

Guía XX: Las funciones de distribución de quarks y gluones en el protón

1. En experimentos de scattering profundamente inelástico de muones y neutrinos contra blancos de nucleones, se midieron las funciones de estructura F_2 y F_3 , obteniéndose los siguientes resultados

$$\int_0^1 \frac{F_2^{\mu p}(x) - F_2^{\mu n}(x)}{x} dx = 0.28 \pm 0.07 \qquad \int_0^1 F_3^{\nu N}(x) dx = 3.01 \pm 0.10$$

$$\int_0^1 \frac{F_2^{\nu n}(x) - F_2^{\nu p}(x)}{x} dx = 2.14 \pm 0.20 \qquad \frac{F_2^{\mu N}(x)}{F_2^{\nu N}(x)} = 0.275 \pm 0.002 \quad (x > 0.3)$$

- a. Obtenga de éstas el módulo de la carga del quark u y d , y el número de quarks u y d de valencia en el protón.
 b. Aumentará o disminuirá $F_2^{\mu N}(x)/F_2^{\nu N}(x)$ para pequeño x ?
2. Al colisionar dos haces de protones, se observa a veces la producción de un par $\mu\bar{\mu}$ ($pp \rightarrow \mu\bar{\mu}X$). En términos del modelo de partones, este proceso ocurre vía la aniquilación $q\bar{q} \rightarrow \mu\bar{\mu}$. Llamemos p y p' a los 4-momentos de cada protón incidente, k y k' a los del μ y $\bar{\mu}$, $s=(p+p')^2$ a la energía total en el c.m., y $Q^2=(k+k')^2$ a la masa invariante del sistema $\mu\bar{\mu}$. La sección eficaz del proceso $e\bar{e} \rightarrow \mu\bar{\mu}$, calculada vía QED, es $\sigma_0 = 4\pi\alpha^2/3Q^2$.
- a. Dado s , cuál es el rango posible de valores de Q^2 ? Cómo se relaciona Q^2 con el 4-momento del γ^* intermediario?
 b. Muestre que la sección eficaz del proceso en términos de las funciones de distribución de quarks $q_i(x)$ es:

$$\frac{d\sigma}{dQ^2}(pp \rightarrow \mu\bar{\mu}X) = \frac{4\pi\alpha^2}{9Q^4} \sum_i e_i^2 \int dx_1 \int dx_2 q_i(x_1) \bar{q}_i(x_2) \delta(x_1 x_2 \frac{s}{Q^2} - 1)$$

- c. Si bien la sección eficaz depende de la energía de los haces y del Q^2 del par $\mu\bar{\mu}$, muestre que el modelo de quarks predice que la combinación $Q^4(d\sigma/dQ^2)$ sólo es función del cociente Q^2/s y no de Q^2 y s separadamente.
 d. En el Tevatrón de Fermilab colisionan un haz de protones contra uno de antiprotones, ambos de 900 GeV, con una luminosidad de 10^{31} cm⁻²/s. Suponiendo que el protón está compuesto de tres quarks en reposo, calcule cuantos pares $\mu\bar{\mu}$ se observarán por día. ¿Cuál será el Q^2 de los mismos?
3. Se observa producción de pares $\mu\bar{\mu}$ al hacer incidir haces de π^+ o π^- contra núcleos de carbono. A energía constante se observa que el cociente

$$\frac{\sigma(\pi^+ C \rightarrow \mu\bar{\mu}X)}{\sigma(\pi^- C \rightarrow \mu\bar{\mu}X)}$$

vale 1 para Q^2/s chico, y decrece hacia 1/4 al crecer Q^2/s hasta 1. Muestre que ésto es exactamente lo que predice el modelo de partones.

4. La sección eficaz total para producción de bosones W^+ en colisiones positrón-neutrino está dada por

$$\hat{\sigma}(e^+\nu_e \rightarrow W^+) = \frac{2\pi G_F^2 M_W^2}{\sqrt{2}}$$

donde G_F es la constante de acoplamiento de Fermi y M_W la masa del W . En base a ésto, muestre que la sección eficaz total de producción de W^+ en colisiones $p\bar{p}$, despreciando contribuciones de los quarks extraños, es

$$\sigma(p\bar{p} \rightarrow W^+X) = \frac{2\pi G_F^2 M_W^2}{3\sqrt{2}} \int_0^1 \left[u(x) d\left(\frac{M_W^2}{sx}\right) + \bar{u}(x) \bar{d}\left(\frac{M_W^2}{sx}\right) \right] dx$$

¿Cómo se modifica la expresión de la sección eficaz si se incorporan los quarks extraños?

5. Considere los procesos (1) $p\bar{p} \rightarrow \gamma + \text{jet}$ y (2) $p\bar{p} \rightarrow 2 \text{jets}$. Dibuje los diagramas de Feynman de orden más bajo para cada uno (2 y 7 diagramas, respectivamente). Explique por qué para (1) a alto p_T aumenta la probabilidad que el jet provenga de la fragmentación de un gluón; mientras que para (2) es a la inversa.