پژوهشگاه دانشهای بنیادی

شماره مقاله(سخنرانی) : ۶

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

بررسی عدم توافق داده‌های EMC با نظریه QCD

علیرضا عالی دانشور، علی خرمیان، محمد گوهری‌پور، سعیده رستمی

دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان

چکیده

در این مقاله با استفاده از نظریه QCD تابع ساختار $F_2^{c\bar{c}}$ کوارک افسون را محاسبه نموده و با مقایسه با داده‌های EMC عدم توافق نظریه با داده‌های تجربی در نواحی x کوچک و x بزرگ را بررسی می‌کنیم. در ادامه به اثر کوارک افسون ذاتی در تحلیل این داده‌ها می‌پردازیم و همبستگی تابع توزیع کوارک افسون با تابع ساختار کوارک افسون را ارائه می‌دهیم.

مقدمه

به‌طور کلی با مقایسه مقادیر قابل مشاهده و مقادیر به‌دست آمده از هر نظریه می‌توان میزان اعتبار آن نظریه را تعیین نمود. اما عدم توافق داده‌های تجربی و نظریه می‌تواند ناشی از علل متفاوتی باشد. به‌عنوان مثال خطاهایی که در اندازه‌گیری‌های تجربی وارد می‌شود و یا تقریب‌هایی که در محاسبات نظری اعمال می‌شود می‌تواند سبب اختلاف بین مقادیر به‌دست آمده از آزمایشگاه و مقادیر نظری باشد. در این مقاله به بررسی عدم توافق داده‌های تابع ساختار $F_2^{c\bar{c}}$ گروه EMC [۱] و توصیفی که نظریه QCD از این داده‌ها ارائه می‌دهد می‌پردازیم.

تابع ساختار سنگین $F_2^{c\bar{c}}$

سهم کوارک‌های سنگین در تابع ساختار پروتون F_2^p تا تقریب NLO با رابطه زیر داده می‌شود [۲]

$$F_k^h(x,Q^2)=\frac{\alpha_s}{2\pi}\left\{e_h^2 g\otimes C_{k,g}^{(0)}+\frac{\alpha_s}{2\pi}\left(e_h^2 g\otimes C_{k,g}^{(1)}+e_h^2 q_s\otimes C_{k,q}^{(1)}+q_p\otimes D_{k,q}^{(1)}\right)\right\}, \qquad (۱)$$

که در آن e_h بار کوارک سنگین، g چگالی گلوئون، q_s چگالی پارتونی یکتا و

$$q_p=\sum_i^{n_f} e_i^2(q_i+\bar{q}_i), \qquad (۲)$$

می‌باشد. C و D نیز توابع ضریب کوارک‌های سنگین هستند. با محاسبه تابع ساختار سنگین برای کوارک افسون $F_2^{c\bar{c}}$ با استفاده از رابطه بالا و مقایسه نتایج با داده‌های EMC مربوط به این کمیت مشاهده می‌شود که توصیف نظریه از داده‌ها بسیار ضعیف می‌باشد. در نواحی با x و Q^2 کوچک مقدار نظریه بالاتر از داده‌ها می‌باشد و این شرایط برای حالت NLO بدتر از حالت LO است. از طرفی با توجه به اینکه سهم NNLO این داده‌ها نیز محاسبه شده است و مقدار آن مثبت می‌باشد، اگر این سهم نیز به مقدار نظری اضافه شود، نتایج از داده‌های تجربی فاصله بیشتری می‌گیرد. علاوه بر این در x های بزرگ مقدار نظری خیلی پایین‌تر از مقدار تجربی می‌باشد.

ساده‌ترین فرض در مورد عدم توافق نظریه QCD با این داده‌ها در xهای بزرگ و کوچک می‌تواند این باشد که داده‌های EMC دارای خطا می‌باشند و قابل اعتماد نیستند، ولی شرایط مشابهی با این وضعیت در داده‌های مختلفی مشاهده شده است. به‌طور مثال داده‌های سطح مقطع γ+c -jet

که توسط گروه D0 منتشر شده است [۳]. بنابراین به نظر می‌رسد که داده‌های EMC معتبر می‌باشند. در مورد این عدم توافق گروه MSTW به این موضوع اشاره می‌کند که چون در محاسبات تابع ساختار سنگین ما از قید $W^2 = 4m_c^2$ استفاده می‌کنیم، اگر این مقدار را کمی بزرگ‌تر بگیریم می‌توانیم عدم توافق داده‌ها در xهای کوچک را تصحیح کنیم. البته گروه MSTW تنها مقدار این قید را برای محاسبه تابع ساختار سنگین برای داده‌های EMC افزایش داده‌اند و در برازش کلی که بر روی داده‌ها برای استخراج PDFها انجام داده‌اند همانند همه گروه‌های دیگر [۹-٤] این قید را همان مقدار مرسوم گرفته‌اند و از وارد کردن داده‌های EMC در برازش کلی صرف‌نظر کرده‌اند. ما در این مقاله در ابتدا به بررسی همبستگی تابع توزیع افسون $xc(x,Q^2)$ و تابع ساختار سنگین $F_2^{c\bar{c}}$ می‌پردازیم و سپس با استفاده از نتایج به‌دست آمده سعی می‌کنیم عدم توافق داده‌ها با نظریه را توضیح دهیم.

همبستگی

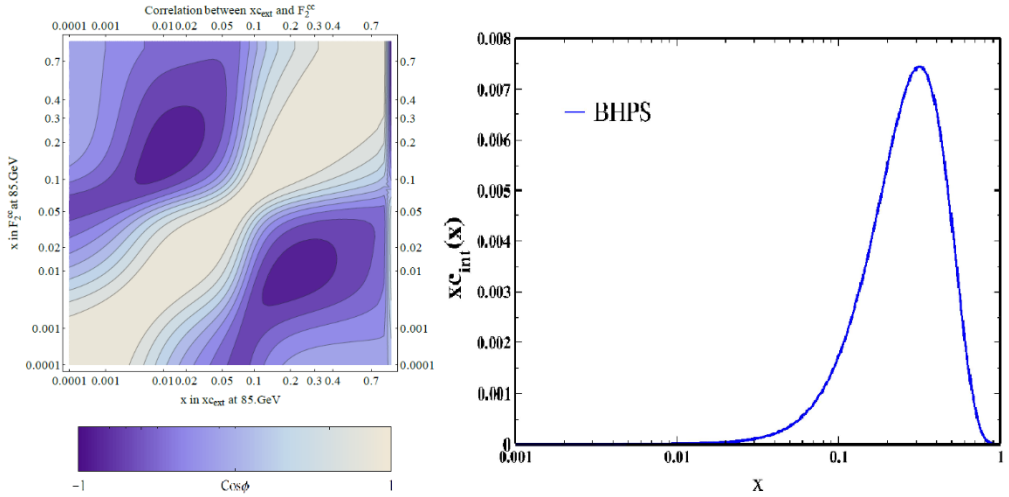
همبستگی می‌تواند بین دو تابع $x(\vec{a})$ و $y(\vec{a})$ که $\vec{a}$ یک بردار در فضای پارامتری توابع توزیع می‌باشد به‌صورت

$$\cos\phi = \frac{\vec{\nabla}X.\vec{\nabla}Y}{\Delta X\,\Delta Y} = \frac{1}{4\Delta X\,\Delta Y}\sum_{i=1}^{N}(X_i^{(+)} - X_i^{(-)})(Y_i^{(+)} - Y_i^{(-)}), \qquad (۳)$$

برحسب $\cos\phi$ محاسبه می‌شود [۱۰] که

$$\Delta X = \left|\vec{\nabla}X\right| = \frac{1}{2}\sqrt{\sum_i^N (X_i^{(+)} - X_i^{(-)})^2}, \qquad (٤)$$

و $X_i^{(+)}$ و $X_i^{(-)}$ مقادیر X محاسبه شده به ازای توابع توزیع پارتونی در جهت iامین ویژه‌بردار می‌باشند. به ازای $\cos\phi = ۱$ دو کمیت همبسته، به ازای $\cos\phi = -۱$ پاد همبسته و به ازای $\cos\phi = ۰$ ناهمبسته می‌باشند. در شکل ۱ همبستگی بین $F_2^{c\bar{c}}$ و xc را نشان داده‌ایم. این شکل نشان می‌دهد که به ازای xهای یکسان این دو کمیت همبسته می‌باشد که با رنگ روشن روی قطر نمودار نشان داده شده است. این همبستگی نشان می‌دهد که افزایش مقدار xc در $x = ۰/۳$ باعث افزایش مقدار $F_2^{c\bar{c}}$ در همان x می‌شود. نکته جالب توجه وجود یک ناحیه پاد همبستگی در شکل است که با رنگ تیره نشان داده شده است که به این موضوع اشاره می‌کند که اگر ما مقدار تابع توزیع xc را در $x = ۰/۳$ افزایش دهیم منجر به کاهش $F_2^{c\bar{c}}$ در $x = ۰/۰۱$ می‌شود. با توجه به این مطلب این طور به نظر می‌رسد که با افزایش مقدار xc در ناحیه $x = ۰/۳$ می‌توان مشکل عدم توافق داده‌های EMC را هم در xهای بزرگ و هم xهای کوچک حل نمود.



شکل ۱: همبستگی تابع ساختار سنگین $F_2^{c\bar{c}}$ با xc در $Q = 85$ GeV و توزیع کوارک ذاتی افسون [۱۱].

یکی از مدل‌هایی که می‌توانیم از آن بهره‌مند شویم تا سهم تابع توزیع xc را افزایش دهیم مدل‌های کوارک ذاتی هستند. یکی از معروف‌ترین مدل-هایی که وجود کوارک افسون ذاتی در پروتون را پیشنهاد می‌کند مدل BHPS می‌باشد که در سال ۱۹۸۰ ارائه شده است [۱۱]. بر اساس این مدل کوارک‌های دریای ذاتی به‌صورت غیراختلالی و از طریق نوسانات حالت نوکلئونی به حالت‌های پنج‌کوارکی $|uudq\bar{q}\rangle$ در فضای فوک مخروط نوری به‌وجود می‌آیند. در این مدل توزیعی مطابق شکل ۱ برای تابع توزیع کوارک افسون ذاتی xc_{int} پیشنهاد می‌شود و همان‌طور که در شکل مشخص است این توزیع در xهای کوچک مقداری معادل صفر دارد و بدیهی است که نتایج ما را در xهای کوچک تغییر نخواهد داد. اما در xهای بزرگ همان‌طور که می‌دانیم توزیع کوارک‌های دریا که به‌صورت اختلالی از شکافتگی گلوئون تولید می‌شوند به صفر میل می‌کند. بنابراین در نظر گرفتن سهم xc_{int} با احتمال یک درصد در پروتون و محاسبه تابع ساختار سنگین کوارک افسون ذاتی $F_{2,\text{int}}^{c\bar{c}}$ [۱۲] و اضافه کردن آن به رابطه (۱) می‌تواند نتایج را بهبود بخشد. با توجه به مطالب گفته شده تابع ساختار کوارک سنگین در پروتون از دو بخش اختلالی (رابطه (۱)) و غیراختلالی به‌صورت زیر محاسبه می-شود

$$F_2^c = F_2^{c\bar{c}} + F_{2,\text{int}}^{c\bar{c}}. \qquad (۵)$$

ما با محاسبه تابع ساختار سنگین افسون با استفاده از رابطه (۵) مشاهده کردیم که در xهای بزرگ نتایج هم‌خوانی قابل قبولی با داده‌های آزمایشگاهی دارد. اما در xهای کوچک مطابق انتظار ما اضافه کردن سهم کوارک ذاتی افسون تأثیری بر روی داده‌ها ندارد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله عدم توافق داده‌های EMC با نظریه QCD مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به‌دست آمده برای همبستگی $F_2^{c\bar{c}}$ و xc می‌توان انتظار داشت که با اضافه کردن سهم کوارک ذاتی افسون توصیف نظری از داده‌های تابع ساختار سنگین را بهبود بخشید. اما به نظر می‌رسد محاسبه سهم کوارک ذاتی به‌طور مستقل و جمع زدن آن با سهم قبلی به تنهایی نمی‌تواند کافی باشد بلکه باید اثر آن به‌طور بنیادی‌تر در محاسبات وارد شود. ما در ادامه این کار به دنبال اضافه کردن اثرات کوارک ذاتی در یک برازش کلی PDFها می‌باشیم.

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

مرجع‌ها

۱. J. J. Aubert *et al.* (European Muon Collaboration), Nucl. Phys. B **213**, 31 (1983).
۲. E. Laenen *et al.*, Nucl. Phys. B **392**, 162 (1993); S. Riemersma *et al.*, Phys. Lett. B **347**, 143 (1995).
۳. V. M. Abazov *et al.*, Phys. Lett. B **719** (2013) 354, arXiv: 1210.5033 [hep-ex].
٤. L. A. Harland-Lang, A. D. Martin, P. Motylinski and R. S. Thorne, arXiv:1412.3989 [hep-ph].
٥. J. Gao *et al.* (CTEQ Collaboration), Phys. Rev. D **89**, 033009 (2014).
٦. S. Alekhin, J. Blümlein and S. Moch, Phys. Rev. D **89**, 054028 (2014).
۷. P. Jimenez-Delgado and E. Reya, Phys. Rev. D **89**, 074049 (2014).
۸. R. D. Ball *et al.*, (NNPDF Collaboration), arXiv:1410.8849 [hep-ph].
۹. H. Khanpour, Ali N. Khorramian, S. Atashbar Tehrani, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **40** (2013) 045002.
۱۰. P. M. Nadolsky *et al.*, Phys. Rev. D **78**, 013004 (2008).
۱۱. S. J. Brodsky, P. Hoyer, C. Peterson and N. Sakai, Phys. Lett. B **93**, 451 (1980).
۱۲. E. Hoffmann and R. Moore, Z. Phys. C **20** (1983) 71.