

# Исследование событий ди-мюонного рождения чарма из странного моря нуклона в нейтринных взаимодействиях эксперимента NOMAD

Р. Петти <sup>а</sup>, О.Б. Самойлов <sup>б</sup>

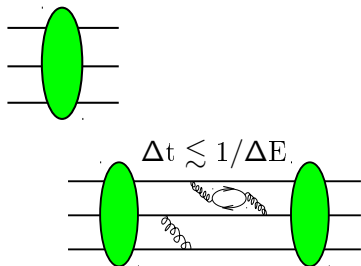
<sup>а</sup> Университет Южной Каролины, Колумбия, США

<sup>б</sup> ЛЯП ОИЯИ, Дубна, Россия  
(для коллаборации NOMAD)

XIV научная конференция "ОМУС 2010"  
1-6 февраля 2010

## Структура протона

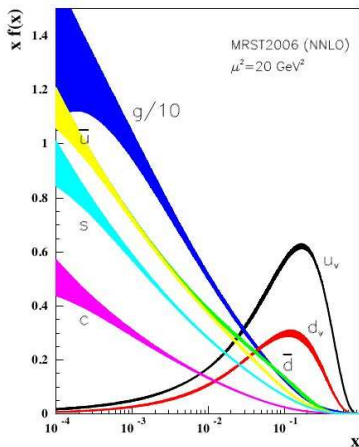
-  $|p\rangle = |uud\rangle$



-  $|p\rangle = |uud(u\bar{u})(d\bar{d})(s\bar{s})g\dots\rangle$

$$\kappa_S(\mu^2) = \frac{\int_0^1 x [s(x, \mu^2) + \bar{s}(x, \mu^2)] dx}{\int_0^1 x [\bar{u}(x, \mu^2) + \bar{d}(x, \mu^2)] dx},$$

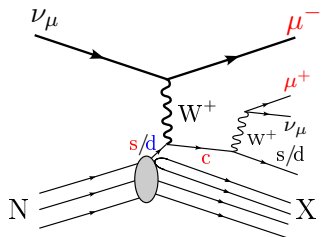
$$\kappa_S(20\Gamma\text{эВ}^2) = 0.48 \text{ (CCFR)}$$



# Чувствительность к партонным распределениям

Process	Main Subprocess	PDFs Probed
$\ell^\pm N \rightarrow \ell^\pm X$	$\gamma^* q \rightarrow q$	$g(x \lesssim 0.01), q, \bar{q}$
$\ell^+ (\ell^-) N \rightarrow \bar{\nu} (\nu) X$	$W^* q \rightarrow q'$	
$\nu (\bar{\nu}) N \rightarrow \ell^- (\ell^+) X$	$W^* q \rightarrow q'$	
$\nu N \rightarrow \mu^+ \mu^- X$	$W^* s \rightarrow c \rightarrow \mu^+$	$s$
$\ell N \rightarrow \ell Q X$	$\gamma^* Q \rightarrow Q$	$Q = c, b$
	$\gamma^* g \rightarrow Q \bar{Q}$	$g(x \lesssim 0.01)$
$pp \rightarrow \gamma X$	$qg \rightarrow \gamma q$	$g$
$pN \rightarrow \mu^+ \mu^- X$	$q\bar{q} \rightarrow \gamma^*$	$\bar{q}$
$pp, pn \rightarrow \mu^+ \mu^- X$	$u\bar{u}, d\bar{d} \rightarrow \gamma^*$	$\bar{u} - \bar{d}$
	$u\bar{d}, d\bar{u} \rightarrow \gamma^*$	
$ep, en \rightarrow e\pi X$	$\gamma^* q \rightarrow q$	
$p\bar{p} \rightarrow W \rightarrow \ell^\pm X$	$ud \rightarrow W$	$u, d, u/d$
$p\bar{p} \rightarrow \text{jet} + X$	$gg, qg, qq \rightarrow 2j$	$q, g(0.01 \lesssim x \lesssim 0.5)$

# Ди-мюонное рождение чарма



$$\frac{d^2\sigma_{\mu\mu}(E_\nu > E_\nu^0)}{dx dy dz} = \varepsilon_\mu B_\mu \frac{d^2\sigma_c}{dx dy},$$

$$B_\mu = \sum_h f_h B_c(h \rightarrow \mu^+ X), \quad h = D^0, D^+, D_s^+, \Lambda_c^+$$

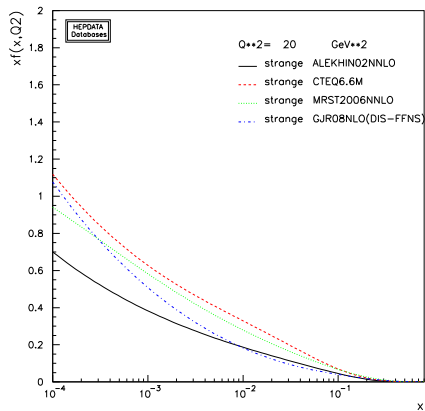
CHORUS + E531	$E_\nu > 5\text{ГэВ}$	$E_\nu > 30\text{ГэВ}$
$B_\mu$ (%)	$7.94 \pm 0.38$	$8.78 \pm 0.50$

## Возможности ди-мюонного рождения чарма

- Масса с-кварка  $m_c$
- Распределения странного моря  $xs(x)$ ,  $x\bar{s}(x)$
- Ассиметрия странного моря  $x(s(x) - \bar{s}(x))$
- Элементы ККМ матрицы  $V_{cd}$ ,  $V_{cs}$
- Вероятность распада по лептонной моде  $B_\mu$

# Распределение s-кварка

Существует  $\sim 10$ -ти параметризаций (различие до 100%)



## Важно для

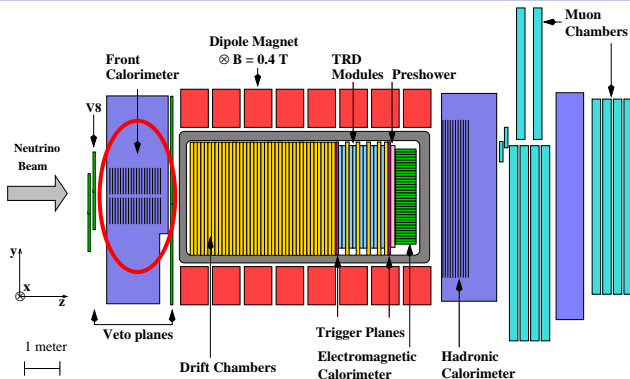
- предсказания выходов странных и очарованных частиц
- расчета поляризации  $\Lambda$ -гиперонов
- предсказания фона из распадов очарованных адронов в экспериментах по поиску осцилляций нейтрино  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  (OPERA)

## Обзор экспериментальных данных

	Эксп.	Опуб.	Стат. ( $N_{\mu\mu}$ )	$E_\nu$ (ГэВ)
<u><math>\nu N</math></u>				
	CDHS	Янв 1982	660	30 – 250 (> 100)
	NuTeV	Фев 2001	5102	20 – 400 (157.8)
	CCFR	Фев 2001	5030	30 – 600 (> 100)
	CHORUS	Апр 2008	8910	10 – 240 (27)
	<b>NOMAD</b>		<b><math>\sim 15 - 17</math>тыс.</b>	<b>6 – 300 (24.3)</b>
<u><math>\bar{\nu} N</math></u>				
	CDHS	Янв 1982	171	30 – 250 (> 100)
	NuTeV	Фев 2001	1458	20 – 400 (157.8)
	CHORUS	Фев 2001	1060	30 – 600 (> 100)
	CHORUS	Апр 2008	430	10 – 240 (27)

Эксперимент NOMAD имеет наибольшую статистику ди-мюонных событий с лучшим порогом чувствительности к массе с-кварка.

# Детектор NOMAD



- Большой набор нейтринных взаимодействий, интерполированных в передний калориметр (FCAL),  $\simeq 13\text{M}$
- Хорошее энергетическое разрешение,  $\Delta E/E \simeq 3.2\%/\sqrt{E[\text{ГэВ}]}$
- Хорошее качество реконструкции треков заряженных частиц,  $\varepsilon \gtrsim 95\%$ ,  $\Delta p/p \simeq 3.5\%$

## Ди-мюонное рождение чарма

$$\sigma_{\mu\mu c} / \sigma_{cc} \simeq N_{\mu\mu c} / N_{cc}(x), \text{ где } x = E_\nu, x_{B_j}, \sqrt{\hat{s}}$$

### Реальные данные (DATA)

$$- N_{\mu\mu c}^{\text{DATA}} = N_{\mu\mu^+}^{\text{DATA}} - N_{\mu\mu_{bg}^+}^{\text{DATA}}$$

- Источником фоновых событий являются лептонные распады мезонов  $\pi^+, K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ .

$$- N_{\mu\mu_{bg}^+}^{\text{DATA}} = N_{\mu\mu^-}^{\text{DATA}} \cdot \left( N_{\mu\mu_{bg}^+}^{\text{MC}} / N_{\mu\mu^-}^{\text{MC}} \right)$$

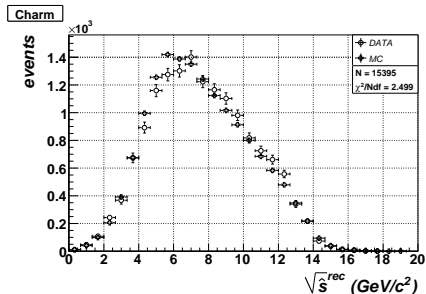
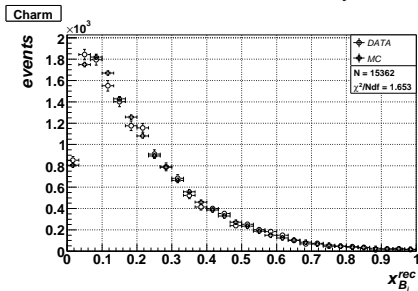
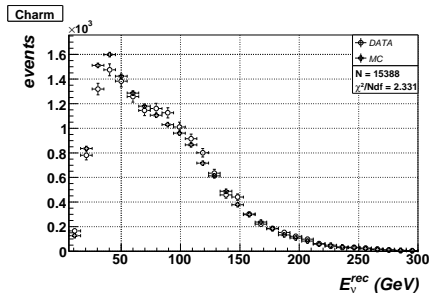
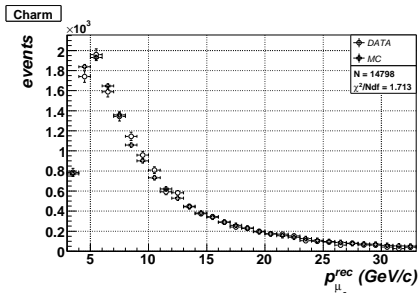
### Моделирование (MC)

-  $N_{\mu\mu c}^{\text{MC}}$  получено при помощи стандартного генератора LEPTO

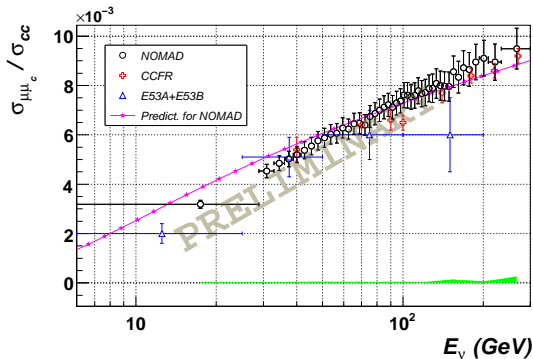
- Для детального предсказания сечение используется вес из отношения  $\sigma_c^{\text{new}} / \sigma_c^{\text{lepto}}$ , где  $\sigma_c^{\text{new}}$  - сечение полученное из фита существующих данных<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>S. Alekhin, S. Kulagin, R. Petti, Phys.Lett.B675:433-440,2009.



Сравнение DATA и MC для  $N_{\mu\mu_c}$ 

## Ди-мюонное рождение чарма в NOMAD

Значение ошибок

	Ошибка (%)
Стат.	$\simeq 5.0 - 6.0$
Сист.	$\lesssim 2.5 - 3.0$

Мы ожидаем

- Значительное улучшение в неопределенности  $x\sigma(x)$
- Уменьшение на ошибку в определение  $m_c$  в  $\sim 3$  раза
- Результаты работы войдут в глобальный фит мировых данных

# Дополнение

- 1 Было измерено отношение выходов мезонов  $\pi^+$ ,  $K^+/\pi^-$ ,  $K^-$
- 2 Проведена перекалибровка переднего калориметра для применяемого эффективного объема детектора
- 3 Было проведено моделирование нейтринных взаимодействий и эффектов установки с учетом современных моделей и теорий
- 4 Разработана и применена процедура решения обратной задачи для учета разрешения и эффективности установки
- 5 Детально изучены экспериментальные систематические неопределенности

# Заключение

- 1 Ди-мюонное рождение чарма - это прямой путь к измерению странного моря нуклона
- 2 События ди-мюонного типа предоставляют информацию о распределении  $s$ -кварка  $x_s(x)$  и о рождении  $c$ -кварка
- 3 Эксперимент NOMAD имеет наибольшую статистику ди-мюонных событий с лучшим порогом чувствительности к массе  $c$ -кварка
- 4 Измерены выходы ди-мюонного рождения чарма как функции энергии нейтрино,  $x$ -Бьеркена и полной энергии в системе центра масс нейтрино и взаимодействующего партонa (кварка)
- 5 Статистическая ошибка исследуемых распределений составляет  $\sim 5 - 6\%$ , систематическая ошибка не превышает  $2.5 - 3\%$
- 6 Полученные результаты позволяют измерить кварк-партонную функцию распределения странного кварка с наилучшей мировой точностью и войдут в "глобальный фит". Мы ожидаем улучшение в неопределенности массы  $c$ -кварка  $\sim 3$  раза.