

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

Р. Петти ^а, О.Б. Самойлов ^б

^а Университет Южной Каролины, Колумбия, США

^б ОИЯИ, Дубна, Россия

(от имени коллаборации NOMAD)

XIV научная конференция "ОМУС 2010"

1-6 февраля 2010

1 Введение

- Странное море нуклона
- Лептон-нуклонное ГНР
- Странное море и рождение чарма
- Ди-мюонное рождение чарма

2 Анализ данных эксперимента NOMAD

- Детектор NOMAD
- Обзор экспериментальных данных
- Идея анализа
- Сравнение DATA и MC
- Ди-мюонное рождение чарма в NOMAD

3 Заключение

Содержание

1 Введение

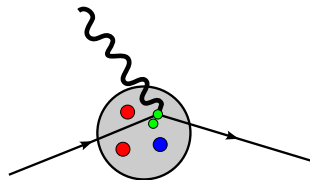
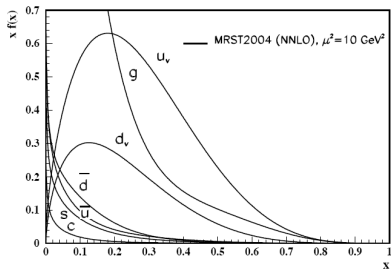
- Странное море нуклона
- Лептон-нуклонное ГНР
- Странное море и рождение чарма
- Ди-мюонное рождение чарма

2 Анализ данных эксперимента NOMAD

- Детектор NOMAD
- Обзор экспериментальных данных
- Идея анализа
- Сравнение DATA и MC
- Ди-мюонное рождение чарма в NOMAD

3 Заключение

Странное море нуклона



Распределение странного кварка и асимметрия в распределении $s - \bar{s}$

$$x s(x, Q_0^2) = A_s x^{a_s} (1 - x)^{b_s}, \quad x (s(x) - \bar{s}(x))$$

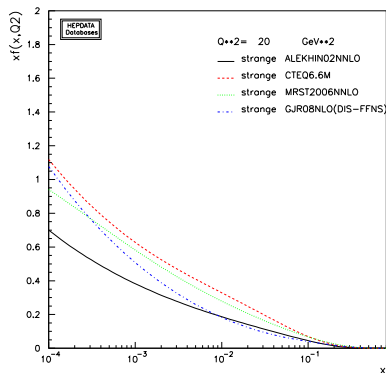
Фактор подавления s-кварка по отношению к нестранным

морским кваркам

$$\kappa_s(Q^2) = \frac{\int_0^1 x [s(x, Q^2) + \bar{s}(x, Q^2)] dx}{\int_0^1 x [\bar{u}(x, Q^2) + \bar{d}(x, Q^2)] dx}, \quad \kappa_s(20 \text{ GeV}^2) = 0.48 \text{ (CCFR)}$$

Странное море нуклона

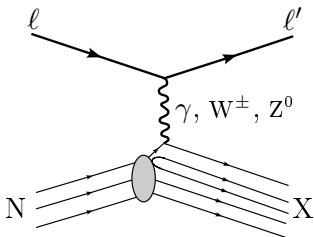
Распределение s-кварка с различными параметризациями



Странное море играет важную роль

- для предсказания выходов странных и очарованных частиц
- для поляризации Λ -гиперонов
- для предсказания фона в экспериментах по поиску осцилляций нейтрино $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ (OPERA)

Лептон-нуклонное Глубоко неупругое рассеяние (ГНР)



Электромагнитное взаимодействие

$$\frac{d^2\sigma}{dx dy} = \frac{4\pi\alpha^2(s - M^2)}{Q^4} \left[xy^2 F_1 + \left(1 - y - \frac{M^2}{s - M^2} xy\right) F_2 \right]$$

$$F_2(x, Q) = x \sum_{i=1}^{n_f} e_i^2 [q_i(x) + \bar{q}_i(x)], \quad q_i = u, d, s, \dots$$

Слабое взаимодействие (нейтрино)

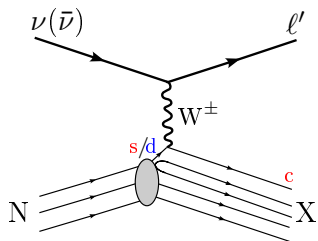
$$\frac{d^2\sigma^{\nu(\bar{\nu})}}{dx dy} = \frac{G_F^2 ME}{\pi} \left(\frac{m_W^2}{m_W^2 + Q^2} \right)^2 \left[\left(1 - y - \frac{Mxy}{2E}\right) F_2 + \frac{y^2}{2} F_T \pm y \left(1 - \frac{y}{2}\right) x F_3 \right]$$

$$F_2(x, Q) = 2\xi \left(\sum_{q_i} q_i(\xi) + \sum_{\bar{q}_i} \bar{q}_i(\xi) \right) \quad \xi = x \left(1 + m_{q_f}^2 / Q^2\right)$$

$$F_3(x, Q) = 2 \left(\sum_{q_i} q_i(\xi) - \sum_{\bar{q}_i} \bar{q}_i(\xi) \right) \quad \begin{cases} \nu : & q_i = d, s, b \quad \text{и} \quad \bar{q}_i = \bar{u}_i, \bar{c}_i, \bar{t}_i \\ \bar{\nu} : & q_i = u, c, t \quad \text{и} \quad \bar{q}_i = \bar{d}_i, \bar{s}_i, \bar{b}_i \end{cases}$$

$$F_T(x, Q) = 2 \frac{\xi}{x} F_2 = \pm x F_3$$

Странное море и рождение чарма



ККМ матрица смешивания и угол Кабиббо

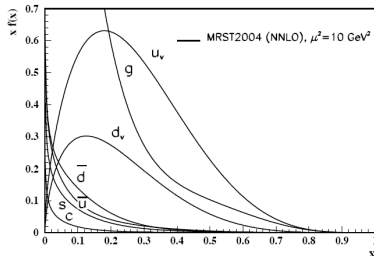
$$V_{\text{ККМ}} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} s \rightarrow c (\simeq 95\%), & \quad \cos \theta_c = V_{cs} = 0.97334 \\ d \rightarrow c (\simeq 5\%), & \quad \sin \theta_c = V_{cd} = 0.2256 \end{aligned}$$

$$F_{2,c}(x, Q) = 2\xi \left[|V_{cs}|^2 s(\xi, \mu) + |V_{cd}|^2 \frac{u(\xi, \mu) + d(\xi, \mu)}{2} \right]$$

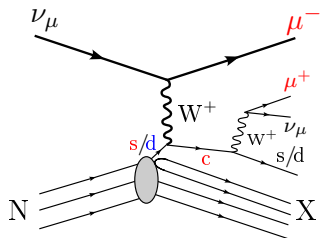
$$\xi = x \left(1 + \frac{m_c^2}{Q^2} \right), \quad \mu = \sqrt{Q^2 + m_c^2}$$

$$\begin{cases} \nu : s/(d_v + d_s) \rightarrow c & \simeq 50\% \\ \bar{\nu} : \bar{s}/\bar{d}_s \rightarrow \bar{c} & \simeq 70 - 80\% \end{cases}$$



Ди-мюонное рождение чарма

Ди-мюонная фрагментация с-кварка



$$\frac{d^2\sigma_{\mu\mu}}{dx dy dz} = \frac{d^2\sigma_c}{dx dy} \sum_h f_h D_c^h(z) B_c(h \rightarrow \mu^+ X),$$

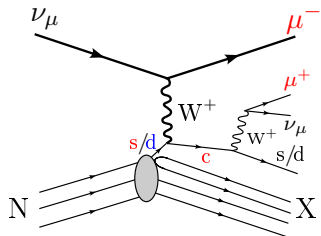
$$h = D^0, D^+, D_s^+, \Lambda_c^+, \quad \sum_h f_h = 1$$

Параметризации фрагментации с-кварка

Peterson: $D(z, \epsilon) \sim \frac{1}{z} \left[1 - \frac{1}{z} - \frac{\epsilon}{1-z} \right]^{-2}$

Collins-Spiller: $D(z, \epsilon) \sim \left[\frac{1-z}{z} - \epsilon \frac{2-z}{1-z} \right] (1+z)^2 \left[1 - \frac{1}{z} - \frac{\epsilon}{1-z} \right]^{-2}, \quad \epsilon = 0.13$

Ди-мюонное рождение чарма



Ди-мюонная фрагментация с-кварка

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

$$B_\mu = \sum_h f_h B_c(h \rightarrow \mu^+ X)$$

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

Параметризации фрагментации с-кварка

Peterson: $D(z, \epsilon) \sim \frac{1}{z} \left[1 - \frac{1}{z} - \frac{\epsilon}{1-z} \right]^{-2}$

Collins-Spiller: $D(z, \epsilon) \sim \left[\frac{1-z}{z} - \epsilon \frac{2-z}{1-z} \right] (1+z)^2 \left[1 - \frac{1}{z} - \frac{\epsilon}{1-z} \right]^{-2}, \quad \epsilon = 0.13$

Возможности ди-мюонного рождения чарма

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

Содержание

1 Введение

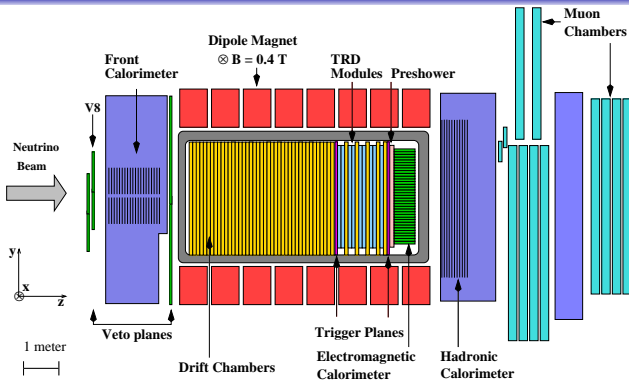
- Странное море нуклона
- Лептон-нуклонное ГНР
- Странное море и рождение чарма
- Ди-мюонное рождение чарма

2 Анализ данных эксперимента NOMAD

- Детектор NOMAD
- Обзор экспериментальных данных
- Идея анализа
- Сравнение DATA и MC
- Ди-мюонное рождение чарма в NOMAD

3 Заключение

Детектор NOMAD



- Большой набор нейтринных взаимодействий, интерполированных в передний калориметр (FCAL), $\simeq 13\text{M}$ ($\sim 50\text{k}$ ди-мюонных событий с разным зарядом)
- Хорошее энергетическое разрешение, $\Delta E/E \simeq 3.2\%/\sqrt{E[\text{ГэВ}]}$
- Хорошее качество реконструкции треков заряженных частиц, $\varepsilon \gtrsim 95\%$, $\Delta p/p \simeq 3.5\%$

Обзор экспериментальных данных

	Exp.	Publ.	Stat. ($N_{\mu\mu}$)	E_ν (ГэВ)
<u>νN</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)
	NOMAD		$\sim 15 - 17k$ exp.	6 – 300 (24.3)
<u>$\bar{\nu} N$</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.

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)

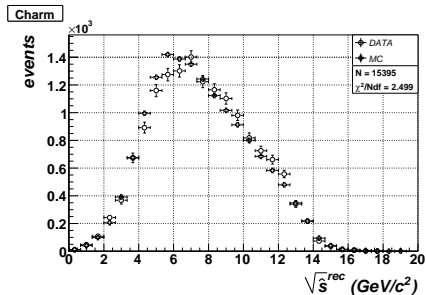
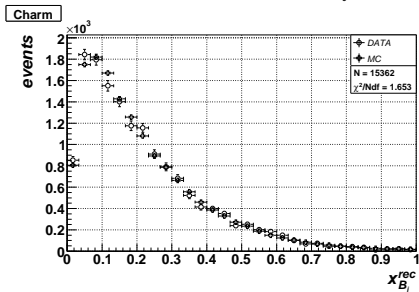
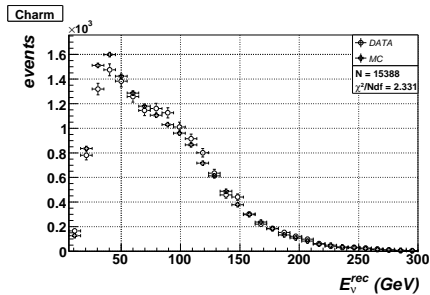
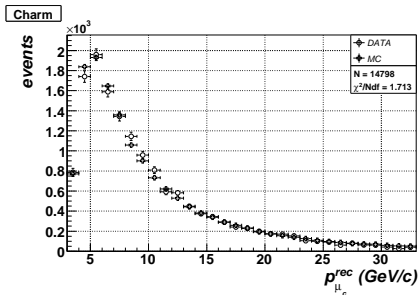
- $N_{\mu\mu c}^{\text{MC}}$ получено при помощи стандартного генератора LEPTO
- Для детального предсказания сечение используется вес из отношения $\sigma_c^{\text{new}} / \sigma_c^{\text{lepto}}$, где σ_c^{new} - сечение полученное из фита существующих данных^a.

^aS. Alekhin, S. Kulagin, R. Petti, Phys.Lett.B675:433-440,2009.

Данные по рассеянию $\nu_\mu N$ по каналу заряженного тока

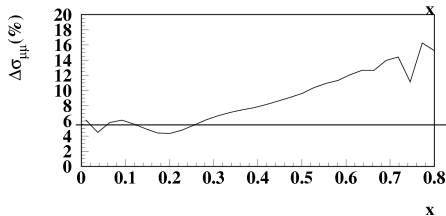
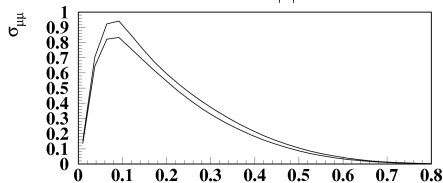
События, интерполированные в передний калориметр, хорошо описаны. Вклад фона незначителен.

Сравнение DATA и MC

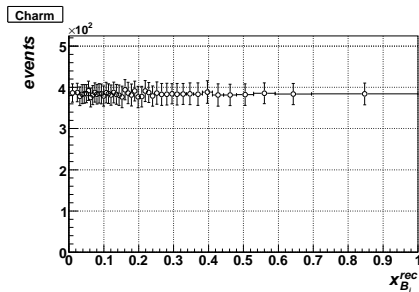
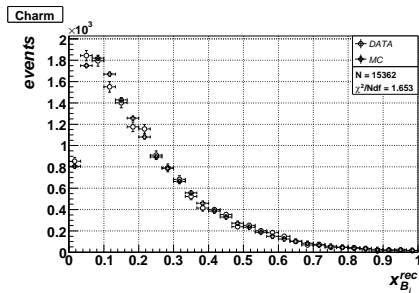


x-Бьеркен

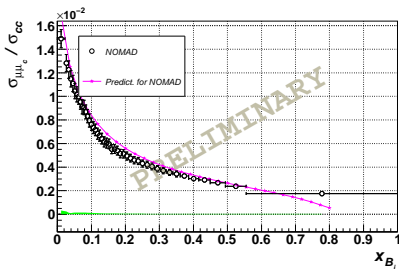
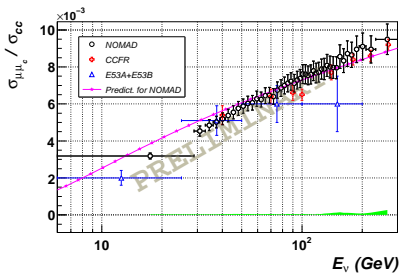
предсказание от Алехина и др.
для NOMAD



16k/45точек $\simeq 380 \rightarrow 5.0 - 6.0\%$



Ди-мюонное рождение чарма в NOMAD



Значение ошибок

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

Содержание

1 Введение

- Странное море нуклона
- Лептон-нуклонное ГНР
- Странное море и рождение чарма
- Ди-мюонное рождение чарма

2 Анализ данных эксперимента NOMAD

- Детектор NOMAD
- Обзор экспериментальных данных
- Идея анализа
- Сравнение DATA и MC
- Ди-мюонное рождение чарма в NOMAD

3 Заключение

Заклучение

- 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 $\sigma_{\mu\mu c}/\sigma_{cc}$
- 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 партона (кварка)
- 5 Статистическая ошибка исследуемых распределений составляет порядка 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 ~ 3 раза.