

کاربرد داده‌های اخیر فراوانی از فرآیند پراکندگی ناکشسان ژرف نیمه‌فراگیر

مریم سلیمانی نیا^۱، علی خرمیان^۲، محمد موسوی نژاد^۳

^۱ پژوهشکده فیزیک ذرات و شتابگرها، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی (IPM)

^۲ دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان

^۳ دانشکده فیزیک دانشگاه یزد، یزد

چکیده

هدف ما در این مقاله استفاده از داده‌های فراوانی در تحلیل کوانتوم کرومودینامیک توابع ترکش می‌باشد. داده‌های فراوانی در سال ۲۰۱۳ از فرآیند پراکندگی ناکشسان ژرف نیمه‌فراگیر برای مزون‌های باردار پایون و کاپون توسط گروه HERMES گزارش شدند. این داده‌ها بدلیل دقت زیاد و تشخیص نوع بار هادرون تولید شده در محاسبه ترکش پارتون‌ها به هادرون حالت نهایی بسیار مناسب می‌باشند. همچنین این داده‌ها تابعی از چهار کمیت سینماتیکی z ، Q^2 ، x_B و $P_{h\perp}$ می‌باشند.

وابستگی توابع ترکش به طعم پارتون‌ها ابزار قدرتمندی را برای کاوش ساختار طعم نوکلئون فراهم می‌کند که در فرآیندهای پراکندگی سخت قابل بررسی هستند. نتایج اخیر گروه HERMES در HERA که در مقاله [۱] به چاپ رسیده است، فرآیند پراکندگی ناکشسان ژرف نیمه‌فراگیر^۱ را شامل می‌شود که با برخورد الکترون و پوزیترون با انرژی $27/6 \text{ GeV}$ به هدف گاز هیدروژن و دوتریوم روی می‌دهد. داده‌های آزمایشگاهی این گروه شامل فراوانی‌های دقیقی از مزون‌های π^+ ، π^- ، K^+ و K^- برای دو هدف پروتون و دوترون می‌باشند که برای استخراج توابع ترکش در مقیاس‌های انرژی پایین بسیار مناسب هستند. مطالعه‌ی فرآیندهای هادرونی در بررسی برهم‌کنش کوارک‌ها در کوانتوم کرومودینامیک^۲ و مطالعه‌ی برهم‌کنش‌های کوارک-کوارک، کوارک-گلوئون و گلوئون-گلوئون بسیار مناسب است. بطوریکه توابع ترکش D_f^h چگالی هادرون تولید شده‌ی h را نشان می‌دهد که از ترکش کوارک-پادکوارک با طعم f تولید شده است.

فراوانی‌ها^۳

فراوانی M_n^h که به هادرون نوع h تولید شده از نوکلئون هدف n مربوط می‌شود، از دید آزمایشگاهی به صورت نسبت تعداد هادرون‌های تولید شده در فرآیند پراکندگی ناکشسان ژرف نیمه‌فراگیر (SIDIS) به محصول تولید شده در فرآیند پراکندگی ناکشسان ژرف (DIS) تعریف می‌شود

$$M_n^h(x, Q^2, z)_{\text{exp}} = \frac{d^3 N^h(x, Q^2, z) / dx dQ^2 dz}{d^2 N^{\text{DIS}}(x, Q^2, z) / dx dQ^2}. \quad (1)$$

با توجه به تصحیحات QCD انجام شده در مدل پارتونی، فراوانی در مرتبه LO^4 به صورت زیر تعریف می‌شود

$$M_n^h(z, Q^2)_{\text{th}} = \frac{\sum_f e_f^2 \int_0^1 q_f(x, Q^2) dx D_f^h(z, Q^2)}{\sum_f e_f^2 \int_0^1 q_f(x, Q^2) dx}, \quad (2)$$

^۱ Semi-Inclusive Deep Inelastic Scattering (SIDIS)

^۲ Quantum Chromo Dynamics (QCD)

^۳ Multiplicities

^۴ Leading Order

بطوریکه بر روی همه‌ی طعم‌های کوارک‌ها و پادکوارک‌ها جمع زده شده است. e_f بار هر کوارک با طعم f است.

$q_f(x, Q^2)$ توابع توزیع غیرقطبیده و $D_f^h(z, Q^2)$ توابع ترکش می‌باشند.

محاسبه‌ی فراوانی‌ها در مرتبه‌ی LO با استفاده از توابع ترکش گروه‌های مختلف [۵-۲] و همچنین توابع توزیع غیراختلالی [۶]، شروع مناسبی برای مقایسه نتایج گروه‌های تئوری مختلف می‌باشد بطوریکه در شکل ۹ و ۱۰ مقاله [۱] این مقایسه صورت گرفته است. توابع فراوانی در مرتبه‌ی NLO به صورت تابعی از توابع ساختار در حالت SIDIS و DIS نوشته می‌شوند

$$M_n^h(x, Q^2, z)_{th} = \frac{(1+(1-y)^2)2xF_1^h(x, Q^2, z) + 2(1-y)xF_L^h(x, Q^2, z)}{(1+(1-y)^2)2xF_1(x, Q^2, z) + 2(1-y)F_L(x, Q^2, z)}, \quad (3)$$

بطوریکه F_L^h و F_1^h توابع ساختار SIDIS و F_L و F_1 توابع ساختار DIS هستند. همچنین $y = Q^2 / 2MxE$

تحلیل QCD

به‌منظور محاسبه توابع ترکش هادرون‌های مختلف از جمله مزون‌ها و باریون‌ها از داده‌های آزمایشگاهی مربوط به فرآیندهای مختلف هادرونی می‌توان استفاده کرد [۱۰-۷]. در این مقاله از داده‌های آزمایشگاهی فراوانی‌ها همراه با داده‌های فرآیند نابودی الکترون-پوزیترون و داده‌های فرآیند پراکندگی ناکشسان ژرف در حالت قطبیده برای محاسبه‌ی توابع ترکش در مقیاس اولیه استفاده شده است. تابع ترکش تعریف شده در مدل ما به صورت زیر است

$$D_f^h(z; Q_0^2) = N_f^h z^\alpha (1-z)^\beta (1-e^{-\gamma}). \quad (4)$$

با توجه توضیحات ارائه شده در مقاله [۲]، داده‌های فراوانی HERMES به داده‌های قبل اضافه شده‌اند. اضافه کردن این داده‌ها منجر به بالا بردن دقت محاسبات و مقید کردن بیشتر ضرایب مجهول می‌شود. ۲۰ پارامتر مجهول برای مزون پایون که در این فرم تابعی برای طعم‌های مختلف تعریف شده‌اند، با انجام برازش با داده‌های تجربی قابل محاسبه می‌باشند. نتایج مربوط به این برازش در جدول شماره ۱ گزارش شده‌اند.

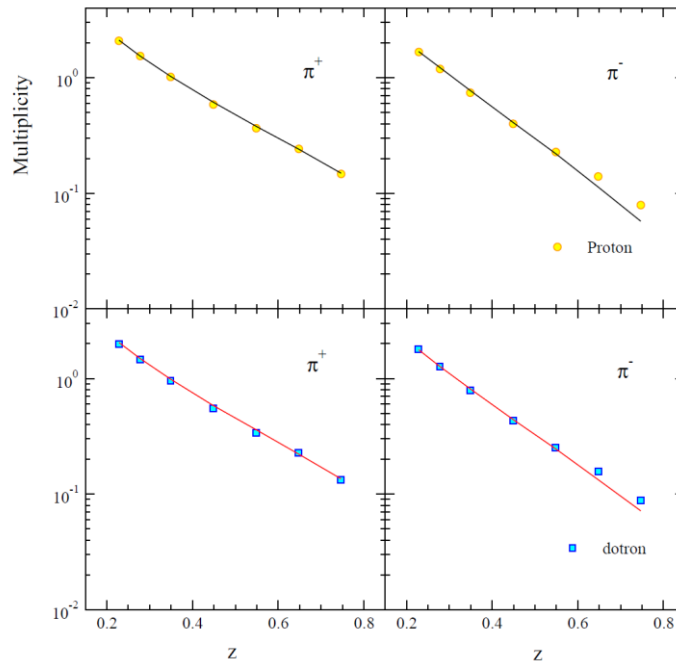
جدول ۱: پارامترهای توابع ترکش پایون در مرتبه LO

| تابع ترکش | N | α | β | γ |
|-----------|--------|----------|---------|----------|
| u | ۰/۶۶۲ | -۲/۰۶ | ۰/۶۱۵ | ۰/۸۴۵ |
| \bar{u} | ۱/۴۷۲ | -۱/۳۸۲ | ۲/۸۴۲ | ۱/۲۳ |
| c | ۲/۳۲ | -۱/۱۱۳ | ۵/۰۸ | ۳/۶۱۳ |
| b | ۱/۲۵۷ | -۱/۸۳۸ | ۶/۷۰۴ | ۲/۱۱۷ |
| g | ۶۱/۰۱۱ | ۰/۹۲۵ | ۳/۸۳ | ۲/۴۱۳ |

تحلیل QCD برای محاسبه‌ی توابع ترکش و توابع توزیع پارتونی در حالت قطبیده و غیرقطبیده مشابه هم صورت می‌گیرد و تحول توابع اولیه بوسیله معادلات DGLAP صورت می‌پذیرد [۱۳-۱۱].

نتیجه گیری

با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی اخیر و بسیار دقیق گروه HERMES که مقدار فراوانی را در مقیاس انرژی پایین گزارش داده است، محاسبات توابع ترکش پایون را برای طعم‌های مختلف بهبود بخشیدیم. شکل ۱ مقایسه نتایج بدست آمده از برازش مدل ما با داده‌های آزمایشگاهی در مرتبه‌ی LO است که حاکی از رفتار خوب و مناسب این مدل تئوری می‌باشد. مقایسه‌ی نتایج ما با مدل‌های دیگر که در شکل ۹ و ۱۰ مقاله [۱] گزارش شده است گویای این واقعیت است که تطابق مدل ما نسبت به سایر مدل‌های تئوری با داده‌های آزمایشگاهی بسیار مناسب‌تر می‌باشد. همچنین ما در تحلیل خود از توابع توزیع غیرقطبیده‌ی CTEQ6L [۶] استفاده کرده‌ایم.



شکل ۲: مقایسه‌ی فراوانی‌های اندازه‌گیری شده برای پروتون و دوترون هدف برای مزون پایون با استفاده از این مدل با داده‌های آزمایشگاهی گروه HERMES

مرجع‌ها

- [۱] A. Airapetian, [HERMES Collaboration], *Phys. Rev. D* **87**, 074029 (2013) [arXiv:1212.5407 [hep-ex]].
- [۲] M. Soleymaninia, A. N. Khorramian, S. M. Moosavi Nejad and F. Arbabifar, *Phys. Rev. D* **88**, 054019 (2013), arXiv:1306.1612 [hep-ph].
- [۳] S. Albino, B. A. Kniehl and G. Kramer, *Nucl. Phys. B* **803**, 42 (2008) [arXiv:0803.2768 [hep-ph]].
- [۴] D. de Florian, R. Sassot and M. Stratmann, *Phys. Rev. D* **75**, 114010 (2007) [hep-ph/0703242].
- [۵] M. Hirai, S. Kumano, T. -H. Nagai and K. Sudoh, *Phys. Rev. D* **75**, 094009.
- [۶] J. Pumplin et al., *JHEP* **0207**, 012 (2002).
- [۷] M. Soleymaninia, A. Khorramian and M. Moosavi Nejad, F. Arbabifar, *Physics of Particles and Nuclei* **45**, 46–48 (2014).
- [۸] M. Soleymaninia, A. Khorramian and M. Moosavi Nejad, F. Arbabifar, will be appeared in *Acta Physica Polonica B* (2014).
- [۹] M. Soleymaninia, Ali N. Khorramian, and M. Moosavi Nejad, *J. Phys. Conf. Ser.* **347**, 012017 (2012).
- [۱۰] M. Soleymaninia, A. Khorramian, and M. Moosavi Nejad, *AIP Conf. Proc.* **1492**, 67-70 (2012).
- [۱۱] F. Arbabifar, A. N. Khorramian, M. Soleymaninia, *Phys. Rev. D* **89**, 034006, arXiv: 1311.1830 [hep-ph].
- [۱۲] F. Arbabifar, A. N. Khorramian, M. Soleymaninia, *DSPIN2013 Conf. Proc.* (2014).
- [۱۳] F. Arbabifar, A. N. Khorramian, M. Soleymaninia, will be appeared in *Acta Physica Polonica B* (2014).