

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

### نقش مدل‌های افسون ذاتی در پیش‌بینی سطح مقطع تولید $\gamma + c\text{-jet}$ در LHC

سعیده رستمی، علی خرمیان، محمد گوهری پور، علیرضا عالی دانشور

دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان

#### چکیده

در این مقاله، از طریق محاسبه سطح مقطع دیفرانسیلی  $\gamma + c\text{-jet}$  در برخورد  $pp$  با انرژی مرکز جرم  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  به مطالعه نقش کوارک افسون ذاتی در پروتون می‌پردازیم. علاوه بر این، نتایج حاصل از مدل‌های مختلفی که به توصیف کوارک افسون ذاتی می‌پردازند را مقایسه می‌کنیم.

برخورددهنده هادرونی بزرگ (LHC)، محدوده سینماتیکی منحصربه‌فردی را برای بررسی ساختار پروتون و به‌طور خاص مطالعه توابع توزیع پارتونی (PDFs) ایجاد کرده است. توابع توزیع پارتونی برای پیش‌بینی نظری مدل استاندارد و همچنین مدل‌های فرای مدل استاندارد، ضروری هستند. تا کنون نیز مطالعات زیادی در زمینه توابع توزیع پارتونی قطبیده و غیرقطبیده انجام شده است [۱-۳]. تابع توزیع پارتونی  $f_a(x, \mu)$ ، چگالی تعداد پارتون‌های دارای طعم  $a$  است که کسر  $x$  از تکانه هادرون را در مقیاس  $\mu$  حمل می‌کنند. از آنجایی که PDFها کمیت‌هایی غیر اختلالی هستند، تنها می‌توان آن‌ها را با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و انجام یک برازش کلی بر روی این داده‌ها به‌دست آورد. برای این منظور، ابتدا این توابع در یک مقیاس اولیه  $\mu_0$  پارامتری می‌شوند و سپس با استفاده از معادلات تحول DGLAP [۴] به مقیاس دلخواه  $\mu$  تحول می‌یابند.

در بیشتر آنالیزهایی که برای تعیین توابع توزیع پارتونی انجام می‌شوند، معمولاً توزیع کوارک‌های سنگین مانند  $f_c(x, \mu)$  در مقیاس اولیه  $\mu_0$ ، صفر در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین در روش‌های معمول، کوارک‌های سنگین به‌صورت اختلالی و از طریق شکافتگی گلوئون در معادلات DGLAP تولید می‌گردند، زیرا دسته داده‌هایی که در برازش کلی استفاده می‌شوند، در  $x$ های بزرگ به توزیع کوارک‌های سنگین حساس نیستند. با این وجود اگر داده‌های آزمایشگاهی که در  $x$ های بزرگ به توزیع کوارک‌های سنگین حساس هستند را در نظر بگیریم، تعیین تابع توزیع کوارک افسون در مقیاس اولیه  $\mu_0$  مهم خواهد شد.

بیش از سه دهه است که مقالات زیادی به مطالعه کوارک‌های دریای ذاتی علاوه بر کوارک‌های دریای غیرذاتی در تابع موج نوکلئون پرداخته‌اند. امکان وجود این کوارک‌های دریای ذاتی برای اولین بار در سال ۱۹۸۰ توسط مدل BHPS ارائه شد [۵]. تفاوت‌های قابل توجهی بین کوارک‌های دریای غیرذاتی و ذاتی وجود دارد. کوارک‌های دریای غیرذاتی از طریق شکافتگی گلوئون به جفت کوارک-پاد کوارک در معادلات DGLAP به‌وجود می‌آیند و با افزایش  $Q^2$  تولید آن‌ها بیشتر و بیشتر می‌شود. به‌علاوه، کوارک‌های دریای غیرذاتی در  $x$ های کوچک غالب هستند و رفتاری «دریاگونه» دارند. در مقابل، کوارک‌های دریای ذاتی به‌صورت غیراختلالی و از طریق نوسانات حالت نوکلئونی به حالت‌های پنچ‌کوارکی ( $uudq\bar{q}$ ) در فضای فوک مخروط نوری به‌وجود می‌آیند. این کوارک‌ها، رفتاری «ظرفیت‌گونه» دارند و توزیع آن‌ها در  $x$ های نسبتاً بزرگ غالب است. علاوه بر مدل BHPS، مدل‌های نظری دیگری هم وجود دارد که می‌توان با استفاده از آن‌ها توزیع کوارک‌های دریای ذاتی را در چارچوب مخروط نوری مطالعه نمود. این مدل‌ها به‌طور خلاصه در بخش بعدی توضیح داده می‌شوند.

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

### مدل‌های کوارک ذاتی در چارچوب مخروط نوری و توصیف آن‌ها از توزیع افسون ذاتی

فرمول‌بندی مخروط نوری اجازه می‌دهد که پروتون در پیکربندی‌های مختلف فوک وجود داشته باشد. بنابراین تابع موج پروتون علاوه بر حالت  $|uud\rangle$  شامل حالات فوک دیگری مانند  $|uudq\bar{q}\rangle$  نیز خواهد بود. ساده‌ترین مدل پنج‌کوارکی، مدل BHPS است. در این مدل از جرم کوارک  $u, d$  و جرم پروتون در مقابل جرم کوارک افسون صرف نظر شده است.

مدل دیگری که با جزئیات بیشتر سعی کرده است تا پروتون را در چارچوب مخروط نوری توصیف کند، توسط پومپلین ارائه شده است [۶]. در این مدل که به مدل پنج‌کوارکی اسکالر معروف است، توزیع کوارک افسون ذاتی مستقیماً به کمک نمودارهای فاینمن به دست می‌آید.

علاوه بر مدل BHPS و مدل پنج‌کوارکی اسکالر مدل دیگری که سعی می‌کند پروتون را در چارچوب مخروط نوری توصیف کند، مدل ابر مزونی (MCM) یا مدل مزون-باریون (MBM) می‌باشد [۷-۸]. در این مدل، نوکلئون به یک باریون بعلاوه یک مزون مجازی نوسان می‌کند. برای مثال سهم کوارک افسون ذاتی می‌تواند از نوسان  $p(uud) \rightarrow \Lambda_c^+(udc) + \bar{D}^0(u\bar{c})$  به دست آید. با توجه به این که کوارک افسون و پاد افسون، توزیع متفاوتی در باریون و مزون دارند و همچنین توزیع باریون و مزون نیز در پروتون متفاوت است، توزیع کوارک افسون و پاد افسون در این مدل متفاوت خواهد بود.

در این مقاله علاوه بر مدل‌های ذکر شده‌ی بالا، برای مطالعه بیشتر در خصوص نقش افسون ذاتی، با استفاده از مدل BHPS شکل پارامتری شده‌ی مطابق معادله‌ی زیر

$$f_{c,\bar{c}} = 31.26x^{1.74}(1-x)^{8.1}(0.09 + x^{3.4} + x^{6.8}), \quad (1)$$

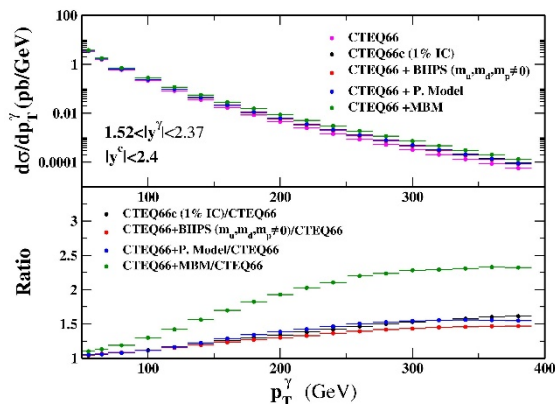
برای توزیع افسون ذاتی بدون صرف نظر کردن از جرم پروتون و جرم کوارک‌های  $u$  و  $d$  در نظر می‌گیریم.

### پیش‌بینی LHC

برای پیش‌بینی تولید  $\gamma + c\text{-jet}$  در LHC نیاز داریم محدوده سینماتیکی را انتخاب کنیم که بیشترین حساسیت به سهم کوارک افسون ذاتی را داشته باشد. در این مقاله سطح مقطع دیفرانسیلی  $\gamma + c\text{-jet}$  در برخورد  $pp$  و انرژی مرکز جرم  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  با در نظر گرفتن تندی (Rapidity) فوتون  $2.37 < |y^\gamma| < 1.52$  و تندی جت  $|\eta^c| < 2.4$  برای توزیع افسون ذاتی با استفاده از مدل‌های مختلف، ارائه شده است. در این محدوده سینماتیکی، کسر تکانه کوارک افسون بزرگ‌تر از ۰/۱ است. به این ترتیب، در این محدوده سهم کوارک افسون ذاتی در مقایسه با کوارک افسون غیرذاتی کاملاً قابل توجه است.

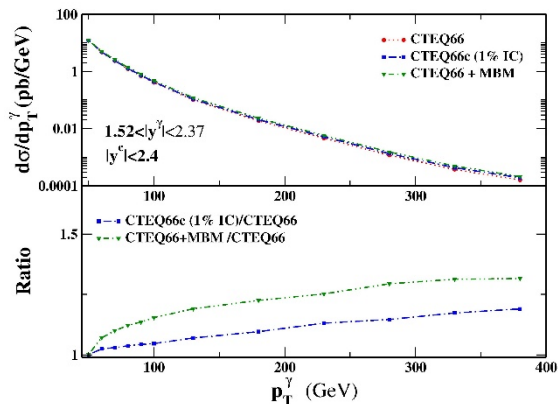
پیش‌بینی سطح مقطع دیفرانسیلی  $d\sigma/dp_T^\gamma$  برحسب  $p_T^\gamma$  برای فرآیند پراکندگی  $pp \rightarrow \gamma + c\text{-jet}$  در تقریب مرتبه اول و دوم در شکل ۱ و ۲ نمایش داده شده است. این محاسبات به کمک بسته‌ی نرم‌افزاری MadGraph انجام شده است [۹]. پایین‌ترین منحنی مربوط به نتایج محاسبه با استفاده از PDFهای CTEQ66 [۱۰] و بدون در نظر گرفتن اثر کوارک افسون ذاتی می‌باشد. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است افزودن سهم کوارک‌های افسون ذاتی (IC) باعث افزایش سهم سطح مقطع در  $p_T^\gamma$ ‌های بزرگ شده است. به‌عنوان مثال در  $p_T^\gamma \approx 380 \text{ GeV}$  با در نظر گرفتن مدل‌های BHPS و پومپلین، سطح مقطع حدود ۱/۵ مرتبه نسبت به حالت بدون IC افزایش پیدا کرده است. این مقدار برای زمانی که مدل MBM را نظر بگیریم ۲/۲۹ خواهد بود.

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



برای تولید  $d\sigma/dp_T^\gamma$  شکل ۲: سطح مقطع دیفرانسیلی  
برحسب  $p_T^\gamma$   $pp \rightarrow \gamma + c\text{-jet}$  مستقیم فوتون در برهم کنش  
(. در قسمت پایین شکل، نسبت NLO در تقریب مرتبه اول )  
سطح مقطعها با در نظر گرفتن مدل‌های مختلف کوآرک  
ذاتی به سطح مقطع بدون سهم کوآرک ذاتی نمایش داده

شکل ۲



برای تولید  $d\sigma/dp_T^\gamma$  شکل ۱: سطح مقطع دیفرانسیلی  
برحسب  $p_T^\gamma$   $pp \rightarrow \gamma + c\text{-jet}$  مستقیم فوتون در برهم کنش  
(. در قسمت پایین شکل، نسبت LO در تقریب مرتبه اول )  
سطح مقطعها با در نظر گرفتن مدل‌های مختلف کوآرک  
ذاتی به سطح مقطع بدون سهم کوآرک ذاتی نمایش داده

شکل ۱

### نتیجه گیری

در این مقاله، احتمال وجود مؤلفه کوآرک افسون ذاتی در پروتون به کمک پراکندگی  $pp \rightarrow \gamma + c\text{-jet}$  مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داده شد که در نظر گرفتن سهم افسون ذاتی می‌تواند مقدار سطح مقطع دیفرانسیلی پراکندگی مذکور را بین ۱/۵ تا ۲/۳ برابر در  $p_T^\gamma$  های بزرگ افزایش دهد.

### مرجع‌ها

۱. H. Khanpour, Ali N. Khorramian, S. Atashbar Tehrani, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **40** (2013) 045002.
۲. M. Soleymaninia, A. N. Khorramian, S. M. Moosavi Nejad, F. Arbabifar, Phys. Rev. **D 89**, 039901 (2014).
۳. F. Arbabifar, Ali N. Khorramian and M. Soleymaninia, Phys. Rev D **89**, 034006 (2014).
۴. V. N. Gribov and L. N. Lipatov, Sov. J. Nucl. Phys. **15**, 438 (1972); G. Altarelli and G. Parisi, Nucl. Phys. B **126**, 298 (1997); Yu. L. Dokshitzer, Sov. Phys. JETP **46**, 641 (1977).
۵. S. J. Brodsky, P. Hoyer, C. Peterson, and N. Sakai, Phys. Lett. B **93**, 451 (1980).
۶. J. Pumplin, H. L. Lai and W. K. Tung. Phys. Rev. D **75** (2007) 054029.
۷. F. M. Steffens, W. Melnitchouk and A.W. Thomas, Eur. Phys. J. C **11**, 673 (1999).
۸. H. Holtmann, A. Szczurek, J. Speth, Nucl. Phys. A **569** (1996) 631.
۹. J. Alwall *et al.*, JHEP **1106** (2011) 128, arXiv:1106.0522 [hep-ph].
۱۰. P. M. Nadolsky *et al.*, Phys. Rev. D **78**, 013004 (2008).