Funções de Estrutura do Neutrino no Formalismo de Dipolos

M. M. Machado

melo.machado@ufrgs.br

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

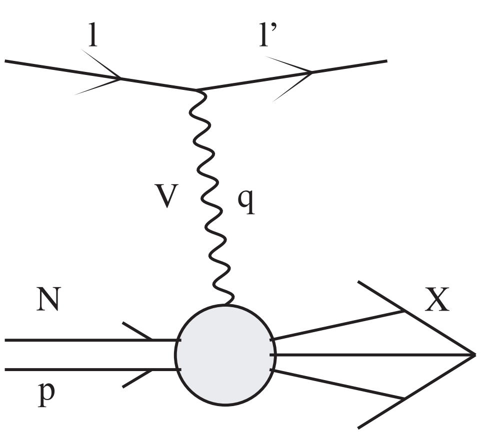
Tópicos

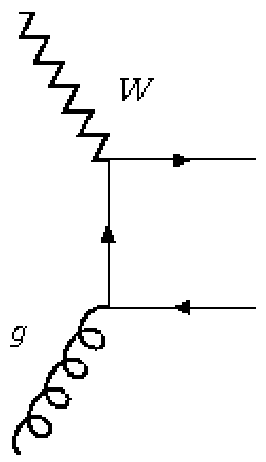
- Interação - [νN e νA]
- CC DIS hadrônica
- CC DIS nuclear
- Funções de estrutura
- Parametrizações da seção de choque de dipolo
- Resultados
- Conclusões
- Bibliografia

Interação

- Espalhamento profundamente inelástico de neutrino (via corrente carregada - CC).
- Modelo de pártons / QCD
- Dominante em pequeno-x (altas energias)

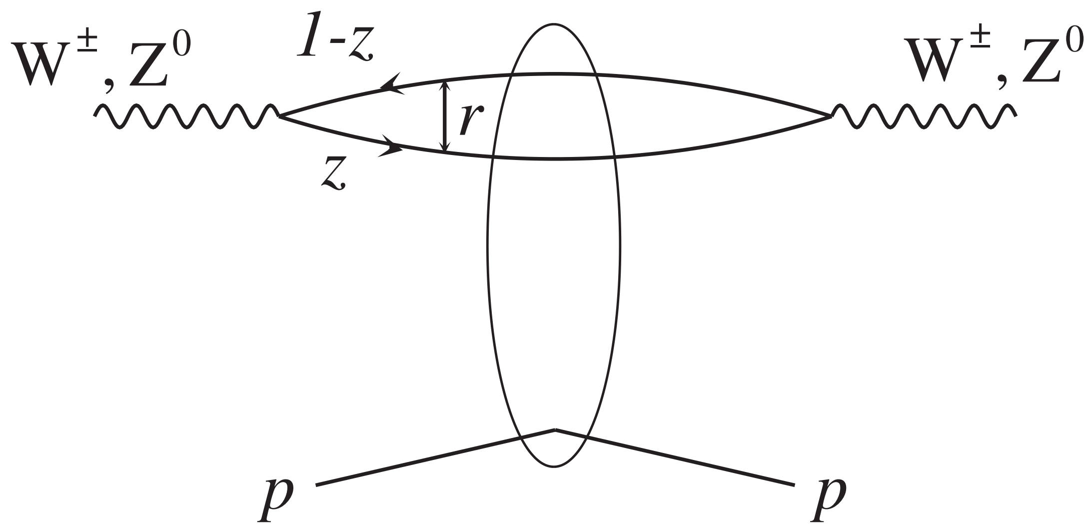
$$W^+ g \to c\bar{s} \qquad W^- g \to \bar{c}s$$





Interação

- CC DIS no formalismo de dipolos de cor
- DIS tratado em termos da interação de dipolos de cor de tamanho transverso r e fração de momentum z



Hadronic CC DIS

- Define-se para paridade escalar $(\lambda = 0)$, mão-esquerda, $(\lambda = -1)$, e mão-direita, $(\lambda = +1)$, W
- Fórmula de fatorização de dipolo

$$\sigma_\lambda(x, Q^2) = \int dz d^2\mathbf{r} \sum_{\lambda_1,\lambda_2} |\Psi_\lambda^{\lambda_1,\lambda_2}(z, \mathbf{r})|^2 \sigma(x, r) \,.$$

onde $\Psi_\lambda^{\lambda_1,\lambda_2}(z, \mathbf{r})$ é a função de onda e λ_1, λ_2 refere-se à helicidade do bóson.

Hadronic CC DIS

- As componentes Vetorial e Axial da LCWF são as seguintes:

$$\Psi_\lambda^{\lambda_1,\lambda_2}(z,\mathbf{r}) = V_\lambda^{\lambda_1,\lambda_2}(z,\mathbf{r}) - A_\lambda^{\lambda_1,\lambda_2}(z,\mathbf{r})$$

Para $\lambda = 0$

$$V_0^{\lambda_1,\lambda_2}(z,\mathbf{r}) = \frac{\sqrt{\alpha_W N_c}}{2\pi Q}\left\{\delta_{\lambda_1,-\lambda_2}\left[2Q^2 z(1-z)\right.\right.$$
$$\left. +(m-\mu)[(1-z)m - z\mu]\right] K_0(\varepsilon r)$$
$$\left. -i\delta_{\lambda_1,\lambda_2}(2\lambda_1)e^{-i2\lambda_1\phi}(m-\mu)\varepsilon K_1(\varepsilon r)\right\} , \tag{1}$$

$$A_0^{\lambda_1,\lambda_2}(z,\mathbf{r}) = \frac{\sqrt{\alpha_W N_c}}{2\pi Q}\left\{\delta_{\lambda_1,-\lambda_2}(2\lambda_1)\left[2Q^2 z(1-z)\right.\right.$$
$$\left. +(m+\mu)[(1-z)m + z\mu]\right] K_0(\varepsilon r)$$
$$\left. +i\delta_{\lambda_1,\lambda_2}e^{-i2\lambda_1\phi}(m+\mu)\varepsilon K_1(\varepsilon r)\right\} . \tag{2}$$

Hadronic CC DIS

Para $\lambda = \pm 1$

$$V_\lambda^{\lambda_1,\lambda_2}(z,\mathbf{r}) = -\frac{\sqrt{2\alpha_W N_c}}{2\pi}\left\{\delta_{\lambda_1,\lambda_2}\delta_{\lambda,2\lambda_1}[(1-z)m + z\mu]K_0(\varepsilon r)\right.$$

$$\left. -i(2\lambda_1)\delta_{\lambda_1,-\lambda_2}e^{i\lambda\phi}\left[(1-z)\delta_{\lambda,-2\lambda_1} + z\delta_{\lambda,2\lambda_1}\right]\varepsilon K_1(\varepsilon r)\right\} , \quad (3)$$

$$A_\lambda^{\lambda_1,\lambda_2}(z,\mathbf{r}) = \frac{\sqrt{2\alpha_W N_c}}{2\pi}\left\{\delta_{\lambda_1,\lambda_2}\delta_{\lambda,2\lambda_1}(2\lambda_1)[(1-z)m - z\mu]K_0(\varepsilon r)\right.$$

$$\left. +i\delta_{\lambda_1,-\lambda_2}e^{i\lambda\phi}\left[(1-z)\delta_{\lambda,-2\lambda_1} + z\delta_{\lambda,2\lambda_1}\right]\varepsilon K_1(\varepsilon r)\right\} , \quad (4)$$

onde,

$$\varepsilon^2 = z(1-z)Q^2 + (1-z)m^2 + z\mu^2$$

e

$$\alpha_W = g^2/4\pi$$

Hadronic CC DIS

- Os elementos da matriz densidade

$$\rho_{\lambda\lambda'} = \sum_{\lambda_1,\lambda_2} \Psi_{\lambda}^{\lambda_1,\lambda_2} \left(\Psi_{\lambda'}^{\lambda_1,\lambda_2}\right)^*$$

são os seguintes

$$\rho_{00}(z,\mathbf{r}) = \sum_{\lambda_1,\lambda_2} \left(\left| V_0^{\lambda_1,\lambda_2} \right|^2 + \left| A_0^{\lambda_1,\lambda_2} \right|^2 \right)$$

$$= \frac{2\alpha_W N_c}{(2\pi)^2 Q^2} \Big\{ \Big[\left[2Q^2 z(1-z) + (m-\mu)[(1-z)m - z\mu]\right]^2$$

$$+ \left[2Q^2 z(1-z) + (m+\mu)[(1-z)m + z\mu]\right]^2 \Big]$$

$$\times K_0(\varepsilon r)^2 + [(m-\mu)^2 + (m+\mu)^2]\varepsilon^2 K_1(\varepsilon r)^2 \Big\} \tag{5}$$

Hadronic CC DIS

Para $\lambda = \lambda' = \pm 1$

$$\rho_{+1+1}(z,\mathbf{r}) = \left|\Psi_{+1}^{+1/2+1/2}\right|^2 + \left|\Psi_{+1}^{-1/2+1/2}\right|^2$$

$$= \frac{8\alpha_W N_c}{(2\pi)^2}(1-z)^2\left[m^2 K_0(\varepsilon r)^2 + \varepsilon^2 K_1(\varepsilon r)^2\right], \tag{6}$$

$$\rho_{-1-1}(z,\mathbf{r}) = \left|\Psi_{-1}^{-1/2-1/2}\right|^2 + \left|\Psi_{-1}^{-1/2+1/2}\right|^2$$

$$= \frac{8\alpha_W N_c}{(2\pi)^2} z^2\left[\mu^2 K_0(\varepsilon r)^2 + \varepsilon^2 K_1(\varepsilon r)^2\right]. \tag{7}$$

Hadronic CC DIS

- A densidade dos estados c $\bar{s}$ para um bóson W transversalmente polarizado será

$$
\begin{aligned}
\rho_{TT} &= \frac{1}{2}\left(\rho_{+1+1} + \rho_{-1-1}\right) \\
&= \frac{4\alpha_W N_c}{(2\pi)^2}\left\{\left[(1-z)^2 m^2 + z^2\mu^2\right] K_0(\varepsilon r)^2 \right. \\
&\qquad \left. + \left[(1-z)^2 + z^2\right]\varepsilon^2 K_1(\varepsilon r)^2\right\} \ . \qquad (8)
\end{aligned}
$$

- Portanto, ρ_{00} e ρ_{TT} são as densidades de probabilidade $|\Psi_L|^2$ e $|\Psi_T|^2$ respectivamente

Funções de Estrutura

$$\frac{d\sigma}{dxdy} = \frac{2ME_1}{\pi}\frac{G_1G_2}{n_l}[g_{+l}^2[xF_1y^2 + F_2[(1-y) - (\frac{Mxy}{2E_1})]] \pm g_{-l}^2[xF_3y(1-\frac{y}{2})]]$$

- Observável fortemente afetado é a função de estrutura de DIS neutrino-nucleon denominada $xF_3^{\nu N}$
- Em termos de σ_R e σ_L temos

$$2xF_3(x,Q^2) = \frac{Q^2}{4\pi^2\alpha_W}\left[\sigma_L(x,Q^2) - \sigma_R(x,Q^2)\right]. \tag{9}$$

Funções de Estrutura

- Termos de valência, xV, são os mesmos para as funções de estrutura de νN e $\bar{\nu} N$
- O termo de mar em $xF_3^{\nu N}$, $(xS(x, Q^2))$ possui sinal oposto na $xF_3^{\bar{\nu} N}$
- Substituindo $m \leftrightarrow \mu$ e $\sigma_L \leftrightarrow \sigma_R$ temos

$$xF_3^{\nu N} = xV + xS, xF_3^{\bar{\nu} N} = xV - xS$$

- Combinando-se as funções de estrutura acima, temos

$$\Delta xF_3 = xF_3^{\nu N} - xF_3^{\bar{\nu} N} = 2xS.$$

Demais funções de estrutura

- O cálculo de xF_1 também pode ser feito, através de

$$2xF_1(x,Q^2) = \frac{Q^2}{4\pi^2\alpha_W}\sigma_T(x,Q^2),$$

onde

$$\sigma_T = \frac{1}{2}\left[\sigma_L(x,Q^2) + \sigma_R(x,Q^2)\right].$$

Demais funções de estrutura

- $F_2^{\nu N}(x,Q^2)$ também pode ser encontrado, usando

$$F_2^\nu = F_T^\nu + F_L^\nu$$

$$F_{(T,L)}^{CC}(x,Q^2) = \frac{Q^2}{4\pi^2}\int d^2\mathbf{r}\int_0^1 dz|\psi_{T,L}^{W^\pm}|^2\sigma_{dip}(r,x)$$

com

$$|\psi_T^{W^\pm}(r,z,Q^2)|^2 = \frac{6}{\pi^2}[z^2+(1-z)^2]\epsilon^2 K_1^2(\epsilon r)$$

$$|\psi_L^{W^\pm}(r,z,Q^2)|^2 = \frac{24}{\pi^2}z^2(1-z)^2 Q^2 K_0^2(\epsilon r)$$

Nuclear CC DIS

- Considerando-se os efeitos nucleares, as funções de estrutura anteriores passam a ser descritas através de uma modificação na seção de choque de dipolo, incluindo efeitos nucleares
- Então, temos que

$$\sigma_\lambda^A(x,Q^2) = \int dz d^2\mathbf{r} \sum_{\lambda_1,\lambda_2} |\Psi_\lambda^{\lambda_1,\lambda_2}(z,\mathbf{r})|^2 \sigma^A(x,r)$$

onde usamos o formalismo de Glauber-Gribov

$$\sigma^A(x,r) = 2\int d^2\mathbf{b} \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{1}{2}\sigma(x,r)T(b) \right] \right\}.$$

e o Perfil Nuclear

$$T(b) = \int_{-\infty}^{+\infty} dz n(\sqrt{z^2+b^2}),$$

Parametrizações

- Parametrização da seção de choque dipolo-nucleon
  - GBW (Golec-Biernat/Wusthoff - 1999)

$$\sigma_{dip}(x,r) = \sigma_0 \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{Q_s^2(x) r^2}{4} \right] \right\} (1-x)^7$$

  - IIM (Iancu, Itakura, Munier - 2004)

$$\sigma_{dip} = \sigma_0 \begin{cases} \mathcal{N}_0 \left(\frac{\boldsymbol{r}\, Q_{\rm sat}}{2} \right)^{2\left(\gamma_{\rm sat} + \frac{\ln(2/\boldsymbol{r}\, Q_{\rm sat})}{\kappa\, \lambda\, Y} \right)}, & (\boldsymbol{r} Q_s \leq 2)\,, \\ 1 - \exp^{-a\, \ln 2\, (b\, \boldsymbol{r}\, Q_{\rm sat})}\,, & (\boldsymbol{r} Q_s > 2)\,, \end{cases}$$

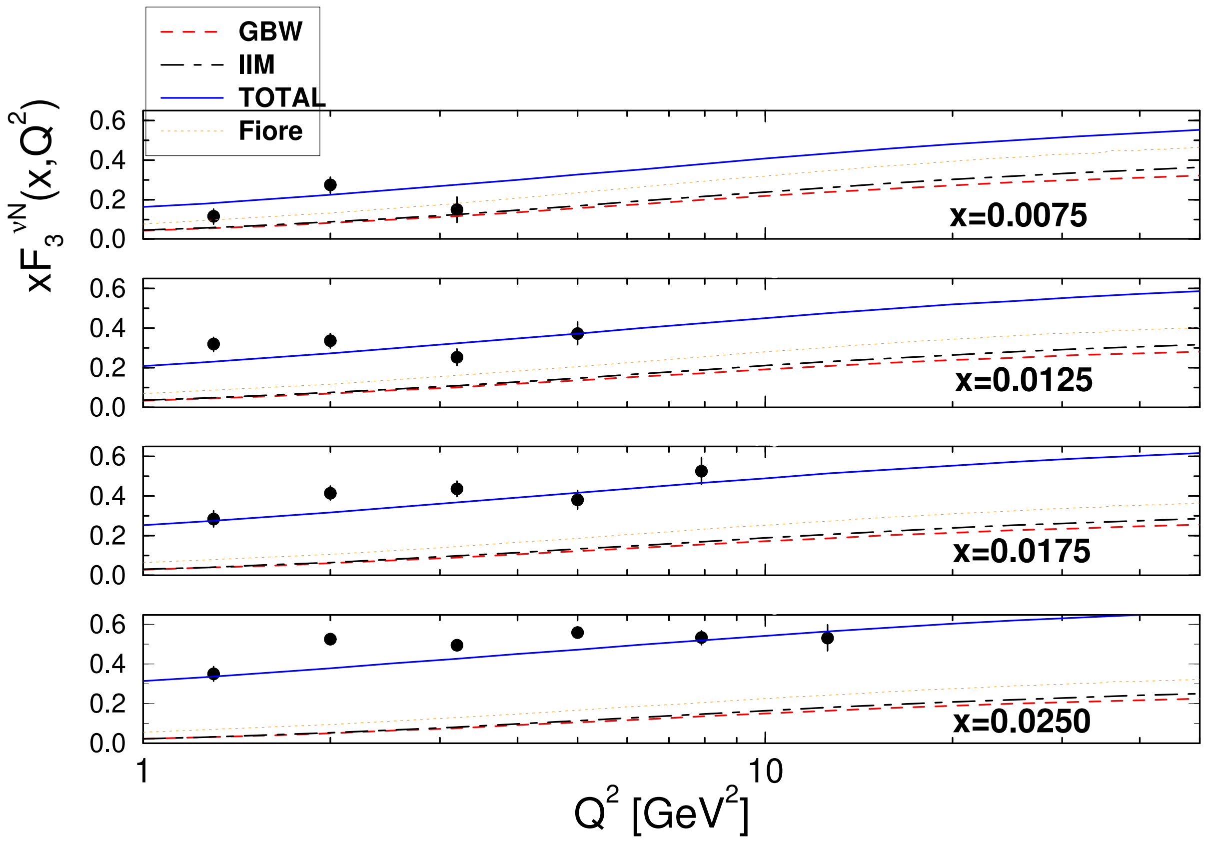
onde $Q_s^2(x) = (\frac{x_0}{x})^\lambda, \quad \sigma_0 = 2\pi R_p^2,$

$\kappa = 9.9, \quad R_p = 0.641 fm, \qquad \lambda = 0.253,$

$\gamma_{\rm sat} = 0.63, \quad n_0 = 0.7$ e $Y = ln(1/x)$

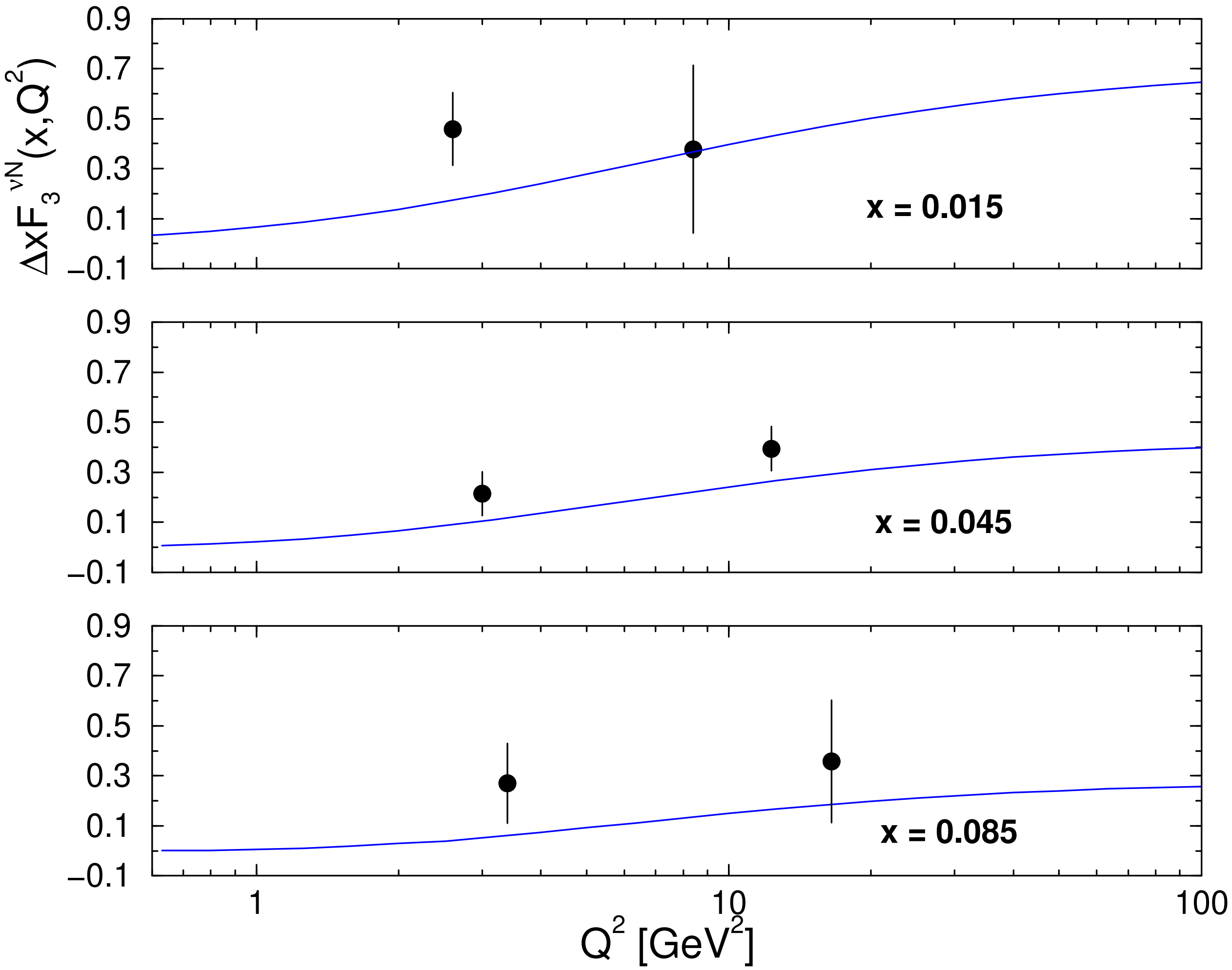
Resultados CC hadrônica

- Análise das funções de estrutura xF_3 para DIS neutrino-núclear;
- CCFR data 2001



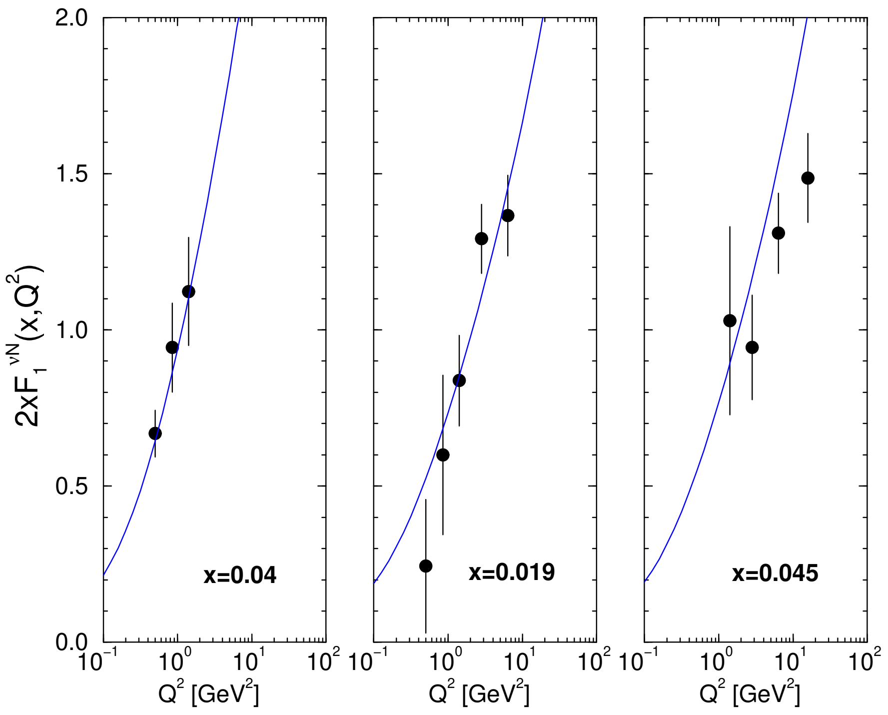
Resultados CC hadrônica

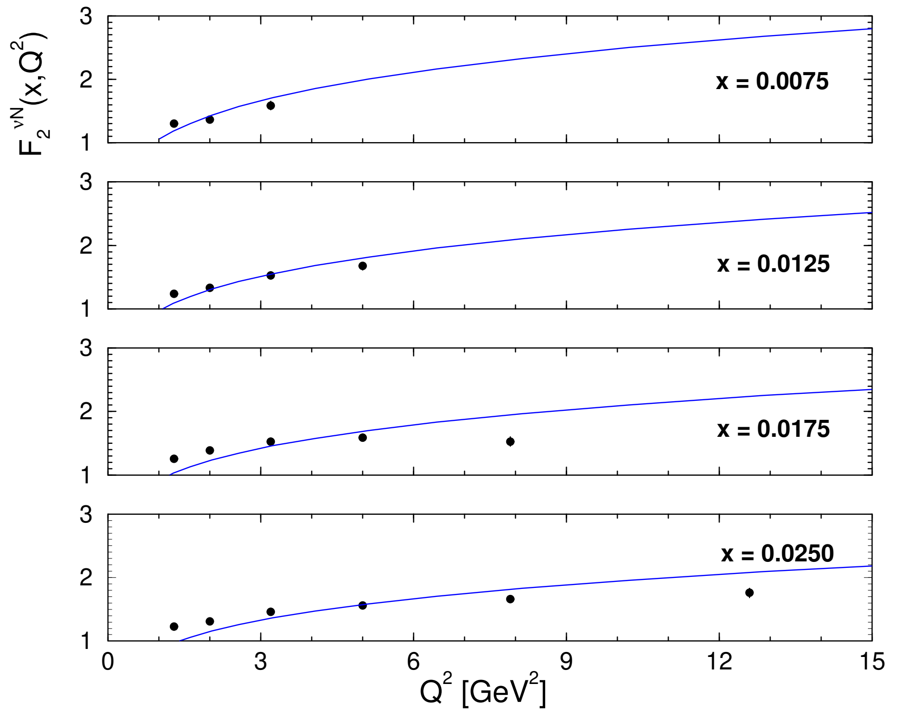
- $\Delta x F_3$ como função de Q^2



Resultados CC hadrônica

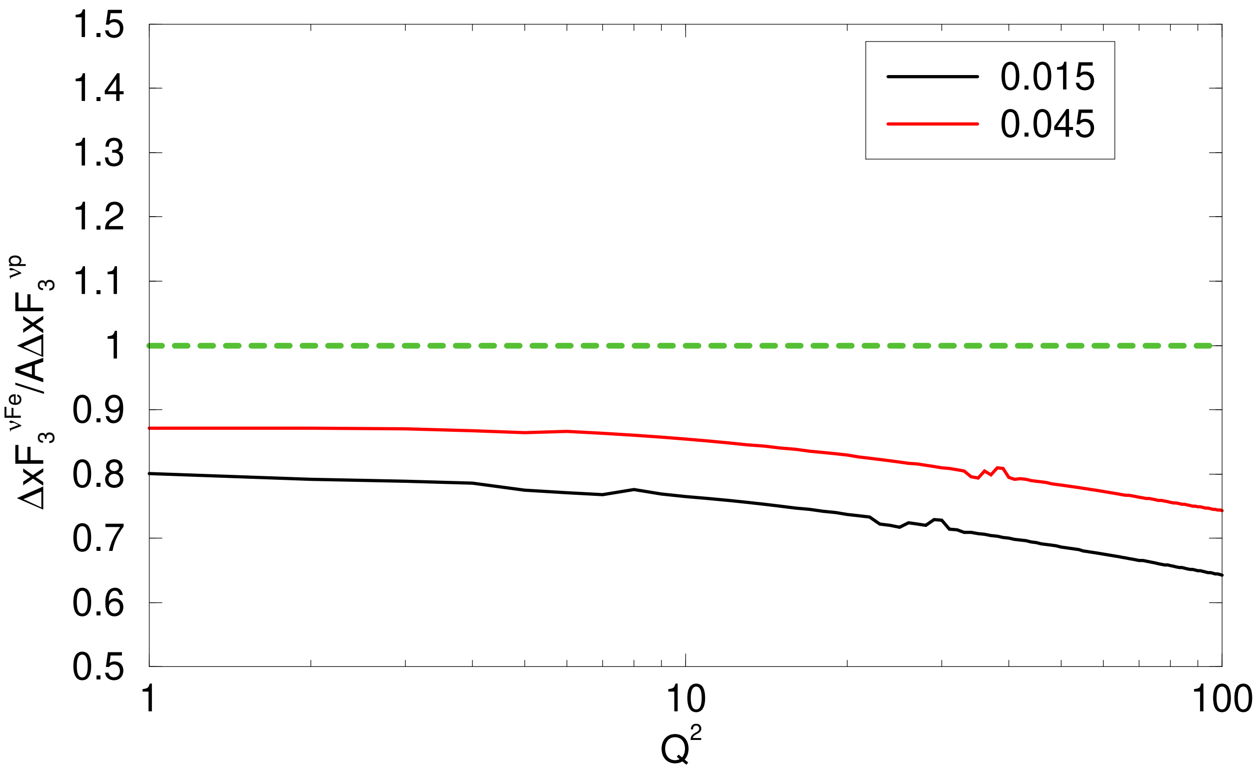
- Análise das funções de estrutura xF_1 e F_2 para DIS neutrino-núclear





Resultados CC nuclear

- Efeitos nucleares no processo ν Fe



Conclusões

- Modelos de dipolos de cor descrevem razoavelmente dados das funções de estrutura dos neutrinos;
- Neste formalismo a correção de sombreamento nuclear é da ordem de 20%;
- Teste do limite de validade do formalismo de dipolos para $x \approx 0.01$;
- Importante para predições nos novos experimentos MINERνA (Fermilab) e neutrino factory

Bibliografia

- Fiore, R. and Zoller, V. R.; JETP Lett. 82 (2005) 385;
- Fiore, R. and Zoller, V. R.; Phys. Lett. B632 (2006) 87;
- Seligman, W. G. et al. Phys. Rev. Lett. 79 (1997) 1213;
- Yang, U. K. et al. Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 2742;
- Yang, U. K. et al. Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 251802;
- Chungui, D., Guanglie, L. and Pengnian, S. hep-ph 0604146 (2006).