$X_{MIN} = 0.118 \pm 0.008$$

$$A_N \sim F(P_T)[G(X_A - X_{Th}) -$$

$$G(X_B - X_{Th})];$$

$$X_{Th} \approx N_Q[2M_Q/\sqrt{s} + X_{MIN}]$$





Симметрия A_N и P_N относительно перестановки адронов А и В



Для соударений тождественных адронов $A \equiv B$:

$$P_N(P_T, -X_F) = -P_N(P_T, X_F) \quad (8)$$

$$P_N(P_T, X_F = 0) = 0 \quad (9)$$

Автоматически выполняются для

$$P_N = F(P_T) [G(X_A) - G(X_B)] \quad (10)$$

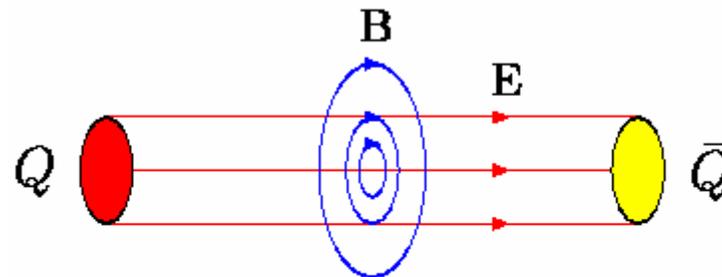
Общий случай не тождественных адронов $A \neq B$:

$$A_N = F(P_T) [G(X_A - X_2) - \sigma(\theta_{cm})G(X_B + X_2)] \quad (11)$$

(11) справедлива для асимметрии (A_N) и поляризации (P_N).

$X_2 \equiv 0$, $\sigma(\theta_{cm} = 90^\circ) = 1$ для тождественных адронов $A \equiv B$.

Продольное хромоеlectрическое
и циркулярное хромоманнитное
поля в трубке цветового потока.



$\mu = sgg_s/2M_Q$ – хромоманнитный
момент составляющего кварка.

*Color flux tube fields B and E.
A.B.Migdal, S.B.Khohlov, 1985*

Зависимость поля B от расстояния r от оси трубки:

$$B = -2\alpha_s v r/\rho^3 \exp(-r^2/\rho^2) \quad (12)$$

Где v – число кварков, $\rho \approx 1.25R_C \approx 2.08 \text{ ГэВ}^{-1}$,

$R_C^{-1} \approx 0.6 \text{ ГэВ}$, R_C – радиус конфайнмента.

Действие сил Штерна-Герлаха на кварк: (Рыскин, 1987)

$$f_x = \mu_x \partial B_x / \partial x + \mu_y \partial B_y / \partial x \quad (13)$$

$$f_y = \mu_x \partial B_x / \partial y + \mu_y \partial B_y / \partial y \quad (14)$$

Прецессия вектора спина кварка ξ в поле $\mathbf{B} \approx \alpha_s v r / \rho^3$:

$$d\xi/dt \approx a[\xi \mathbf{B}] \quad (15)$$

$$a = g_s/2M_Q(g - 2 + 2M_Q/E_Q) \quad (16)$$

$$g - 2 \approx -\alpha_s/6\pi \quad (\text{в Стандартной модели}) \quad (17)$$

$$\xi_y(S) = \xi_y^0 [\cos(kS)(B_x/B)^2 + (B_y/B)^2] \quad (18)$$

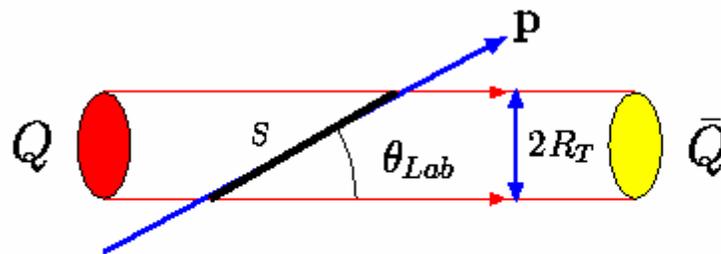
где S – длина пройденного пути, $k = aB/v$, $dS = vdt$.

$$\delta P_x \approx \int \mu_y \partial B_y / \partial x dS \approx \mu \xi_y^0 \sin(kS)/ar \quad (19)$$

Где $r \sim \rho \approx 2.08 \text{ ГэВ}^{-1}$, скорость $v = c = 1$.

Длина пути (S) кварка в поле трубки при фиксированном p_T

$$S \sim R_T / \sin(\theta_{Lab}) \sim p / p_T \sim P_A X_A / p_T$$



Quark path length S in a color flux tube.

$$S \sim l_f \sim p \sim P_A X_A \quad (\text{если длина формирования меньше } S)$$

$$A_N \sim \delta P_x \sim \mu \sin(kS) / a \sim \sin(kS) / (g - 2) \quad (20)$$

$$kS \sim X_A v / M_Q \sim \omega_A X_A \quad (21)$$

$$G(X_A) \sim \sin[\omega_A (X_A - X_{Th})], \quad (22)$$

где X_{Th} учитывает наличие пороговой энергии E_{Th} .

Односпиновая асимметрия адронов (A_N) и поляризация гиперонов (P_N) в инклюзивных процессах имеют много общих свойств:

- 1) большая величина A_N и P_N , много больше ожидаемой в рамках теории возмущений КХД, особенно в области фрагментации налетающей частицы;**
- 2) скейлинговый характер зависимости A_N и P_N от кинематических переменных в области высоких энергий;**
- 3) проявление общности в зависимости A_N и P_N от квантовых чисел адронов, участвующих в реакции;**
- 4) осцилляция A_N и P_N в зависимости от кинематических переменных для ряда реакций.**

Зависимость A_N и P_N от кинематических переменных:

$$A_N = F(P_T)[G(\omega_A, x_A) - \sigma(\theta) G(\omega_B, x_B)] \quad (23)$$

$$G(\omega_A, x_A) = C(\sqrt{s}) \sin[\omega_A(x_A - x_{Th})] \quad (24)$$

$$\sigma(\theta) = \chi \sin(\theta) + 1 - \chi \quad (\text{для } A \equiv B) \quad (25)$$

$$x_{Th} = 2E_0 / \sqrt{s} + x_0 \quad (26)$$

$$C(\sqrt{s}) = C_0 / [1 - E_R / \sqrt{s}] \quad (27)$$

$$x_A = -u/s \approx (x_R + x_F)/2 \approx E_C/E_A \quad (\text{в системе покоя B}) \quad (28)$$

$$x_B = -t/s \approx (x_R - x_F)/2 \approx E_C/E_B \quad (\text{в системе покоя A}) \quad (29)$$



Сравнение данных при энергии 11.75 ГэВ с зависимостями (23)-(29)

FODS-2

ANL - основные данные для
определения параметров в (23)-(29):

$$\omega_A = \omega_B = 2.56 \pm 0.05$$

$$\sigma(\theta) = \chi \sin(\theta) + 1 - \chi$$

$$\chi = 0.86 \pm 0.03$$

$$x_{Th} = 2E_{Th} / \sqrt{s} + x_0$$

$$E_0 = 1.29 \pm 0.02 \text{ ГэВ}$$

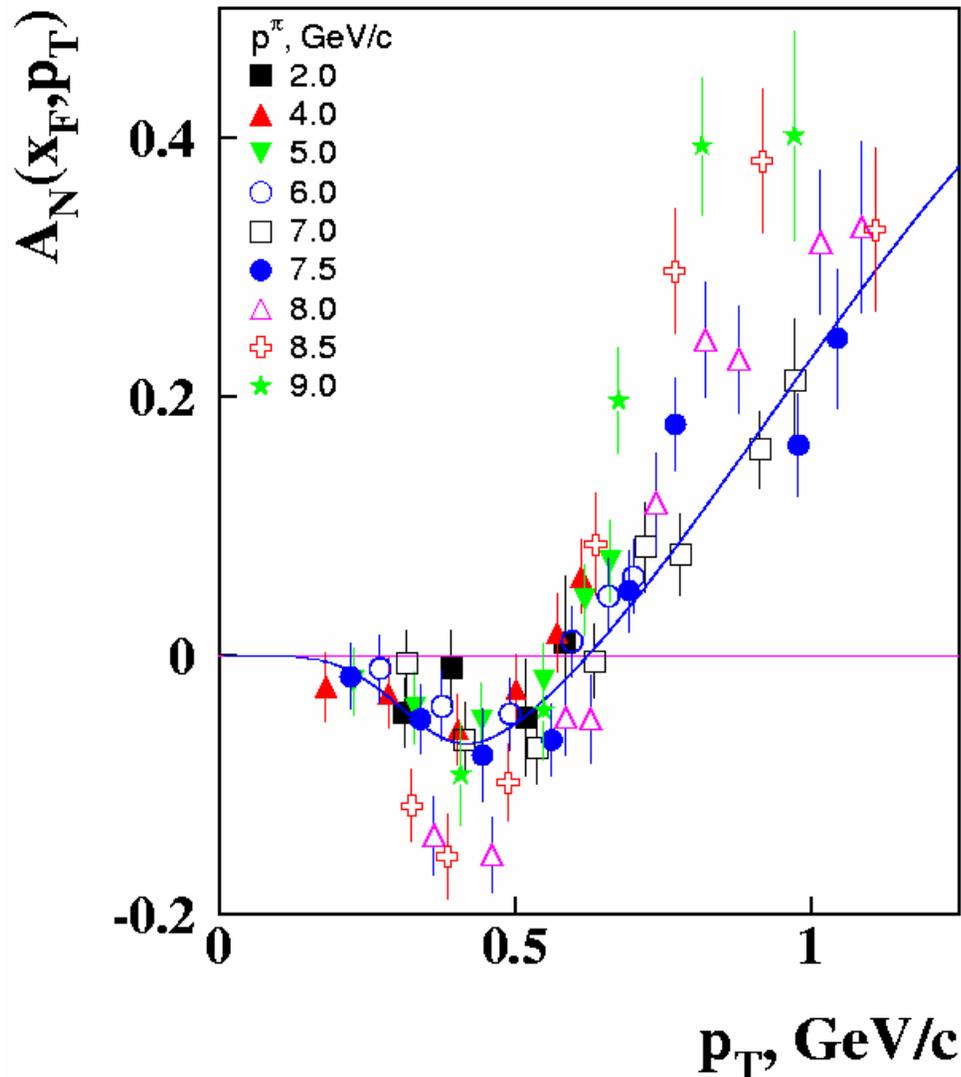
$$x_0 = 0.25 \pm 0.02 \text{ (STAR)}$$

$$C(\sqrt{s}) = C_0 / [1 - E_R / \sqrt{s}]$$

$$E_R = 3.73 \pm 0.13 \text{ ГэВ}$$

$$C_0 = 0.267 \pm 0.011$$

$pp \rightarrow \pi^+$, 11.75 GeV/c, ANL



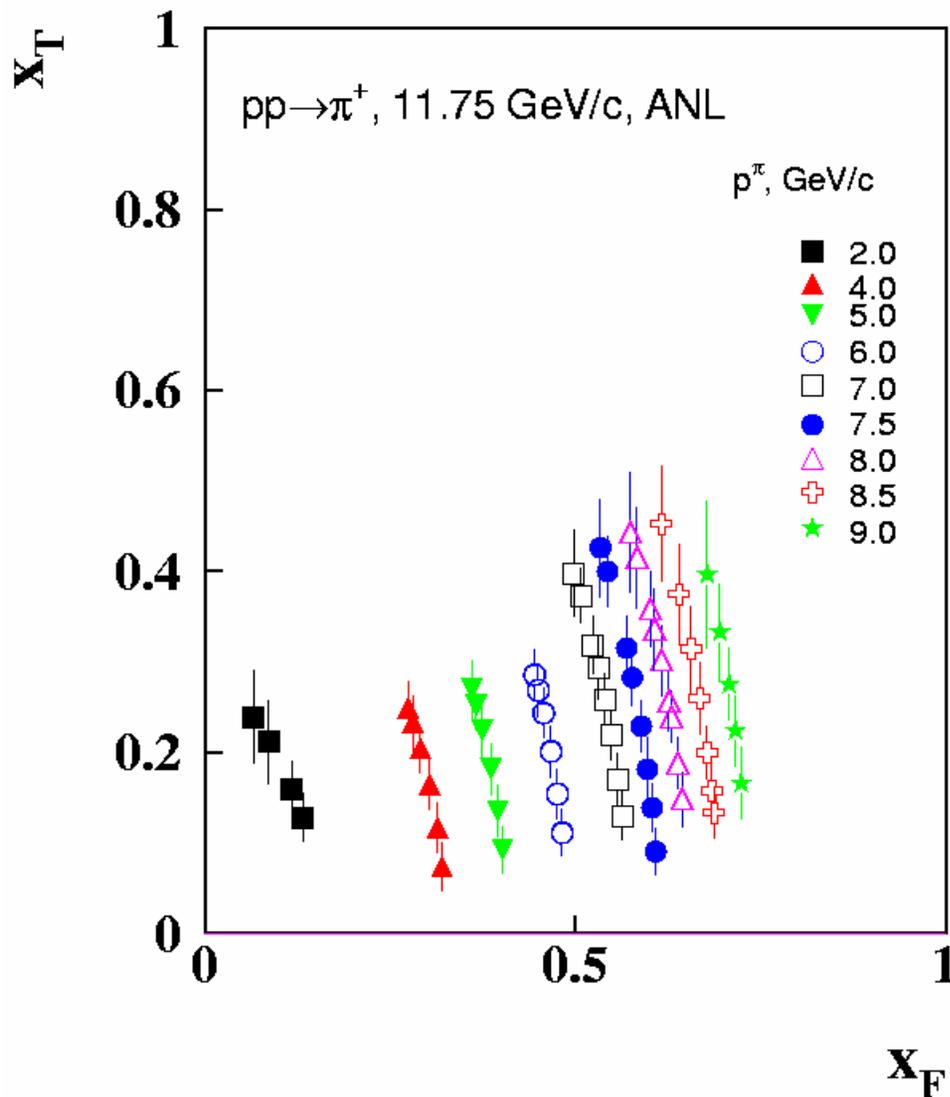


Кинематическая область для данных ANL при энергии 11.75 ГэВ



□ Данные **ANL** – единственные, где удалось разделить зависимость от продольной и поперечной компонент импульса. Этому способствовали очень подробные и точные измерения при различных углах регистрации частиц.

□ На установке ФОДС-2 и в других экспериментах необходимо провести подробные измерения в диапазоне углов $10^\circ - 130^\circ$.

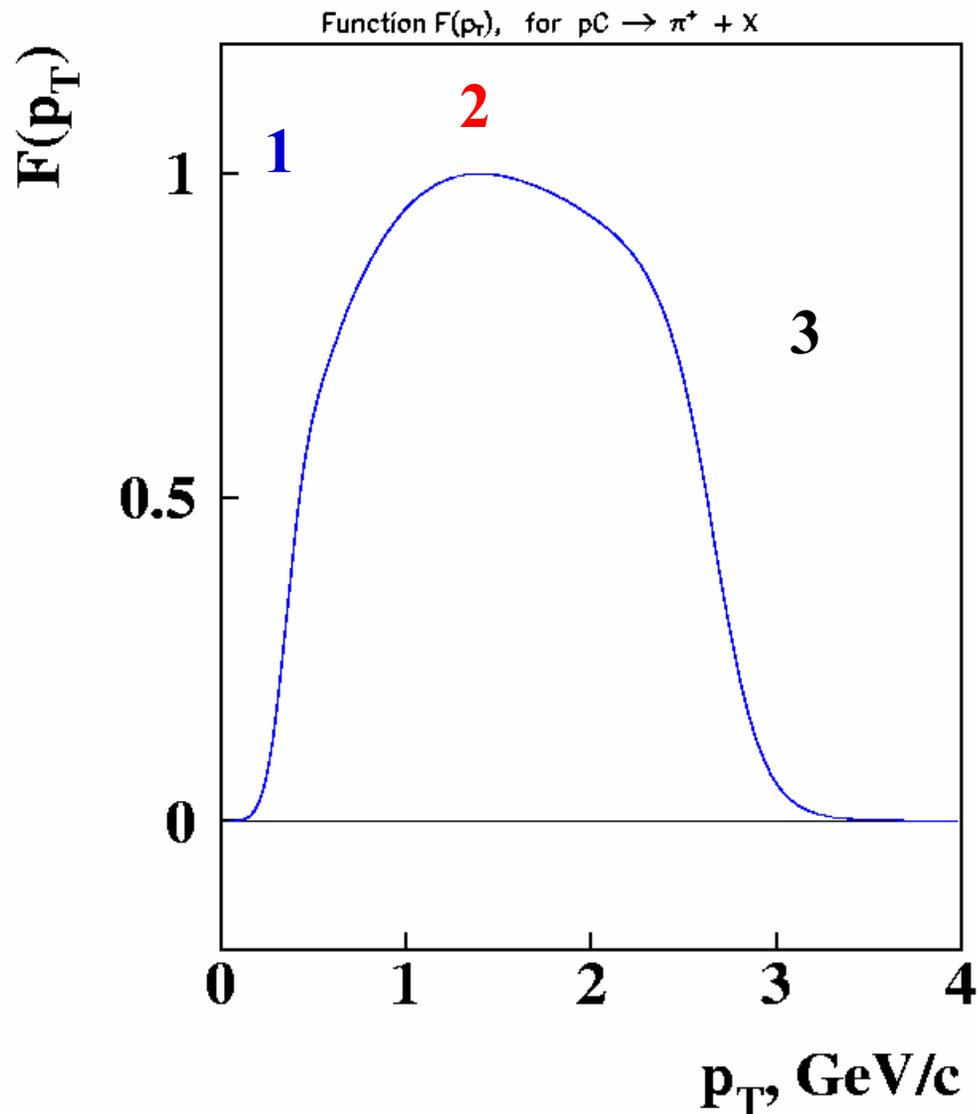




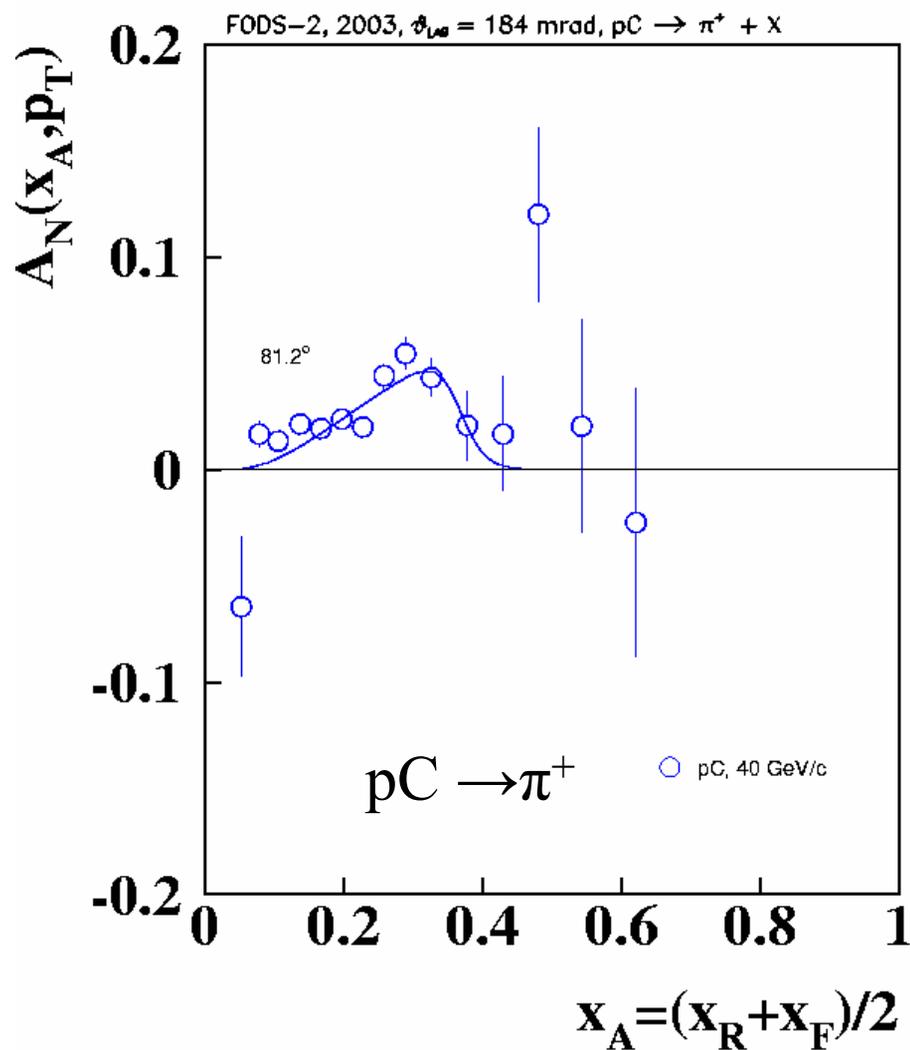
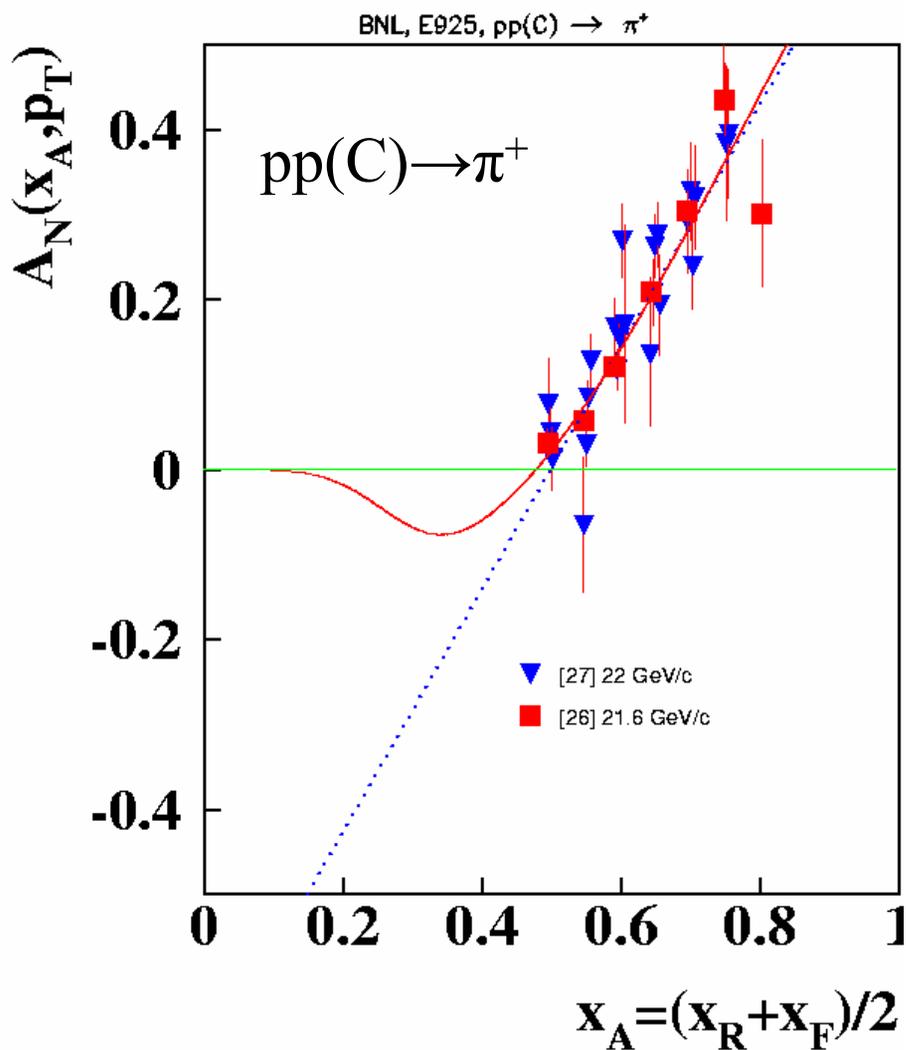
Зависимость $F(p_T)$ от поперечного импульса

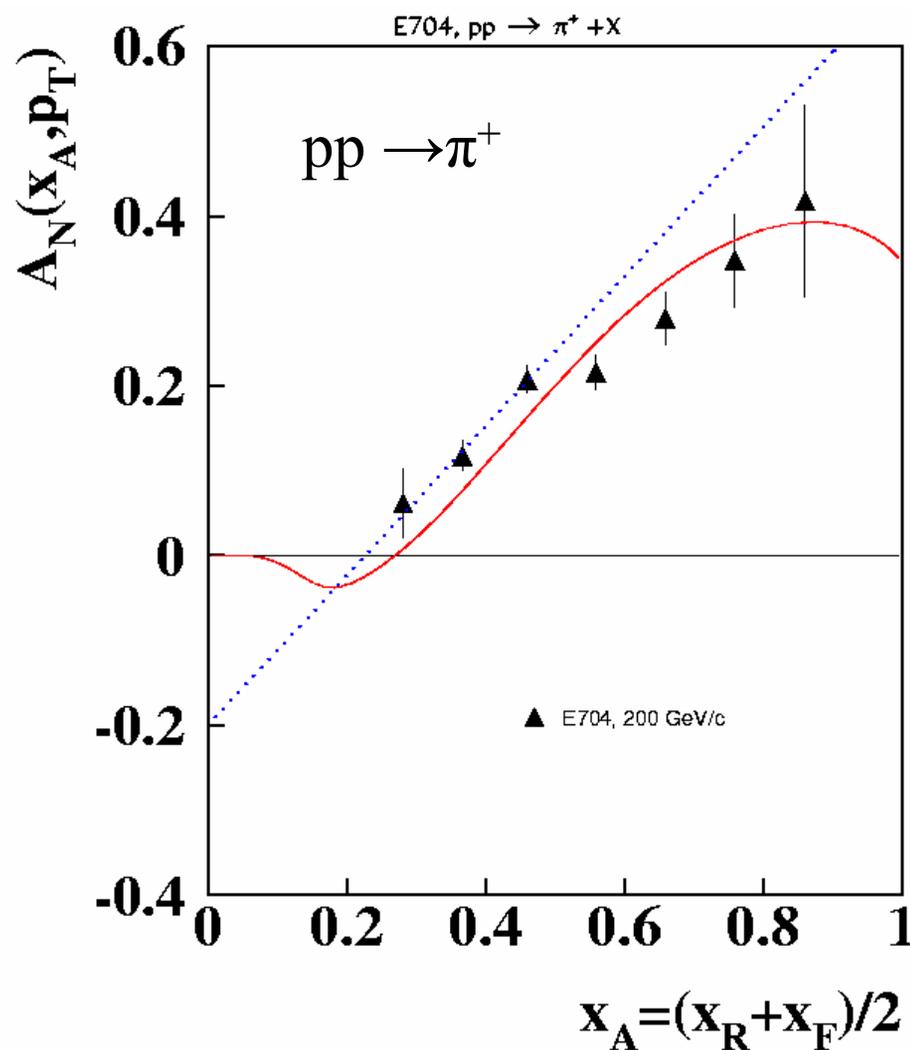
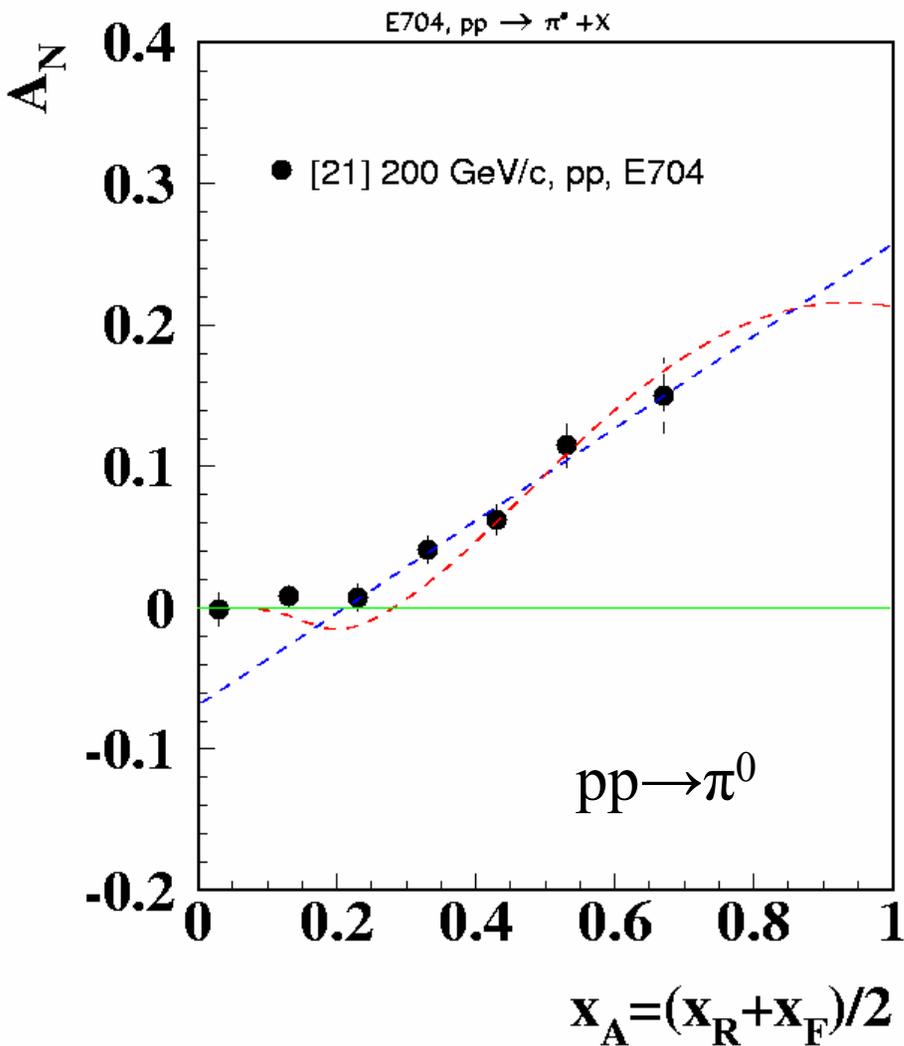


- **Область 1:** мягкие адронные процессы. Кварковая структура адрона не видна. Спиновые эффекты подавлены.
- **Область 2:** Процессы на уровне составляющих кварков. Большие спиновые эффекты.
- **Область 3:** Процессы на уровне токовых кварков. Теория возмущений КХД. Спиновые эффекты подавлены.



Сравнение (23) с данными при энергиях 22 ГэВ (BNL) и 40 ГэВ (ФОДС)







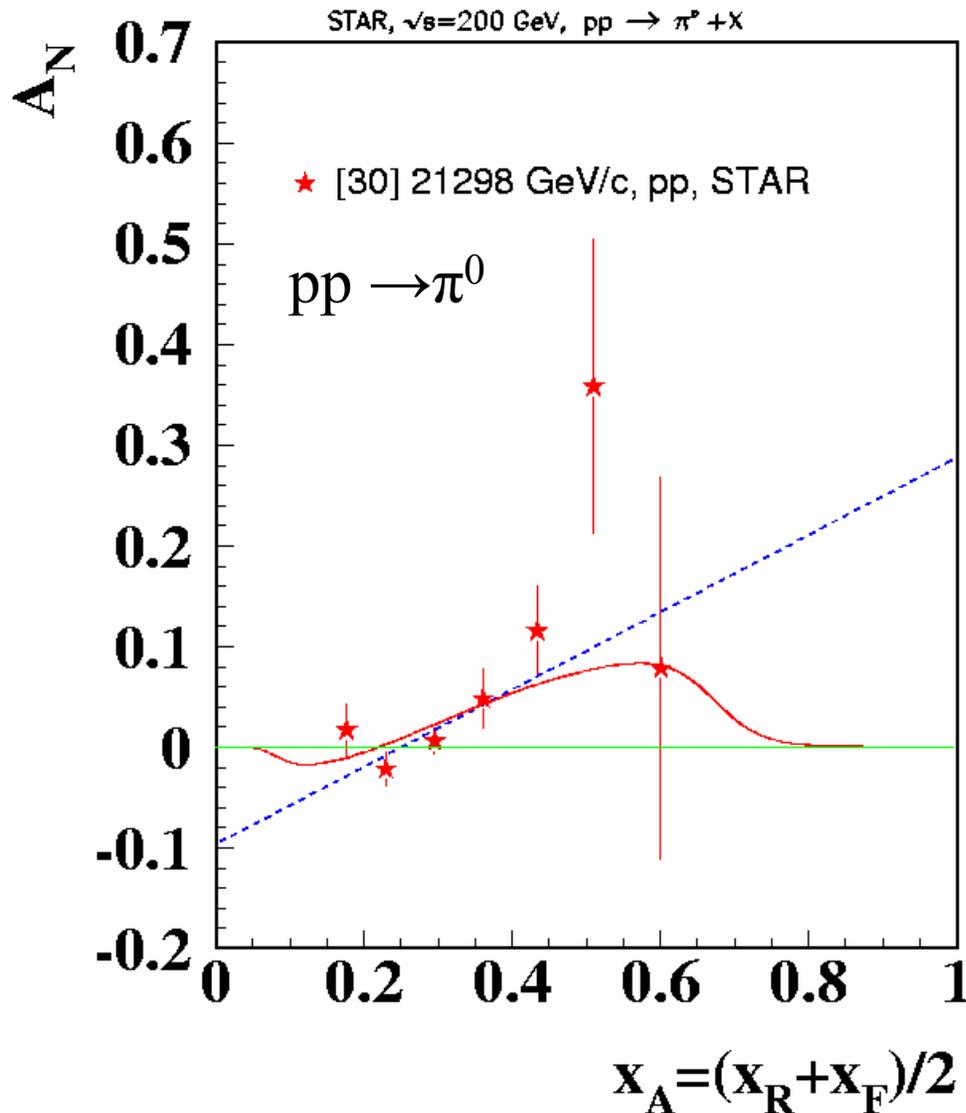
Сравнение данных STAR при энергии $\sqrt{s} = 200$ ГэВ с зависимостями (23)-(29)



$$x_{Th} = 2E_0 / \sqrt{s} + x_0$$

$$E_{Th} = 1.29 \pm 0.02 \text{ ГэВ (ANL)}$$

$$x_0 = 0.25 \pm 0.02 \text{ (STAR)}$$



$$C(\sqrt{s}) = C_0 / [1 - E_R / \sqrt{s}];$$

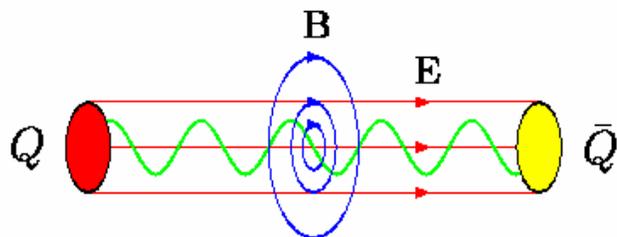
$$E_R = 3.73 \pm 0.13 \text{ ГэВ};$$

$$C_0 = 0.267 \pm 0.011$$

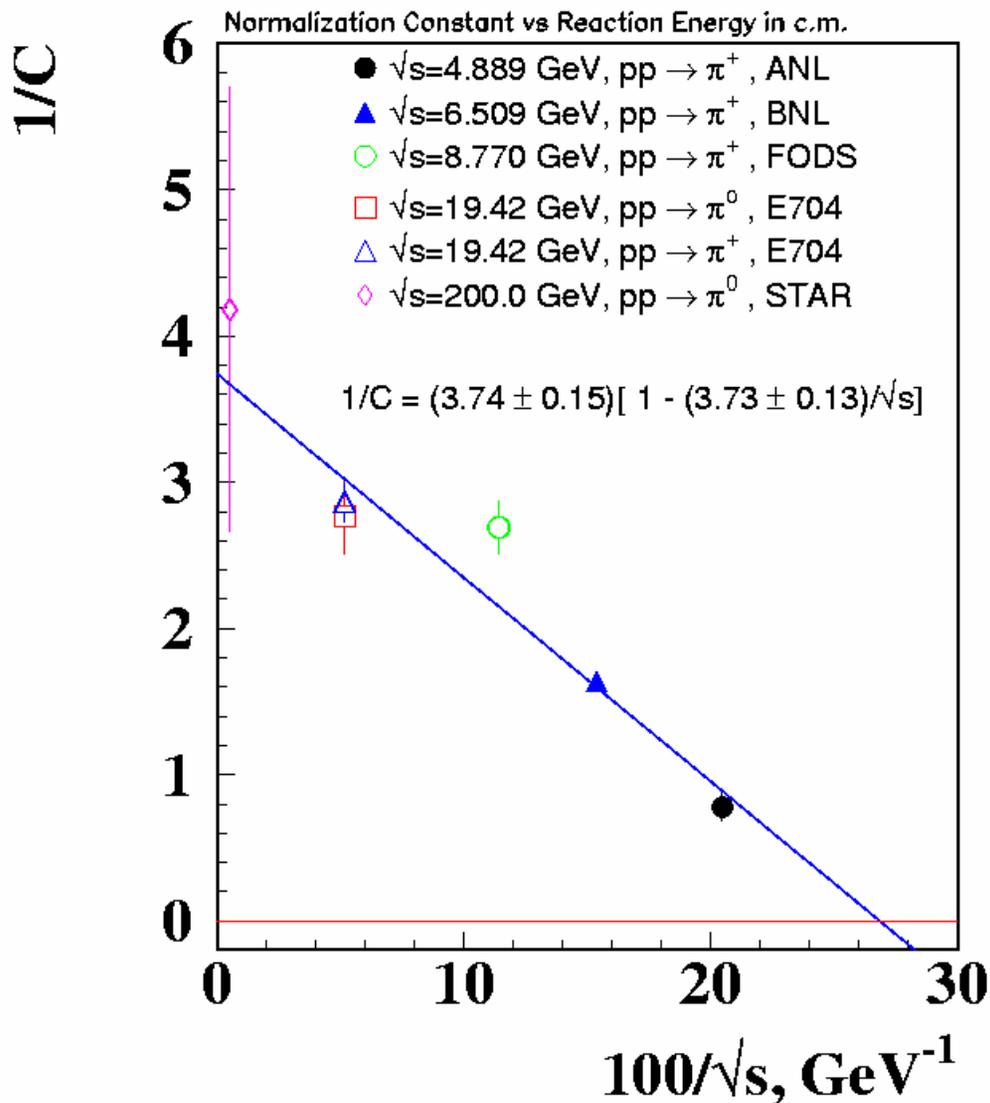
□ Рост $C(\sqrt{s})$ при убывании энергии \sqrt{s} .

□ Сингулярность при низкой энергии $\sqrt{s} = 3.73 \text{ ГэВ}$.

□ Бетатронные колебания в трубке цветового потока ?



Color flux tube fields B and E .
Quark movement in the tube.



□ Фокусировка кварков в поле струны

$$B_X = -B_0 y / \rho; \quad B_Y = B_0 x / \rho; \quad B_0 = 2\alpha_s v / \rho^2;$$

$$\partial B_Y / \partial x = B_0 / \rho; \quad \rho = 2.08 \text{ ГэВ}^{-1};$$

$\Omega = \sqrt{(g_s B_0 / \rho_Q \rho c)}$ – частота колебаний

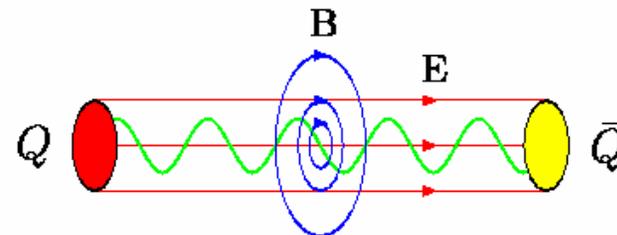
Где $\rho_Q = \rho_p / 3; \quad g_s = \sqrt{4\pi\alpha_s}; \quad \alpha_s = 0.25;$

□ Частота прецессии спина:

$$\Omega_s = B g_s / 2v M_Q \cdot (g - 2 + 2M_Q / E_Q)$$

□ Резонансная энергия протона:

$$E_R = 6M_Q c \rho / g_s \alpha_s (g-2)^2 v = 3.76 / (g-2)^2 \text{ ГэВ};$$



*Color flux tube fields B and E.
Quark movement in the tube.*

Предсказание:

$$\sqrt{s_R} \approx 2.97 / |g-2| \text{ ГэВ};$$

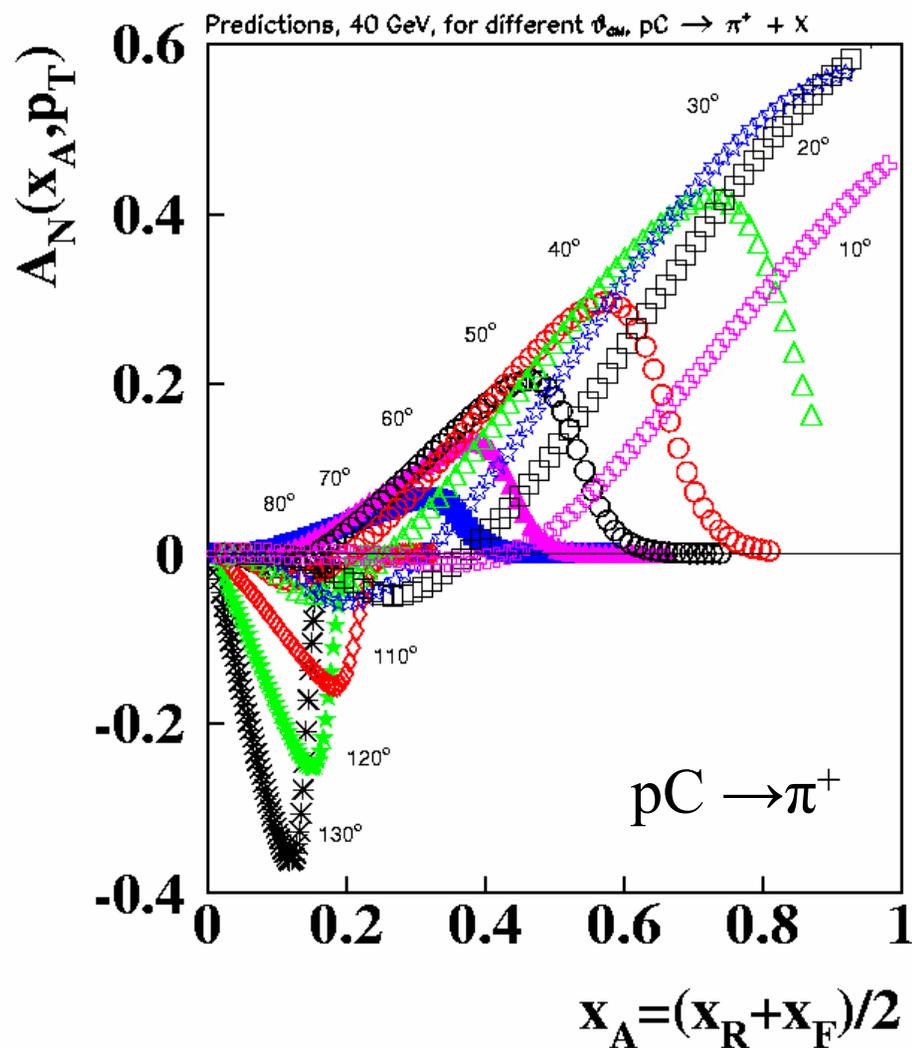
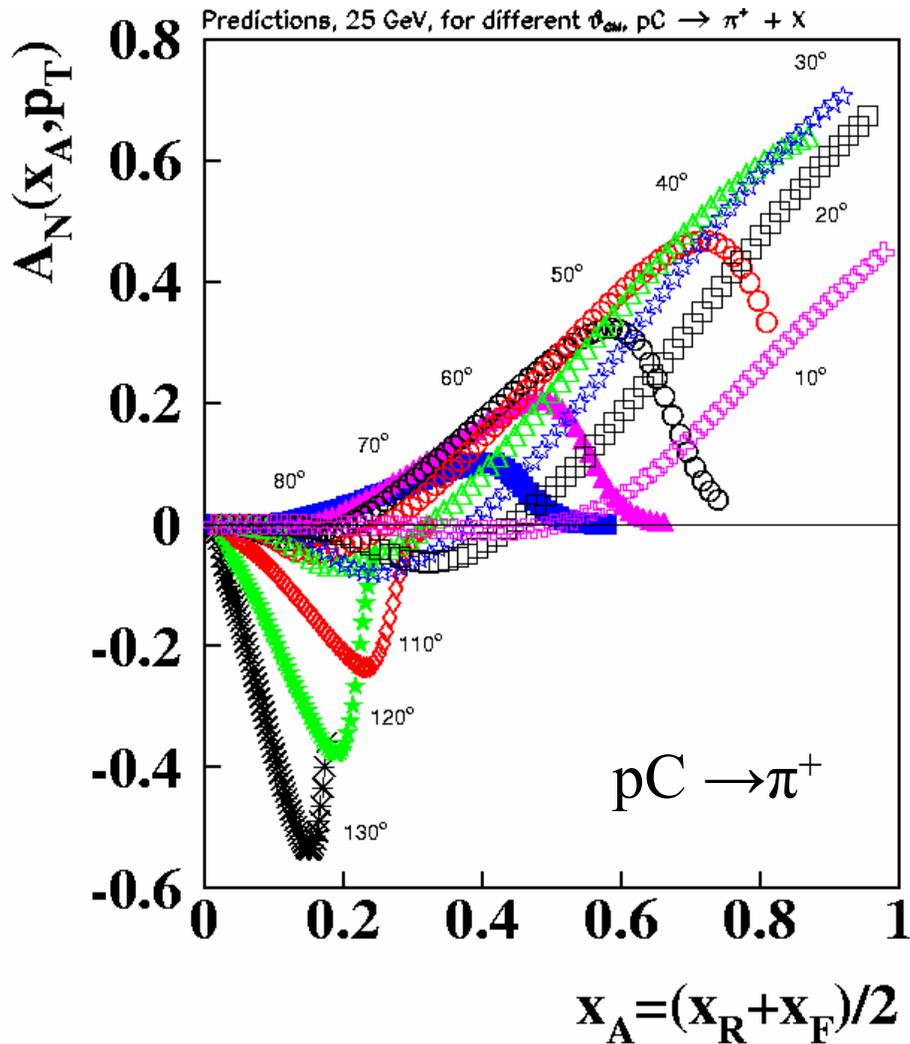
Эксперимент:

$$\sqrt{s_R} = 3.73 \pm 0.13 \text{ ГэВ};$$

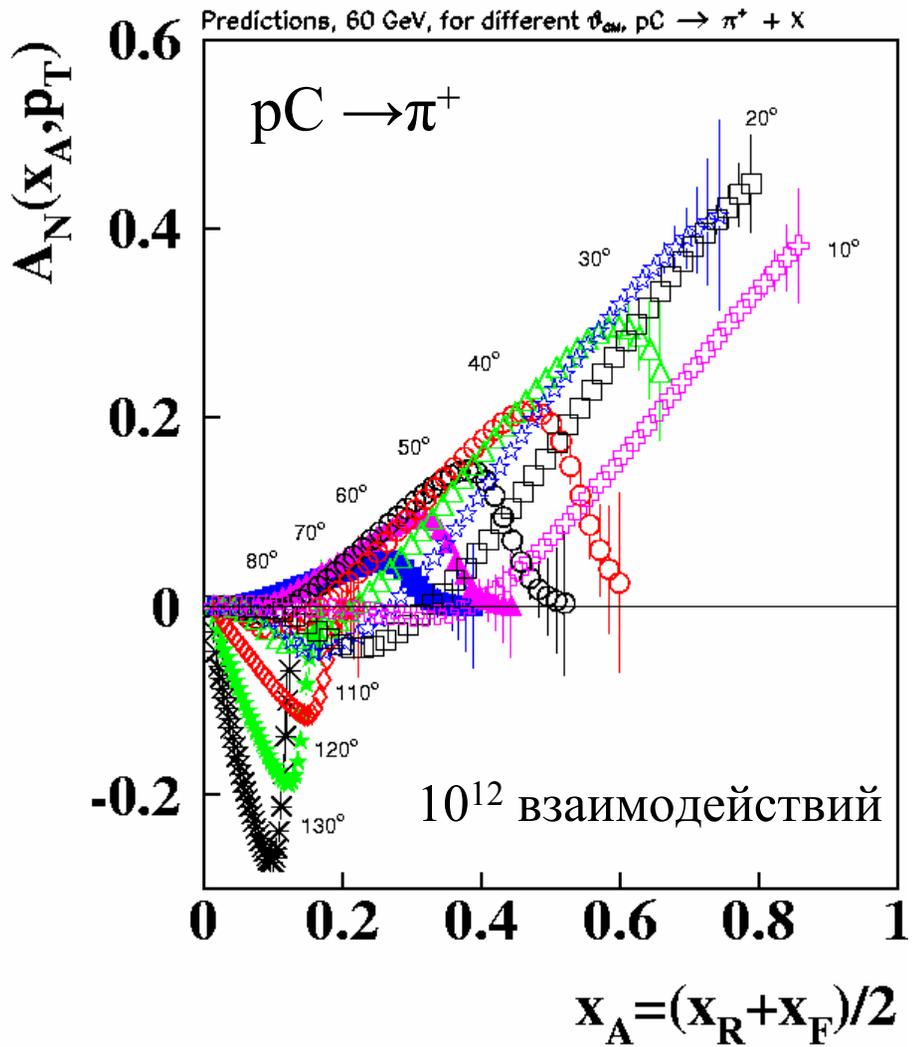
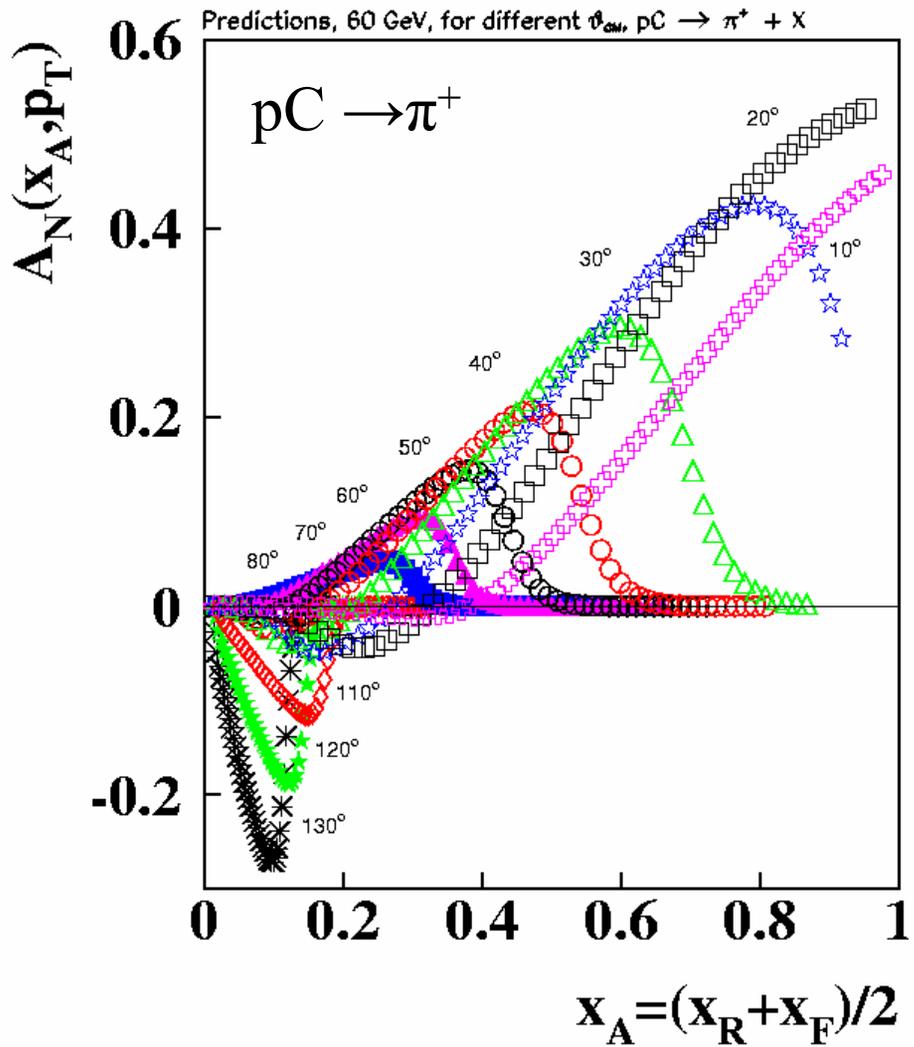
$$|g - 2| \approx 0.8$$

$$g_U^{em} \approx 2.15; \quad g_D^{em} \approx 2.26$$

Предсказания (23)-(29) для энергий 25 ГэВ и 40 ГэВ (ФОДС-2)

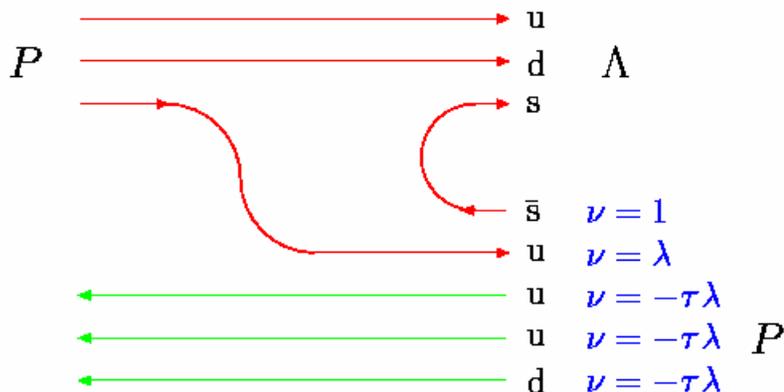


Предсказания (23)-(29) для энергии 60 ГэВ (ФОДС-2)





Правила кваркового счета для ω_{Λ} в процессах $p + p \rightarrow \Lambda$ и $p + p \rightarrow \Xi$



$pp \rightarrow \Lambda + X$ production quark diagram.

Color flux tube counting.

$$\omega_{\Lambda}^{pp} = \omega_0[1 + \lambda - 3\tau\lambda] = -3.13,$$

$$\omega_{exp} = -3.13 \pm 0.24$$

$$A + B \rightarrow C + X$$

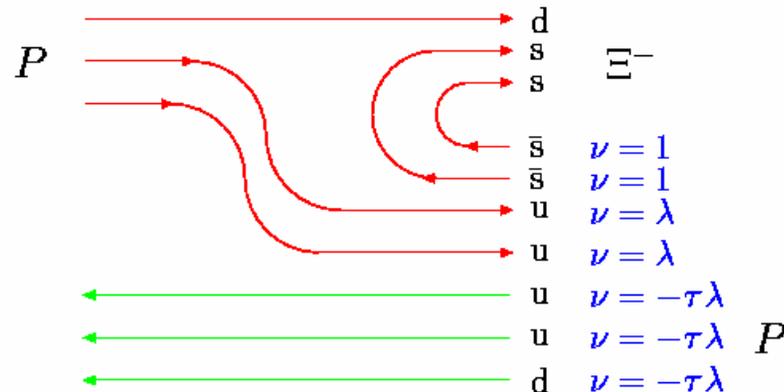
$$\omega = \omega_0[Aq\bar{q} + \lambda Aqq - \tau(Bq\bar{q} + \lambda Bqq)]R$$

$$Aq\bar{q} = -A\bar{q}q; A\bar{q}\bar{q} = Aqq; (A - \text{spectators});$$

$$Bq\bar{q} = -B\bar{q}q; B\bar{q}\bar{q} = Bqq; (B - \text{spectators});$$

$$\omega_0 = -3.537; \lambda = -0.183; \tau = 0.1237;$$

$$R = M_S/M_Q; M_S/M_U = 1.5$$



$pp \rightarrow \Xi^- + X$ production quark diagram.

Color flux tube counting.

$$\omega_{\Xi}^{pp} = \omega_0[2 + 2\lambda - 3\tau\lambda] = -6.02,$$

$$\omega_{exp} = -6.02 \pm 0.57$$

$$A + B \rightarrow C + X$$

$$\omega = \omega_0[Aq\bar{q} + \lambda Aqq - \tau(Bq\bar{q} + \lambda Bqq)]R$$

$$Aq\bar{q} = -A\bar{q}q; A\bar{q}\bar{q} = Aqq; (A - \text{spectators});$$

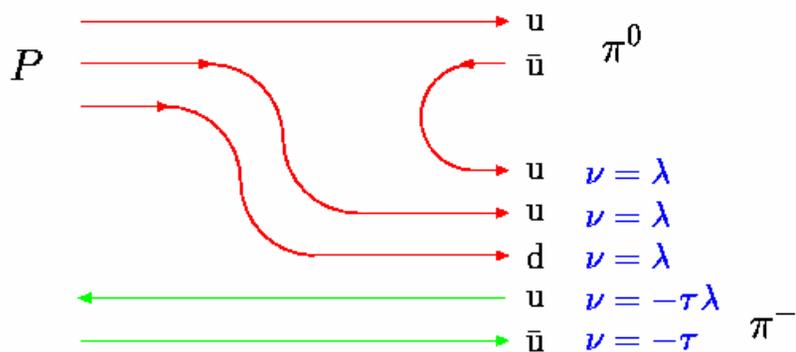
$$Bq\bar{q} = -B\bar{q}q; B\bar{q}\bar{q} = Bqq; (B - \text{spectators});$$

$$\omega_0 = -3.537; \lambda = -0.183; \tau = 0.1237;$$

$$R = M_S/M_Q; M_S/M_U = 1.5$$



Правила кваркового счета для ω_A в процессах $p + \pi^- \rightarrow \pi^0$ и $p + p \rightarrow \pi^+$



$p\pi^- \rightarrow \pi^0 + X$ production quark diagram.

Color flux tube counting.

$$\omega_{\pi^0}^{p\pi^-} = \omega_0[3\lambda - \tau(1 + \lambda)]R = +3.45,$$

$$\omega_{exp} = +3.45 \pm 0.43.$$

$$A + B \rightarrow C + X$$

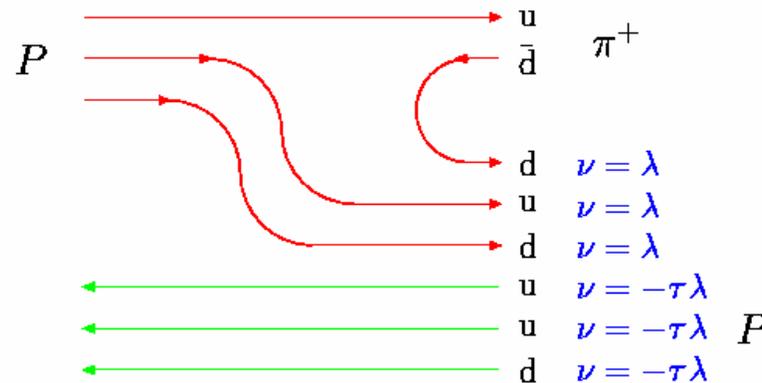
$$\omega = \omega_0[Aq\bar{q} + \lambda Aqq - \tau(Bq\bar{q} + \lambda Bqq)]R$$

$$Aq\bar{q} = -A\bar{q}q; A\bar{q}\bar{q} = Aqq; (A - \text{spectators});$$

$$Bq\bar{q} = -B\bar{q}q; B\bar{q}\bar{q} = Bqq; (B - \text{spectators});$$

$$\omega_0 = -3.537; \lambda = -0.183; \tau = 0.1237;$$

$$R = M_S/M_Q; M_S/M_U = 1.5.$$



$pp \rightarrow \pi^+ + X$ production quark diagram.

Color flux tube counting.

$$\omega_{\pi^+}^{pp} = \omega_0[3\lambda - 3\tau\lambda]R = +2.553,$$

$$\omega_{exp} = +0.9 \pm 1.2 \quad (\text{high energy data})$$

$$\omega_{exp} = +2.564 \pm 0.048 \quad (\text{ANL, 11.75 GeV})$$

$$A + B \rightarrow C + X$$

$$\omega = \omega_0[Aq\bar{q} + \lambda Aqq - \tau(Bq\bar{q} + \lambda Bqq)]R$$

$$Aq\bar{q} = -A\bar{q}q; A\bar{q}\bar{q} = Aqq; (A - \text{spectators});$$

$$Bq\bar{q} = -B\bar{q}q; B\bar{q}\bar{q} = Bqq; (B - \text{spectators});$$

$$\omega_0 = -3.537; \lambda = -0.183; \tau = 0.1237;$$

$$R = M_S/M_Q; M_S/M_U = 1.5$$



Сравнение с экспериментом правил кваркового счета



$$\omega = +\omega_0 [3\lambda - 3\tau]R = +2.553; \quad pp \rightarrow \pi^+; \quad \text{EXP: } +0.9 \pm 1.2$$

$$\omega = -\omega_0 [3\lambda - 3\tau]R = -2.553; \quad pp \rightarrow \pi^-; \quad \text{EXP: } -1.6 \pm 2.6$$

$$\omega = -\omega_0 [3\lambda + 3\tau]R = -0.944; \quad \tilde{p}p \rightarrow \pi^+;$$

$$\omega = +\omega_0 [3\lambda + 3\tau]R = +0.944; \quad \tilde{p}p \rightarrow \pi^-; \quad \text{EXP: } +1.2 \pm 1.8$$

$$\omega = +\omega_0 [3\lambda + 3\tau]R = +0.944; \quad \tilde{p}p \rightarrow \pi^0;$$

$$\omega = \omega_0 [-6 + 3\tau] = +19.91; \quad pp \rightarrow \tilde{\Lambda}; \quad \text{EXP: } +18.5 \pm 5.7$$

$$\omega = \omega_0 [-6 - 3\tau] = +20.98; \quad p\tilde{p} \rightarrow \tilde{\Lambda}; \quad \text{EXP: } +16.2 \pm 4.1$$

$$\omega = \omega_0 [-6 + 3\tau]R = +29.86; \quad pp \rightarrow \tilde{p}; \quad \text{EXP: } +24 \pm 13$$

Сравнение предсказанных и измеренных ω для $pp \rightarrow \pi^+$;

$$\omega = +\omega_0 [3\lambda - 3\tau]R = +2.553; \quad pp \rightarrow \pi^+;$$

эксперимент: $+0.9 \pm 1.2$ (высокие энергии)

эксперимент: $+2.564 \pm 0.048$ ANL, 11.75 ГэВ



Подлежащие экспериментальной проверке предсказания модели



- Скейлинговая зависимость от кинематических переменных p_T , x_A , x_B . Проявление кварковой структуры адронов. Связь со структурой струны и временем формирования адронов.
- Осциллирующий характер зависимости от кинематических переменных x_A , x_B . Проявление прецессии составляющих кварков в эффективном хромомагнитном поле трубок цветового потока (струн).
- Зависимость частот осцилляции ω_A и ω_B от кварковой структуры адронов. Правила кваркового счета.



Подлежащие экспериментальной проверке предсказания модели



- Резонансный характер зависимости амплитуды асимметрии $s(\sqrt{s})$ от энергии. Проявление фокусирующих свойств поля трубок цветового потока. Резонанс между частотами прецессии составляющих кварков и частотой их бетатронных колебаний в струне.

- Зависимость пороговой энергии E_{Th} адронов в с.ц.м. от энергии и кваркового состава адронов. Проявление массы составляющего кварка M_Q и пределов его распределения по доле импульса X в протоне.

- $A_N \neq 0$ в области углов больше 90° .

- A -зависимость A_N , время формирования адронов, кварковый состав мишени.

- ❑ Подавление A_N и P_N в области $p_T \geq 2.5$ ГэВ/с. Переход от составляющих кварков к токовым. Переход в область применимости теории возмущений КХД.

- ❑ Подавление A_N и P_N в области $p_T < 0.35$ ГэВ/с. Экранировка кварковых, цветовых степеней свободы.

- ❑ Равенство A_N и P_N при $\theta_{CM} = 90^\circ$. Проявление симметрии волновой функции относительно перестановки сталкивающихся тождественных адронов.

- ❑ Зависимость $\sigma(\theta_{CM})$. Подавление вклада неполяризованного адрона B в асимметрию A_N при малых θ_{CM} .



Требования к постановке эксперимента (ФОДС-2)



□ Подробное измерение на ФОДС-2 зависимости A_N от кинематических переменных для разделения P_T и X_F зависимости от кинематических переменных и определения параметров модели. Измерения при 10 значениях угла в с.ц.м. ($\theta_{CM} = 10^\circ - 130^\circ$).

Статистика - 10^{12} взаимодействий/угол; пучок: 10^8 /сброс.

□ Идентификация π^\pm , K^\pm , p , \tilde{p} . Дополнительно, по двухчастичным распадам: ρ , ω , ϕ , K_s^0 , $K^*(892)$, $f_0(980)$, $f_2(1270)$, Λ , $\Delta(1232)$. Статистика от 3×10^3 до 5×10^5 событий. Желательна регистрация нейтронов.

□ Точное определение импульса, углов θ , ϕ . Трековые детекторы на входе в магнит.



Требования к постановке эксперимента (ФОДС-2)



- ❑ Мишени: H₂, C, Cu, Pb (основные: C(40%) и H₂(40%).)
- ❑ Измерения при каждом из углов требуют 10 суток пучкового времени (10^{12} взаимодействий, 10^8 /сброс), всего 100 суток при энергии пучка **60 ГэВ**.
- ❑ За указанное время достигается точность не хуже 1% в большей части кинематической области.
- ❑ Важно провести подробные измерения также при энергиях **25** и **40 ГэВ**, что позволит определить энергетическую зависимость различных параметров модели. Затраты времени составят 120 суток (H₂, C).

Требования к постановке эксперимента (ФОДС-2)

- Триггерные счетчики на входе в магнит для подавления фона не из мишени.
- Электромагнитная и адронная части в калориметре для разделения адронов, фотонов и электронов.
- Высокая степень идентичности пучка при двух значениях поляризации и его стабильность. Измерение поляризации пучка. Мониторирование пучка.
- Желательно создать в ИФВЭ широкоапертурный прецизионный спектрометр для регистрации адронов, недоступных для ФОДС-2 (октет и декуплет барионов, векторные и псевдоскалярные мезоны), а также для измерения поляризации гиперонов.

- Изучение односпиновых эффектов в соударениях адронов является той областью физики высоких энергий, где проявляются важные свойства теории сильных взаимодействий – КХД:
- Структура адронов при различных передачах импульса.
- Роль составляющих и токовых кварков.
- Механизм подавления спиновых эффектов при малых и больших поперечных импульсах.

- Механизм адронизации кварков (конфайнмент).
- Роль трубок цветового потока (струн).
- Время формирования адронов.
- Прецессия спина кварка в хромомагнитном поле и осцилляции асимметрии.
- Проявление скейлинга и поправки к нему при различных энергиях.
- Возможное проявление фокусирующих свойств трубки цветового потока (струны) в различных адронных процессах и явление резонанса.
- Зависимость спиновых эффектов от квантовых чисел и кварковой структуры адронов.
- Правила кваркового счета для односпиновых процессов.

Связь механизмов происхождения односпиновых асимметрий и поляризации адронов в соударениях неполяризованных частиц.

Пороговый характер зависимости асимметрии от энергии адрона в с.ц.м.

Подробное изучение этих явлений при высокой точности измерений на поляризованном пучке ускорителя ИФВЭ может привести к качественно новому уровню понимания механизмов их происхождения и их связи с фундаментальными проблемами КХД.

Дополнительные рисунки. Примеры осцилляции поляризации (FNAL)

