

# Поляризация $\Lambda$ и $\bar{\Lambda}$ гиперонов в эксперименте COMPASS(CERN)

В.Ю. Алексахин

*Диссертация на соискание ученой степени к.ф.-м.н.*

*Специальность: 01.04.16 — физика ядра и элементарных частиц*

Руководитель: д.ф.-м.н., проф. Сапожников М.Г.

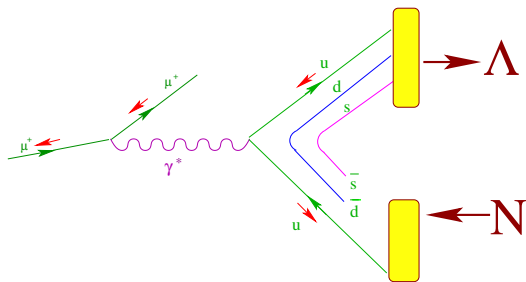
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ФИЗИКИ  
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ  
им. В.И.Векслера и А.М.Балдина

ПИЯФ Гатчина, 8 Ноября, 2011

- 1 Новые данные по передаче спина от поляризованных мюонов в  $\Lambda$  и  $\bar{\Lambda}$  гипероны в глубоко-неупругом мюон-нуклонном рассеянии в эксперименте COMPASS.
- 2 Новые данные по  $x$  и  $x_F$  зависимостям продольной передачи спина ( $x$  - Бьоркеновская масштабная переменная,  $x_F$  Фейнмановская масштабная переменная).
- 3 Программу моделирования событий глубоко-неупругого мюон-нуклонного рассеяния на установке COMPASS(NA58) в ЦЕРН.

# Актуальность работы

- Представлены результаты измерения продольной поляризации  $\Lambda$  и  $\bar{\Lambda}$  гиперонов рожденных в глубоко-неупругом рассеянии поляризованных мюонов на неполяризованной изоскалярной мишени в эксперименте COMPASS (NA58) в CERN.
- $\mu^+ + N \rightarrow \mu'^+ + \Lambda(\bar{\Lambda}) + X$ ,  $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$  ( $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p} + \pi^+$ )



Продольная поляризация  $\Lambda$  and  $\bar{\Lambda}$  в ГНР чувствительна к:

- $s(x)$ ,  $\bar{s}(x)$
- Спиновой структуре  $\Lambda$   
КПМ:  $\Delta u^\Lambda = \Delta d^\Lambda = 0$ ,  $\Delta s^\Lambda = 1$   
Burkardt и Jaffe:  $g_1^\Lambda \Rightarrow \Delta u^\Lambda = \Delta d^\Lambda = -0.23$ ,

$$\Delta s^\Lambda = 0.58$$

# Поляризация $\Lambda$ из фрагментации кварков

Поляризация  $\Lambda$  от фрагментации выбитого кварка в партонной модели:

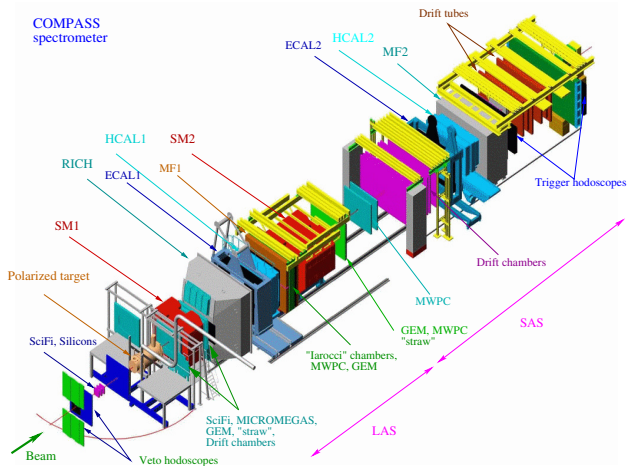
$$P_\Lambda = \frac{\sum_q e_q^2 [P_b D(y) q(x) + P_T \Delta q(x)] \Delta D_q^\Lambda(z)}{\sum_q e_q^2 [q(x) + P_b P_T D(y) \Delta q(x)] D_q^\Lambda(z)}$$

- $P_b D(y) q(x)$  – передача спина от поляризованного мюона
- $P_T \Delta q(x)$  – передача спина от поляризованного кварка

Особая роль странного кварка:

- Поляризация гиперонов в  $e^+e^-$  аннигиляции в  $Z$ -пике в экспериментах на LEP ( $P_s = -0.94$ ), Значение ALEPH  $P_L^\Lambda = -0.32 \pm 0.07$ , OPAL измерил  $P_L^\Lambda = -0.329 \pm 0.055$
- Вклад от  $s$ -кварка в спин  $\Lambda$  является доминирующим (100 % для SU(6) модели до 60-70 % в модели Burkardt и Jaffe или QCD вычисления на решетке).
- Можно ожидать что рассеяние на  $u$ -или  $d$ -кварках важно для рождения  $\Lambda(\bar{\Lambda})$ , но не для передачи спина в  $\Lambda(\bar{\Lambda})$ .

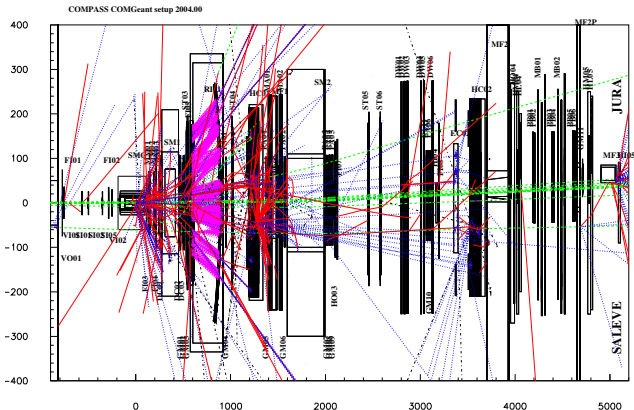
# Спектрометр COMPASS



- В 2003 г. :  
 $P_b = -0.76 \pm 0.04$
- В 2004 г. :  
 $P_b = -0.80 \pm 0.04$

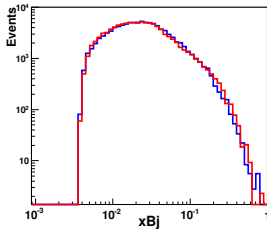
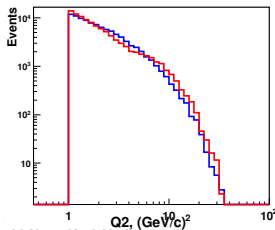
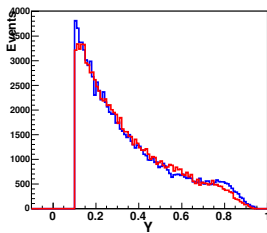
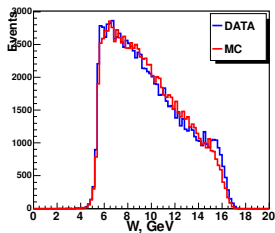
- пучок  $160 \text{ ГэВ/с } \mu^+$
- $2.8 \cdot 10^8 \text{ } \mu/\text{сброс}$  (4.8 s/16.8 c)
- $Q^2 > 1 \text{ (ГэВ/с)}^2$ :  $31.2 \cdot 10^7$  событий

# Моделирование событий в эксперименте COMPASS



- Спектр налетающих мюонов пучка и гало – случайный триггер
- Настройка генератора ГНР событий LEPTO (функций фрагментации).
- Программа моделирования отклика детектора COMGEANT (на базе GEANT3.21)
- Задание условий моделирования, описание материалов, геометрии установки, характеристики детекторов задаются при помощи внешних управляющих карт.

# Иллюстрации работы программы моделирования(I)



Распределения по  $x_{Bj}$ ,  $y$ ,  $Q^2$ , и  $W$ . Красная линия для MC, синяя для реальных данных.

$W^2 = (P^\mu + q^\mu)^2$  – квадрат массы конечного адронного состояния

$Q^2 = -q_\mu q^\mu$  – квадрат инвариантной массы  $\gamma^*$

$\nu = \frac{P_\mu q^\mu}{M} \stackrel{lab}{=} E - E'$  – энергия

$x = \frac{Q^2}{2P_\mu q^\mu} \stackrel{lab}{=} \frac{Q^2}{2M\nu}$  –

Бьоркеновская масшт. перем.

$y = \frac{P_\mu q^\mu}{P_\mu k^\mu} \stackrel{lab}{=} \frac{\nu}{E}$  – доля

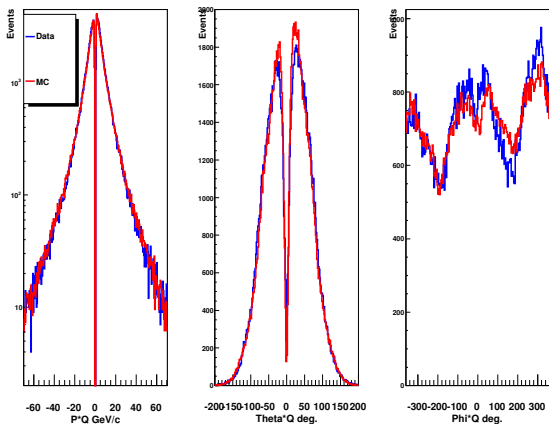
энергии, унесенная  $\gamma^*$

$\vec{p}_L = (\vec{p}_h \cdot \frac{\vec{q}}{|\vec{q}|}) \frac{\vec{q}}{|\vec{q}|}$  – продольная компонента импульса адрона в  $\gamma^* N$  с.ц.м.

$x_F = \frac{|\vec{p}_L|}{|\vec{q}|} \cong \frac{2p_L^-}{W}$  –

Фейнмановская масшт. перем.

# Иллюстрации работы программы моделирования(II)

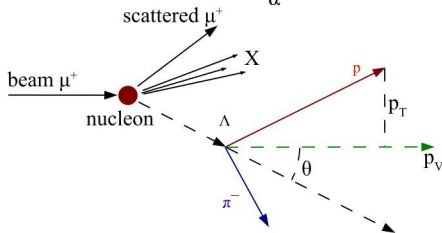
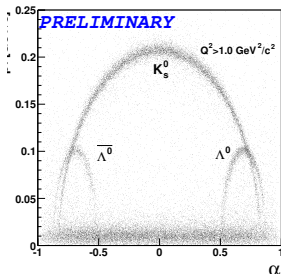


Распределения по импульсам, полярному и азимутальному углам адронов из первичной вершины. Красная линия для MC, синяя для реальных данных.



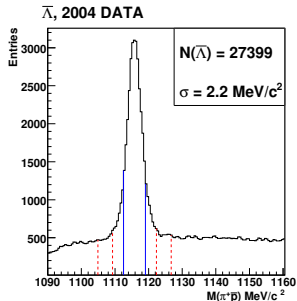
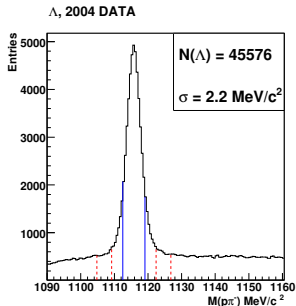
# Отбор событий $\Lambda$ и $\bar{\Lambda}$

- Первичная вершина внутри ячеек мишени
- Вторичная вершина: 5 см вниз по пучку от второй ячейки мишени
- $p_T > 23$  МэВ/с отсекает  $e^+e^-$  пары от  $\gamma$  конверсии
- Угол коллинеарности  $\theta < 0.01$  рад.
- Условие ГНР  $Q^2 > 1$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>
- $0.2 < y < 0.9$
- $p_{\pm} > 1$  GeV/c
- $0.05 < x_F < 0.5$



# Статистика $\Lambda$ и $\bar{\Lambda}$ гиперонов

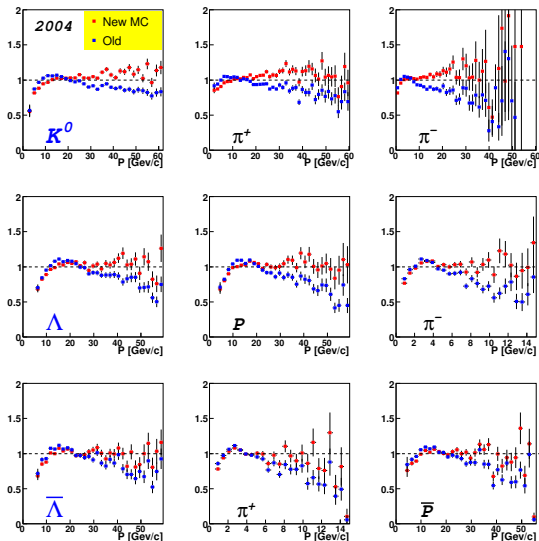
Эксперимент	$\Lambda$	$\bar{\Lambda}$
E665	750	650
NOMAD	8087	649
HERMES	26714	3610
RHIC	13000	10000
COMPASS	70000	42000



Для определения угловых распределений  $\Lambda(\bar{\Lambda})$  используется метод вычитания боковых полос (ss-метод от английского sidebands subtraction)

Используемые зоны:  $(-5; -3)$ ,  $(-1.5; 1.5)$ ,  $(3; 5)$   $\sigma$  от массового пика.

# Настройка функций фрагментации (I)

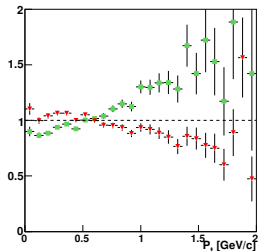
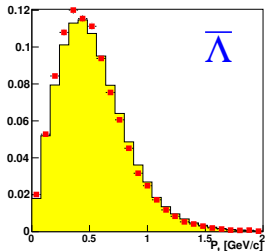
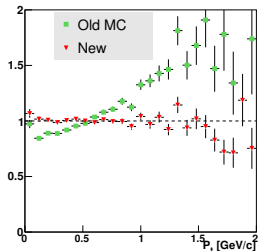
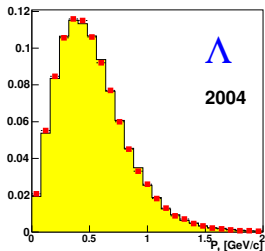


PARJ (41) и PARJ (42) это  $a$  и  $b$  параметры симметричных функции фрагментации модели Лунд.

$$f(z) \propto z^{-1}(1-z)^a \exp(-bm_{\perp}^2/z)$$

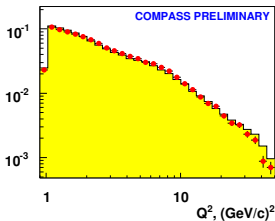
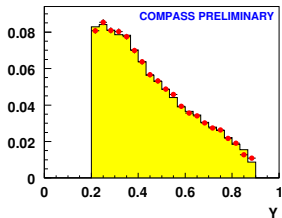
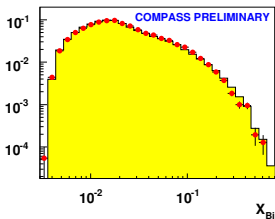
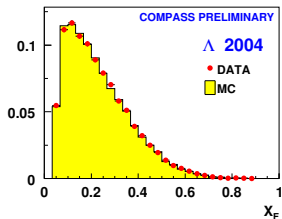
$z \equiv \frac{lab}{\nu} \frac{E_h}{E}$  – доля энергии  $\gamma^*$  переданная адрону

# Настройка функций фрагментации(II)



PARJ (21) соответствует ширине гауссовского распределения для поперечного импульса первичных адронов. PARJ (23) и PARJ (24) используются для добавления негауссовой компоненты к распределению по поперечному импульсу.

# Кинематические распределения $\Lambda$



Средние значения:

$$\langle x \rangle = 0.03$$

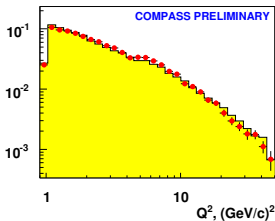
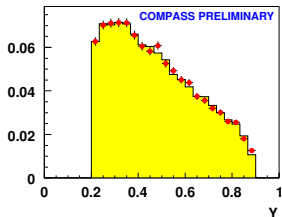
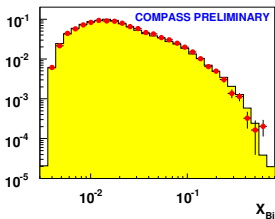
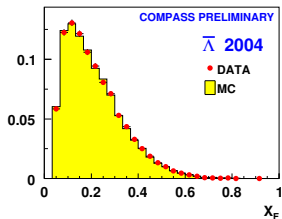
$$\langle x_F \rangle = 0.22$$

$$\langle y \rangle = 0.46$$

$$\langle Q^2 \rangle =$$

$$3.7 \text{ (ГэВ/с)}^2$$

# Кинематические распределения $\bar{\Lambda}$



Средние значения:

$$\langle x \rangle = 0.03$$

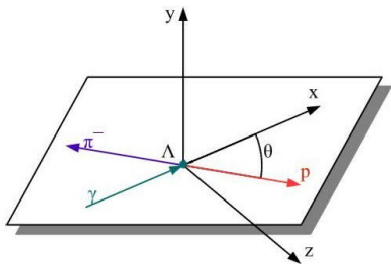
$$\langle x_F \rangle = 0.20$$

$$\langle y \rangle = 0.46$$

$$\langle Q^2 \rangle =$$

$$3.7 (\text{ГэВ}/c)^2$$

# Продольная поляризация $\Lambda$ ( $\bar{\Lambda}$ )



$$-1 < \cos \theta < 0.6$$

$$\frac{1}{N_{tot}} \frac{dN}{d\cos\theta} = \frac{1}{2} (1 + \alpha P_L \cos \theta)$$

$P_L$  - продольная поляризация гиперона.  
 $\alpha = +(-)0.642 \pm 0.013$  -  $\Lambda$  ( $\bar{\Lambda}$ ) параметр распада.

Система координат:

- Ось X - вдоль вектора импульса виртуального фотона в системе покоя  $V^0$ . ( $V^0 \equiv \Lambda, \bar{\Lambda}$ ).
- Ось Y - нормаль к плоскости рождения  $\vec{n}_Y = [\vec{n}_X \times \vec{n}_T]$ , где  $\vec{n}_X$  единичный вектор направления оси X,  $\vec{n}_T$  это единичный вектор в направлении импульса нуклона мишени в системе покоя  $V^0$ .
- Ось Z -  $\vec{n}_Z = [\vec{n}_X \times \vec{n}_Y]$ .

# Поправка угловых распределений на акцептанс

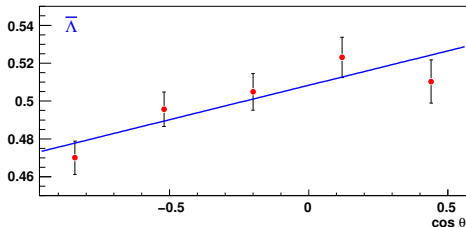
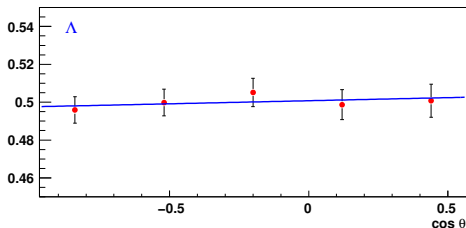
Акцептанс  $A(\cos\theta_X, \phi)$  искажает идеальное распределение.

$$\frac{1}{N_{tot}^{exp}} \cdot \frac{dN^{exp}}{dx} = \frac{1}{2} (1 + \alpha P_L \cdot x) \cdot A(x)$$

Поправка на акцептанс была определена, используя Монте-Карло(МС):

$$A(x) = \frac{N_{tot,gen}^{MC}}{N_{tot,reg}^{MC}} \cdot \frac{dN_{reg}^{MC}(x)}{dx} / \frac{dN_{gen}^{MC}(x)}{dx},$$

где  $x = \cos\theta_X$ ,  $N_{gen}^{MC}(x)$ ,  $N_{reg}^{MC}(x)$  события в  $x$ -интервале.



Угловые распределения  $\Lambda$ ,  $\bar{\Lambda}$ , поправленные на акцептанс. События 2004 г.



# Усредненная передача спина

Продольная передача спина  $D_{LL}$ :

$$P_L = D_{LL}^{\Lambda} \cdot P_b \cdot D(y)$$

Деполаризующий фактор  $D(y) = \frac{1-(1-y)^2}{1+(1-y)^2}$

$$D_{LL}^{\Lambda} = -0.012 \pm 0.047 \pm 0.024$$

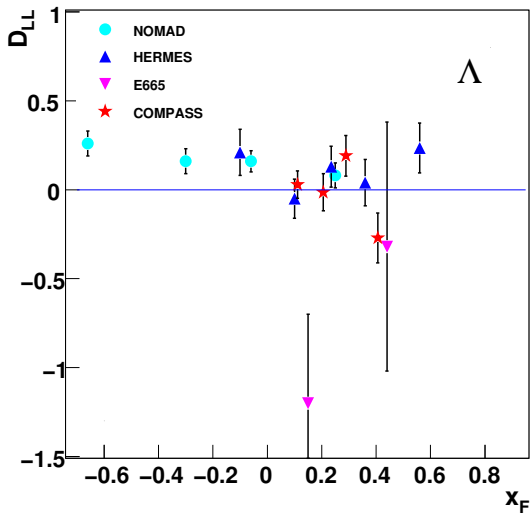
$$D_{LL}^{\bar{\Lambda}} = 0.249 \pm 0.056 \pm 0.049$$

$$D_{LL}^{K_s^0} = 0.016 \pm 0.010$$

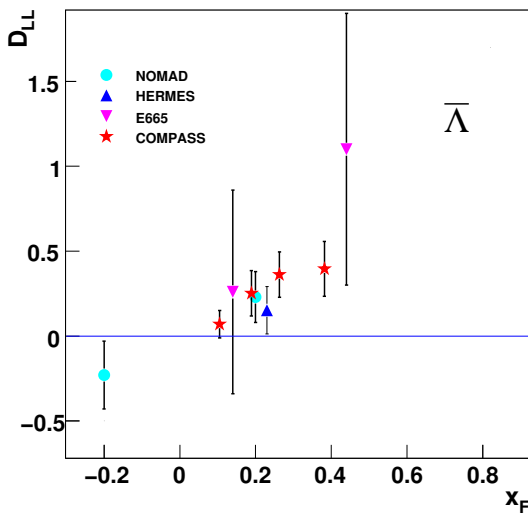
$\bar{x}_F = 0.22$  (0.20),  $\bar{x} = 0.03$ , средняя доля энергии  $\Lambda$   $\bar{z} = 0.27$ , средние  $y$  и  $Q^2$  0.46 и 3.7, (ГэВ/с)<sup>2</sup>, соответственно

Вклады в систематическую ошибку	$\Lambda$	$\bar{\Lambda}$
Передача спина в каоны, $\delta(MC_1)$	0.016	0.016
Вариация условий отбора, $\delta(MC_2)$	0.016	0.044
Неопределенность вычета фона, $\delta(ss)$	0.010	0.016
Неопределенность поляризации пучка, $\delta(P_b)$	0.0006	0.013
$\sigma_{syst}$	0.024	0.049

# Сравнение с результатами других экспериментов, $\Lambda$



# Сравнение с результатами других экспериментов, $\bar{\Lambda}$



# Передача спина в $\Lambda$ и $\bar{\Lambda}$ : $P_T = 0$

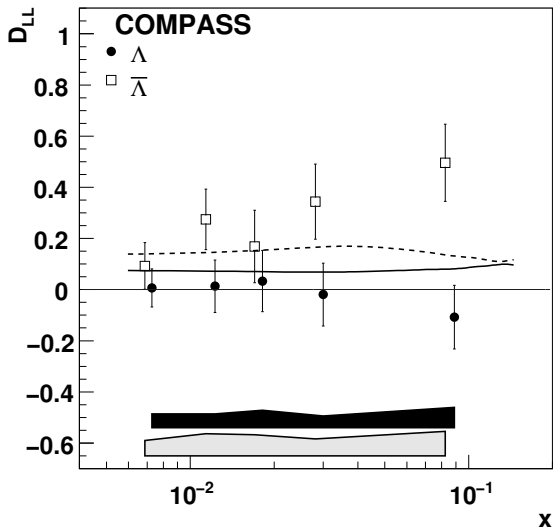
Ожидается, что  $\Delta D_q^\Lambda(z) = \Delta D_q^{\bar{\Lambda}}(z) \sim 0$  для  $q = u, d, \bar{u}, \bar{d}$ , так как вклад от  $s$ -кварка в спин  $\Lambda$  является доминирующим.

$$D_{LL}^\Lambda(x, z) \approx \frac{1}{9} \frac{s(x) \Delta D_s^\Lambda(z)}{\sum_q e_q^2 q(x) D_q^\Lambda(z)},$$
$$D_{LL}^{\bar{\Lambda}}(x, z) \approx \frac{1}{9} \frac{\bar{s}(x) \Delta D_s^{\bar{\Lambda}}(z)}{\sum_q e_q^2 q(x) D_q^{\bar{\Lambda}}(z)}$$

знаменатели пропорциональны сечению рождения  $\Lambda(\bar{\Lambda})$

$$D_{LL}(\bar{\Lambda}) > D_{LL}(\Lambda)$$

# Передача спина в $\Lambda$ и $\bar{\Lambda}$ : $x_{Bj}$

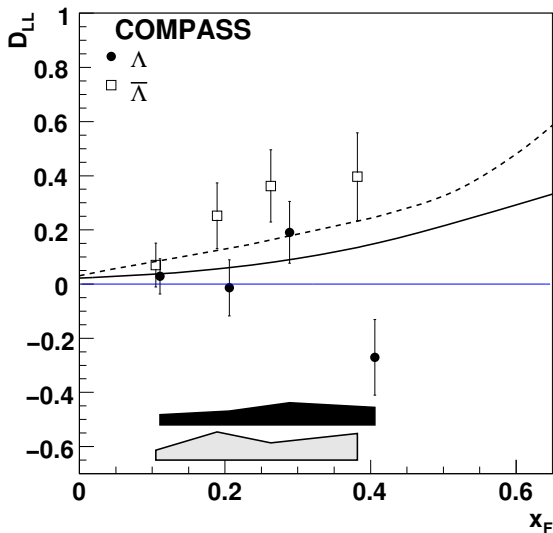


- предсказания теории:  $D_{LL}^{\bar{\Lambda}} > D_{LL}^{\Lambda}$
- предсказания теории: SU(6), STEQ5
- $\Lambda$  – сплошная линия
- $\bar{\Lambda}$  – штриховая линия

$$D_{LL}^{\Lambda} = -0.012 \pm 0.047 \pm 0.024$$

$$D_{LL}^{\bar{\Lambda}} = 0.249 \pm 0.056 \pm 0.049$$

# Передача спина в $\Lambda$ и $\bar{\Lambda}$ : $x_F$

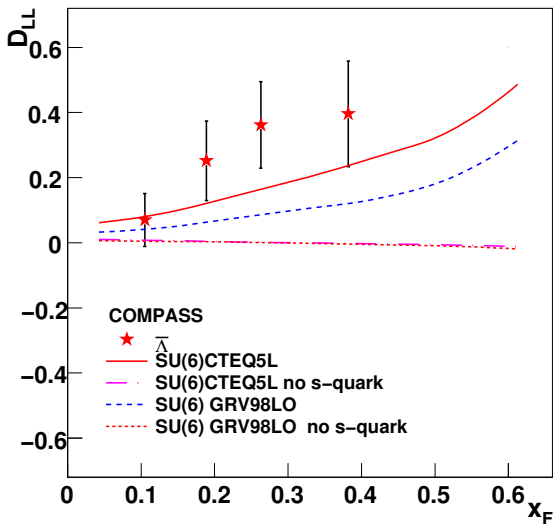


- предсказания теории:  
 $D_{LL}^{\bar{\Lambda}} > D_{LL}^{\Lambda}$
- предсказания теории: SU(6), STEQ5
- $\Lambda$  – сплошная линия
- $\bar{\Lambda}$  – штриховая линия

$$D_{LL}^{\Lambda} = -0.012 \pm 0.047 \pm 0.024$$

$$D_{LL}^{\bar{\Lambda}} = 0.249 \pm 0.056 \pm 0.049$$

# Чувствительность к $s(x)$



- Передача спина в  $\bar{\Lambda}$  для различных партонных распределений (PDFs)
- CTEQ5 – сплошная линия
- GRV98 – штриховая линия
- $D_{LL}(\bar{s}) = 0$  модели (CTEQ и GRV) – 2 нижние линии
- Данные для  $\bar{\Lambda}$  чувствительны к распределению  $\bar{s}(x)$

# Выводы(I)

- 1 Определен коэффициент продольной передачи спина от поляризованных мюонов в  $\Lambda$  и  $\bar{\Lambda}$  гипероны. Представленные данные являются наиболее точными измерениями продольной передачи спина в  $\Lambda$  и  $\bar{\Lambda}$  в ГНР в настоящее время. Оказалось, что передача спина в  $\Lambda$  мала, с  $D_{LL}^{\Lambda} = -0.012 \pm 0.047 \pm 0.024$  при  $\bar{x}_F = 0.22$ . Обнаружена значительная передача спина в  $\bar{\Lambda}$  -  $D_{LL}^{\bar{\Lambda}} = 0.249 \pm 0.056 \pm 0.049$  при  $\bar{x}_F = 0.20$ . Эти величины находятся в согласии с результатами предыдущих измерений.
- 2 Измерены  $x$  и  $x_F$  зависимости продольной передачи спина, которые оказались различными для  $\Lambda$  и  $\bar{\Lambda}$  гиперонов. Передача спина в  $\Lambda$  является малой, сравнимой с нулем, во всем диапазоне измеряемых кинематических переменных. Продольная передача спина в  $\bar{\Lambda}$  увеличивается с  $x_F$ , достигая значений  $D_{LL}^{\bar{\Lambda}} = 0.4 - 0.5$ .
- 3 Сравнение с теорией показывает, что передача спина в  $\bar{\Lambda}$  гипероны, существенно зависит от распределения странного анти-кварка  $\bar{s}(x)$ , точные измерения передачи спина в  $\bar{\Lambda}$  дадут важную информацию о распределении странного анти-кварка  $\bar{s}(x)$  в нуклоне.



- 1 Разработаны и реализованы критерии отбора для моделирования и реконструкции событий рождения  $\Lambda$  и  $\bar{\Lambda}$  гиперонов в ГНР на установке COMPASS. Обработаны данные сеансов 2003 и 2004 г. Получена лучшая мировая статистика по рождению  $\Lambda$  и  $\bar{\Lambda}$  в ГНР. Измерены основные характеристики рождения  $\Lambda$  и  $\bar{\Lambda}$  гиперонов в ГНР. Получено хорошее согласие между экспериментальными данными и данными моделирования.
- 2 Разработаны и созданы программы моделирования событий глубоко-неупругого мюон-нуклонного рассеяния на установке COMPASS. Получено правильное описание основных характеристик инклюзивного ГНР мюонов.

# Апробация работы(1)

Результаты диссертации докладывались автором на научных семинарах ЛФВЭ (ОИЯИ), рабочих совещаниях коллаборации COMPASS, международном XIX семинаре проблем физики высоких энергий им. Балдина (сентябрь 2008, Дубна), международных конференциях SPIN 2004 ( 10 - 16 октября 2004 Триест, Италия), SPIN 2005 (3 - 7 августа 2005, Прага, Чешская Республика), BEACH 2010 (21-26 июня 2010, Перуджа, Италия).

Основные результаты, вошедшие в диссертацию, опубликованы в работах:

- “Эксперимент COMPASS в ЦЕРН”, P. Abbon *et al.* [COMPASS Collaboration], The COMPASS Experiment at CERN Nucl. Instrum. Meth. A **577**, 455 (2007).
- “Геометрическая реконструкция событий в эксперименте COMPASS”, V. Y. Aleksakhin, Y. Bedfer, S. Gerasimov and A. Y. Korzenev, Geometrical event reconstruction in the COMPASS experiment, Phys. Part. Nucl. Lett. **4**, 350 (2007) [Pisma Fiz. Elem. Chast. Atom. Yadra **4**, 588 (2007)].
- “Измерение поляризации глюонов в нуклоне с использованием квази-реального фоторождения адронных пар с высоким поперечным импульсом”, E. S. Ageev *et al.*- COMPASS Collaboration, Gluon polarization in the nucleon from quasi-real photoproduction of high-pT hadron pairs, Phys. Lett. B **633** (2006) 25-32.
- “Измерение продольной передачи спина в  $\Lambda$  и  $\bar{\Lambda}$  гипероны в поляризованном мюонном ГНР”, M. Alekseev *et al.* [COMPASS Collaboration], Measurement of the Longitudinal Spin Transfer to  $\Lambda$  and  $\bar{\Lambda}$  Hyperons in Polarized Muon DIS, CERN-PH-EP/2009-011, Eur. Phys. J. C **64** 171 (2009)

# Апробация работы(II)

Результаты, вошедшие в диссертацию, также представлены в трудах конференций:

- V. Y. Aleksakhin *et al.*, Study of Lambda hyperon polarization in the COMPASS experiment, Phys. Atom. Nucl. 62 (1999) 2013 [Yad. Fiz. 62 (1999) 2182].
- V.Yu. Aleksakhin for the COMPASS collaboration. Possibilities of COMPASS spectrometer for the Lambda hyperons polarisation measurements, Acta Phys. Polon. B 33 (2002) 3809.
- V.Yu. Alexakhin for the COMPASS collaboration,  $\Lambda$  and  $\bar{\Lambda}$  hyperons production by polarised muons at COMPASS, Proceedings of the 11th International Workshop on Deep Inelastic Scattering DIS 2003 , St. Petersburg, Russia , 23 - 27 Apr 2003.
- V. Yu. Alexakhin for the COMPASS collaboration, Longitudinal polarization of Lambda and anti-Lambda hyperons in deep-inelastic scattering at COMPASS, hep-ex/0502014; Proceedings of 16th International Spin Physics Symposium (SPIN 2004), Trieste, Italy, 10-16 Oct 2004.
- V. Yu. Alexakhin for the COMPASS collaboration, Production and Polarization of Lambda and Lambda-bar Hyperons in Deep Inelastic Scattering at COMPASS, Talk given at the IX International Conference on Hyperons, Charm and Beauty Hadrons (BEACH 2010), Perugia, Italy, 21-26 Jun 2010, Nucl. Phys. B Proc. Suppl. NUPHBP13612.

Список публикаций эксперимента, результаты которых получены с использованием Монте-Карло:

- E. S. Ageev, et al.- COMPASS Collaboration, Measurement of the spin structure of the deuteron in the DIS region, Phys. Lett. B 612 (2005) 154.
- V. Yu. Alexakhin et al.- COMPASS Collaboration, First measurement of the transverse spin asymmetries of the deuteron in semi-inclusive deep inelastic scattering, Phys. Rev. Lett. 94 (2005) 202002.
- E. S. Ageev *et al.* COMPASS Collaboration, A new measurement of the Collins and Sivers asymmetries on a transversely polarised deuteron target, Nucl. Phys. B 765, 31 (2007)
- V. Y. Alexakhin *et al.* [COMPASS Collaboration], Double spin asymmetry in exclusive rho0 muoproduction at COMPASS Eur. Phys. J. C 52, 255 (2007)
- M. Alekseev *et al.* [COMPASS Collaboration], Collins and Sivers asymmetries for pions and kaons in muon-deuteron DIS, Phys. Lett. B 673, 127 (2009)
- M. Alekseev *et al.* [COMPASS Collaboration], Gluon Polarisation in the Nucleon and Longitudinal Double Spin Asymmetries from Open Charm Muoproduction, Phys. Lett. B 676 31 (2009)

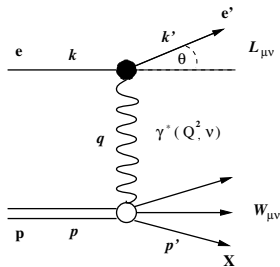
Спасибо за внимание!

# Backup slides

# Актуальность работы(II)

- Настоящий анализ основан на 70000  $\Lambda$  и 42000  $\bar{\Lambda}$  событиях, что является самым большим набором данных, особенно в части рекордной статистики по  $\bar{\Lambda}$  гиперонам.
- Представленные данные позволяют исследовать  $x$ -зависимость передачи спина в  $\Lambda$  в большом  $x$ -интервале и впервые измерить  $x$ -и  $x_F$ -зависимости передачи спина в  $\bar{\Lambda}$ .
- Была обнаружена значительная поляризация  $\bar{\Lambda}$ , которая важна для исследования распределения странного кварка в нуклоне.

# Глубоко-неупругое лептон-нуклонное рассеяние



$$Q^2 = -q_\mu q^\mu$$

Квадрат инвариантной массы  $\gamma^*$

$$x = \frac{Q^2}{2P_\mu q^\mu} \stackrel{lab}{=} \frac{Q^2}{2M\nu}$$

Бьоркеновская масштабная перем.

$$y = \frac{P_\mu q^\mu}{P_\mu k^\mu} \stackrel{lab}{=} \frac{\nu}{E}$$

Доля энергии, унесенная  $\gamma^*$

$$z = \frac{P'_\mu P^\mu}{P_\mu q^\mu} \stackrel{lab}{=} \frac{E_h}{\nu}$$

Доля энергии  $\gamma^*$  переданная адрону  $h$

$$\vec{p}_L = (\vec{p}_h \cdot \frac{\vec{q}}{|\vec{q}|}) \frac{\vec{q}}{|\vec{q}|}$$

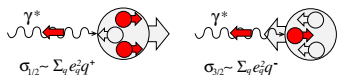
Продольная компонента импульса адрона в  $\gamma^*N$  с.ц.м.

$$x_F = \frac{|\vec{p}_L|}{|\vec{q}|} \cong \frac{2\vec{p}_L}{W}$$

Фейнмановская масштабная перем.

КМП:  $q^+$  ( $q^-$ ) – кварковые плотности для случая, когда спин кварка сонаправлен (противонаправлен) спину нуклона.

Спинонезависимые и спинозависимые комбинации кварковых плотностей:



$$q(x) = q^+(x) + q^-(x)$$

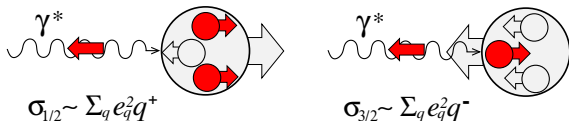
$$\Delta q(x) = q^+(x) - q^-(x)$$

# Кинематические переменные

Инклюзивное ГНР	
$\nu = \frac{P_\mu q^\mu}{M} \stackrel{lab}{=} E - E'$	Энергия виртуального фотона
$q^\mu = k^\mu - k'^\mu = (\nu, \vec{q})$	Четырех-импульс виртуального фотона
$Q^2 = -q_\mu q^\mu \stackrel{lab}{\cong} 4EE' \sin^2 \frac{\theta}{2}$	Квадрат инвариантной массы виртуального фотона
$W^2 = (P^\mu + q^\mu)^2 \stackrel{lab}{=} M^2 + 2M\nu - Q^2$	Квадрат массы конечного адронного состояния
$x = \frac{Q^2}{2P_\mu q^\mu} \stackrel{lab}{=} \frac{Q^2}{2M\nu}$	Бьоркеновская масштабная переменная
$y = \frac{P_\mu q^\mu}{P_\mu k^\mu} \stackrel{lab}{=} \frac{\nu}{E}$	Доля энергии, унесенная виртуальным фотоном
Полу-инклюзивное ГНР	
$z = \frac{P_\mu P^\mu}{P_\mu q^\mu} \stackrel{lab}{=} \frac{E_h}{\nu}$	Доля энергии виртуального фотона, переданная адрону $h$
$\vec{p}_L = (\vec{p}_h \cdot \frac{\vec{q}}{ \vec{q} }) \frac{\vec{q}}{ \vec{q} }$	Продольная компонента импульса адрона в $\gamma^* N$ с.ц.м.
$\vec{p}_T = \vec{p}_h - \vec{p}_L$	Поперечная компонента импульса адрона в $\gamma^* N$ с.ц.м.
$x_F = \frac{ \vec{p}_L }{ \vec{q} } \cong \frac{2\vec{p}_L}{W}$	Фейнмановская масштабная переменная



# Кварк-партонная модель



$q^+$  ( $q^-$ ) – кварковые плотности для случая, когда спин кварка сонаправлен (противонаправлен) спину нуклона.

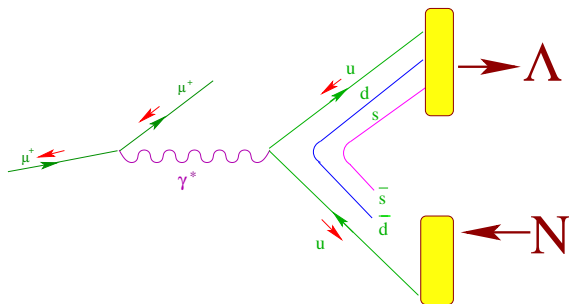
Спинонезависимые и спинозависимые комбинации кварковых плотностей:

$$\begin{aligned}q(x) &= q^+(x) + q^-(x) \\ \Delta q(x) &= q^+(x) - q^-(x).\end{aligned}$$

Структурные функции  $F_1$  и  $g_1$ :

$$\begin{aligned}F_1(x) &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_f} e_i^2 [q_i(x) + \bar{q}_i(x)] \\ g_1(x) &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_f} e_i^2 [\Delta q_i(x) + \Delta \bar{q}_i(x)].\end{aligned}$$

# Область фрагментации пучка $x_F > 0$



Продольная поляризация  $\Lambda$  and  $\bar{\Lambda}$  в ГНР  
чувствительна к:

- $s(x), \bar{s}(x)$
- Спиновой структуре  $\Lambda$

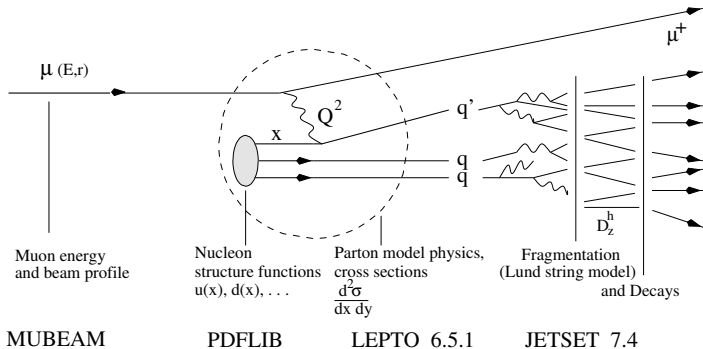
КПМ:  $\Delta u^\Lambda = \Delta d^\Lambda = 0, \Delta s^\Lambda = 1$

Burkardt и Jaffe:  
 $g_1^\Lambda \Rightarrow \Delta u^\Lambda = \Delta d^\Lambda = -0.23,$   
 $\Delta s^\Lambda = 0.58$

- Поляризации странных кварков  $\Delta s$

$$\Delta s = \int dx [s_\uparrow(x) - s_\downarrow(x) + \bar{s}_\uparrow(x) - \bar{s}_\downarrow(x)]$$

# Моделирование событий в эксперименте COMPASS(I)



- Спектр налетающих мюонов пучка и гало – случайный триггер
- Генератор ГНР событий LEPTO 6.5.1 (AROMA, PYTHIA и др.)
- Функции плотности партонов PDFLIB, LHAPDF
- Адронизация в рамках струнной модели Lund (JETSET 7.4)

# Продольная поляризация $\Lambda$ и передача спина

Неполяризованная мишень ( $P_T = 0$ ):

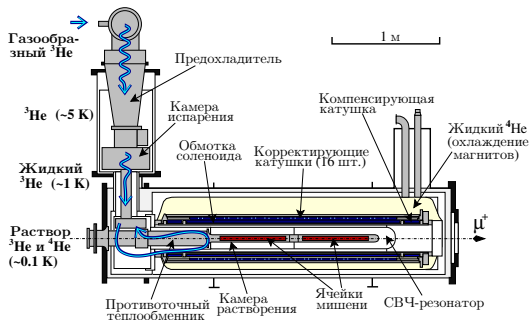
$$P_\Lambda = \frac{\sum_q e_q^2 P_b D(y) q(x) \Delta D_q^\Lambda(z)}{\sum_q e_q^2 q(x) D_q^\Lambda(z)}$$

Продольная передача спина связывает продольную поляризацию гиперона  $P_L$  с поляризацией налетающего лептонного пучка  $P_b$ :

$$P_L = D_{LL}^\Lambda \cdot P_b \cdot D(y)$$

Деполаризующий фактор  $D(y) = \frac{1-(1-y)^2}{1+(1-y)^2}$

# Поляризованная мишень



- Соленоидальное поле 2.5Т
- Ячейки  $2 \times 60$  см
- материал мишени  $^6\text{LiD}$
- $P_T \approx 50\%$
- Коэффициент дилуции  $f = 0.5$
- В этом анализе данные были усреднены по  $P_T$

# Настройка функций фрагментации (I)

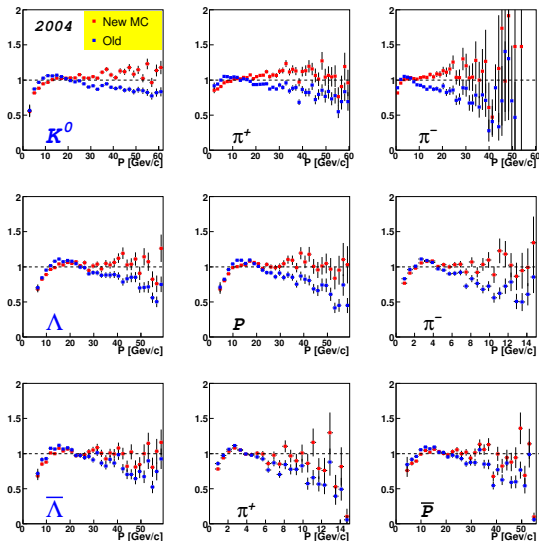
PARJ (41) и PARJ (42) это  $a$  и  $b$  параметры симметричных функция фрагментации модели Лунд.

$$f(z) \propto z^{-1}(1-z)^a \exp(-bm_{\perp}^2/z)$$

Parameters	Old	New	HERMES	NOMAD	High $p_t$
PARJ(21)	0.36	0.4	0.38	0.41	0.3
PARJ(23)	0.01	0.08	0.03	0.15	0.02
PARJ(24)	2.0	2.5	2.5	2.0	3.5
PARJ(41) <sub>a</sub>	0.3	0.95	1.13	1.5	0.6
PARJ(42) <sub>b</sub>	0.58	0.37	0.37	0.9	0.1

PARJ (21) соответствует ширине гауссовского распределения для поперечного импульса первичных адронов. PARJ (23) и PARJ (24) используются для добавления негауссовой компоненты к распределению по поперечному импульсу.

# Настройка функций фрагментации (II)



PARJ (41) и PARJ (42) это  $a$  и  $b$  параметры симметричных функции фрагментации модели Лунд.

$$f(z) \propto z^{-1}(1-z)^a \exp(-bm_{\perp}^2/z)$$

$z \equiv \frac{lab}{\nu} \frac{E_h}{\nu}$  – доля энергии  $\gamma^*$  переданная адрону

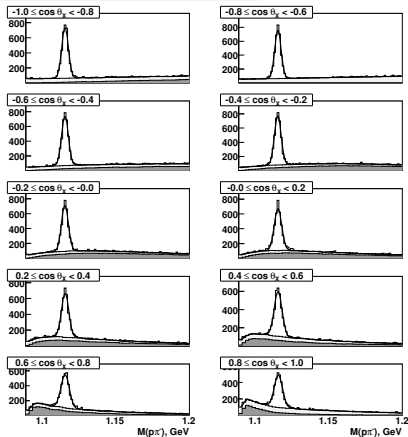
# Взвешивание и значения $CT$

Затем восстановленные события MC взвешивались так, чтобы получить такие же  $z$ -и  $p$ -зависимости событий MC, как и в данных. Здесь  $z$  это относительная доля энергии адрона  $z = E_h / (E - E')$  и  $p$  это импульс  $V^0$ . Создавались двумерные распределения  $w(p, z)$  для данных и MC событий. Пределы по  $p$  были 3-53 GeV/c, пределы на  $z$ : 0-1, по 50 бинов по каждой из переменных. Процедура взвешивания дает значения  $CT$ , согласующиеся с PDG.

	$CT$ до взвешивания	$CT$ после взвешивания	Мировые данные PDG
$\Lambda$	$7.29 \pm 0.10$	$7.74 \pm 0.12$	7.89
$\bar{\Lambda}$	$7.46 \pm 0.13$	$7.82 \pm 0.16$	7.89
$K_S^0$	$2.55 \pm 0.02$	$2.69 \pm 0.02$	2.68



# Ограничение интервала углового распределения $\cos \theta_X < 0.6$

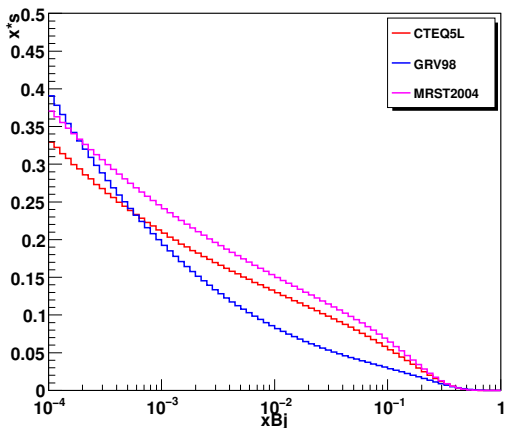


Это ограничение было введено из-за следующих причин:

- Чтобы удалить область падающего акцептанса.
- Чтобы исключить область большого комбинаторного фона.
- Чтобы удалить область, где фон от каонов под пиком  $\Lambda$  быстро меняется.

# Comparison with theory ( $\bar{\Lambda}$ ): CTEQ5 and GRV98(II)

Плотности распределений  $s(x)$  кварка для различных параметризаций.



Одной из основных задач эксперимента COMPASS является определение вклада глюонов  $\Delta G$  в спин нуклона. Одной из возможностей определения  $\Delta G$  является измерение спиновых асимметрий выходов событий с парами адронов с большими  $p_T$ . Приведено сравнение между смоделированными и реальными данными для событий с большим  $p_T$  для трех переменных:  $Q^2$ , полного и поперечного импульсов адрона с наибольшим  $p_T$ . Нижняя часть рисунков показывает отношение Данные/Монте-Карло, как можно увидеть наблюдается удовлетворительное согласие в широких диапазонах значений  $p_T$ ,  $p$  и  $Q^2$ .

