

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

تعیین توابع توزیع پارتونی در تقریب NLO

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

دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان

چکیده

توابع توزیع پارتونی برای پیش‌بینی‌های نظری مدل استاندارد و مدل‌های فرای مدل استاندارد از فرآیندهای فیزیکی که در انواع پراکندگی‌ها رخ می‌دهند، ضروری هستند. در این مقاله، این توابع با انجام یک برازش کلی بر روی تعداد زیادی از داده‌های آزمایشگاهی قابل دسترس مربوط به فرآیند پراکندگی ناکشسان ژرف (DIS) و جدیدترین داده‌های LHC و Tevatron مربوط به برخوردهای هادرونی pp و $p\bar{p}$ در تقریب NLO تعیین شده‌اند.

مقدمه

تعیین دقیق توابع توزیع پارتونی (PDFs) به همراه ثابت جفت‌شدگی قوی که به شدت با آن‌ها همبسته است، به منظور آزمودن پیش‌بینی‌های نظری مدل استاندارد و مدل‌های فرای مدل استاندارد مربوط به برهم‌کنش‌های قوی، الکترومغناطیسی و ضعیف از قبیل تولید بوزون‌های پیمانه‌ای ضعیف، تولید کوارک‌های سنگین، تولید جت‌های هادرونی و به‌ویژه تولید بوزون هیگز در برخوردهای هادرونی از اهمیت بسیاری برخوردار است. بنابراین مطالعه و تحقیق در مورد این کمیت‌ها و رهیافت‌های ممکن برای استخراج آن‌ها و نیز بررسی عوامل مختلف نظری و آزمایشگاهی که می‌توانند به تعیین هرچه دقیق‌تر آن‌ها کمک کنند، امری الزامی و اجتناب‌ناپذیر است. از اواخر دهه نود قرن بیستم تا کنون گروه‌های مختلفی در زمینه تعیین توابع توزیع پارتونی (قطبیده و غیرقطبیده) با استفاده از انجام برازش بر روی داده‌های آزمایشگاهی فعالیت داشته‌اند [۸-۱].

آنالیز کلی PDFها

توابع توزیع پارتونی با انجام یک آنالیز کلی روی همه اطلاعات آزمایشگاهی موجود به دست می‌آیند. در نظر گرفتن همه داده‌های آزمایشگاهی مرتبط، تاجایی که امکان دارد، بسیار مهم است. یک آنالیز کلی بر روی PDFها به این صورت انجام می‌شود: قبل از هر چیز، باید توابع ورودی مناسب $f_i(x, Q_0^2)$ را برای بستگی x پارتون‌های مختلف در مقیاس اولیه Q_0^2 برحسب یک سری پارامتر مجهول پارامتری کرد که Q_0^2 باید به گونه‌ای انتخاب شود که معادلات تحول DGLAP [۹]، به صورت اختلالی قابل استفاده باشند. پارامترهای مجهول در طی فرآیند برازش داده‌های آزمایشگاهی بهینه می‌شوند. نکته بسیار مهم این است که شکل تابعی توزیع‌های ورودی انعطاف‌پذیری کافی برای انطباق با داده‌ها را داشته باشد. سپس برای هر داده، PDFها با استفاده از معادلات DGLAP به مقیاس Q مناسب تحول یافته و مقدار نظری متناظر نیز در مدل پارتون محاسبه می‌شود. پس از این، مقدار نظری و آزمایشگاهی برای هر داده با تعریف تابعی به نام χ^2 مقایسه می‌شوند. پارامترهای برازش تغییر می‌کنند و مراحل تکرار می‌شود تا یک مینیمم کلی برای χ^2 پیدا شود. در نهایت پارامترهای بهینه‌شده بهترین برازش PDFها را تعیین می‌کنند. ما در این آنالیز، شکل پارامتری زیر را برای توزیع‌های کوارک ظرفیت (xu_v) و (xd_v) ، گلوئون (xg) ، کوارک دریای بالا $(x\bar{u})$ و مجموع کوارک‌های دریای پایین و شگفت $(x\bar{D} = x\bar{d} + x\bar{s})$ در $Q_0^2 = 1.9 \text{ GeV}^2$ انتخاب می‌کنیم

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

$$xf(x) = Ax^B(1-x)^C(1+Dx + E\sqrt{x}), \quad (1)$$

طوری که ضرایب A_{u_v} , A_g و A_d با استفاده از قواعد جمع تعداد و تکانه ثابت می‌شوند و برای توزیع کوارک‌های ظرفیت و دریا نیز به ترتیب داریم $B_{\bar{u}} = B_{\bar{d}}$ و $B_{u_v} = B_{d_v}$. همچنین برای توزیع کوارک شگفت فرض می‌کنیم $x\bar{s} = f_s x\bar{D}$ طوری که $f_s = 0.31$ ثابت در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این‌ها، برای اینکه مطمئن باشیم در x ‌های کوچک توزیع‌های $x\bar{d}$ و $x\bar{u}$ دارای رفتار یکسانی هستند، قید $A_{\bar{u}} = A_{\bar{d}}(1-f_s)$ را نیز در نظر می‌گیریم. لازم به ذکر است در محاسبات ما، مقدار ثابت جفت‌شدگی قوی در مقیاس جرم بوزون Z به صورت $\alpha_s(M_Z^2) = 0.1176$ در نظر گرفته شده است.

داده‌های آزمایشگاهی

امروزه PDFها با وارد کردن داده‌های جدید به دست آمده از برخوردهای هادرونی pp و $p\bar{p}$ در LHC و Tevatron در فرآیند برازش پیوسته در حال دقیق‌تر شدن هستند. ما در آنالیز خود از گستره وسیعی از داده‌های آزمایشگاهی مربوط به پراکندگی ناکشسان ژرف (DIS) و برخوردهای هادرونی استفاده کرده‌ایم که شامل داده‌های تابع ساختار پروتون F_2^p و دوترون F_2^d از گروه‌های NMC, BCDMS, E665, SLAC، تابع ساختار عرضی F_L از گروه‌های H1 و ZEUS، سطح مقطع کاهیده پروتون σ_r^p و کوارک سنگین افسون σ_r^c از HERA، تولید فراگیر جت از گروه‌های H1 و ZEUS و نیز داده‌های سطح مقطع تولید بوزن Z و W و سطح مقطع فراگیر جت از گروه‌های D0, ATLAS, CDF, CMS، سطح مقطع تولید $t\bar{t}$ از CDF, ATLAS, CMS می‌باشد. در کل تعداد ۲۷۳۰ داده آزمایشگاهی در این آنالیز در نظر گرفته شده‌اند.

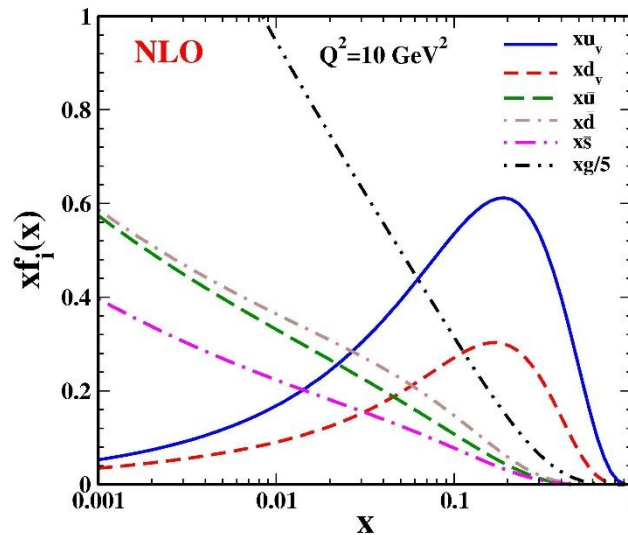
نتایج

برای تعیین توابع توزیع پارتونی باید ابزارهای لازم به منظور انجام محاسبات نظری و نیز انجام برازش مهیا باشد. ما برای انجام این آنالیز، از برنامه QCDNUM [۱۰] که دقیقاً برای استخراج PDFها با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی طراحی شده است، استفاده کرده‌ایم. مقدار پارامترهای بهینه به دست آمده از برازش در جدول ۱ آورده شده است. در نتایج اولیه ما، مقدار χ^2 کل تقسیم بر تعداد درجات آزادی $1/36$ به دست آمده است. جدول ۱: مقادیر عددی پارامترهای بهینه پس از انجام برازش به همراه مقدار خطای آن‌ها.

توزیع پارتونی	A	B	C	D	E
xu_v	Fixed	0.435 ± 0.022	± 0.025 $3/4.7$	$6/9 \pm 1/0$	$3/0 \pm 0/8$
xd_v	Fixed	Fixed	$5/0.68 \pm 0/0.89$	$16/4 \pm 1/9$	$-2/0.5 \pm 0/0.73$
xg	Fixed	$0.424 \pm 0/0.089$	$4/13 \pm 0/21$	$-1/0 \pm 0/15$	$0/37 \pm 0/0.25$
$x\bar{u}$	Fixed	Fixed	$3/39 \pm 0/3$	$-3/48 \pm 0/59$	$0/85 \pm 0/26$
$x\bar{D}$	$0/1599 \pm 0/0.66$	$-0/1629 \pm 0/0.44$	$8/75 \pm 0/5$	$8/1 \pm 2/4$	$1/72 \pm 0/53$

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

اکنون با به دست آمدن مقادیر بهینه پارامترهای مجهول پس از انجام برازش داده‌های آزمایشگاهی، می‌توانیم توابع توزیع پارتونی را در x و Q^2 دلخواه داشته باشیم. شکل ۱ توزیع‌های کوآرک ظرفیت بالا و پایین (xu_v و xd_v)، گلوئون (xg)، کوآرک دریای بالا، پایین و شگفت ($x\bar{u}$ و $x\bar{d}$ و $x\bar{s}$) را در $Q^2 = 10 \text{ GeV}^2$ نشان می‌دهد.



شکل ۱: توابع توزیع پارتونی (PDFs) بر حسب x و در $Q^2 = 10 \text{ GeV}^2$.

نتیجه‌گیری

یکی از اساسی‌ترین کمیت‌ها در فرآیند محاسبه نظری مشاهده‌پذیرهای فیزیکی، توابع توزیع پارتونی هستند که کمیاتی غیر اختلالی‌اند و باید با اطلاعات آزمایشگاهی تعیین شوند؛ با این وجود وقتی که PDFها از یک سری از اندازه‌گیری‌ها تعیین می‌شوند، می‌توان از آنها برای به دست آوردن سایر مجهولات در فرآیندهای دیگر استفاده کرد. در این زمینه بسته‌های نرم افزاری متفاوتی به منظور انجام برازش و استخراج توابع توزیع پارتونی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مختلف طراحی شده‌اند به طوری که ابزارهای لازم برای انجام محاسبات نظری متناظر با این داده‌ها فراهم می‌باشد. در این مقاله، ما نیز با انجام یک برازش کلی بر روی گستره وسیعی از داده‌های آزمایشگاهی قابل دسترس مربوط به فرآیند پراکندگی ناکشسان ژرف و جدیدترین داده‌های LHC و Tevatron مربوط به برخوردهای هادرونی pp و $p\bar{p}$ ، PDFها را در تقریب NLO به دست آوردیم.

مرجع‌ها

۱. L. A. Harland-Lang, A. D. Martin, P. Motylinski and R. S. Thorne, arXiv:1412.3989 [hep-ph].
۲. J. Gao *et al.* (CTEQ Collaboration), Phys. Rev. D **89**, 033009 (2014).
۳. S. Alekhin, J. Blümlein and S. Moch, Phys. Rev. D **89**, 054028 (2014).
۴. P. Jimenez-Delgado and E. Reya, Phys. Rev. D **89**, 074049 (2014).
۵. R. D. Ball *et al.* (NNPDF Collaboration), arXiv:1410.8849 [hep-ph].
۶. H. Khanpour, Ali N. Khorramian, S. Atashbar Tehrani, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **40** (2013).
۷. F. Arbabifar, Ali N. Khorramian and M. Soleymaninia, Phys. Rev D **89**, 034006 (2014).

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

- M. Soleymaninia, A. N. Khorramian, S. M. Moosavi Nejad, F. Arbabifar, Phys. Rev. **D 89**, 039901 (2014). ۸
- 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). ۹
- M. Botje, Comput. Phys. Commun. **182**, 490 (2011), arXiv:1005.1481 [hep-ph]. ۱۰