پارامتر شکل رویداد تراست دربرهمکنش‌های پروتون-پادپروتون

صالح مقدم، ریحانه[۱] ؛ زمردیان، محمد ابراهیم[۱]

[۱] دانشکده فیزیک دانشگاه فردوسی مشهد، میدان آزادی، ۱۴۳۶-۹۱۷۷۵ ، مشهد

چکیده

در این مقاله با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده‌ی مونت کارلو به بررسی برهمکنش‌های پروتون-پادپروتون می‌پردازیم. برای این منظور از متغیر تراست، به عنوان یکی از متغیرهای شکل رویداد استفاده می‌کنیم. با مقایسه‌ی توزیع فراوانی این متغیر در انرژی‌های مختلف نتیجه می‌گیریم که سطح مقطع1-T با افزایش انرژی کاهش می‌یابد. این نشان دهنده‌ی آن است که با افزایش انرژی، احتمال گسیل گلوئون و ایجاد رویدادهای سه‌جتی بیشتر می‌شود. با اندازه‌گیری مقدار میانگین متغیر تراست در انرژی‌های مختلف مشاهده می‌کنیم که نتایج به‌دست آمده با مقادیر حاصل از آزمایش‌های دیگر همخوانی دارند.

The Thrust event shape variable in $p\bar{p}$ collisions

Saleh Moghaddam, Reihaneh[1]; Zomorrodian, Mohammad Ebrahim[1]

[1]Department of Physics, FerdowsiUniversity of Mashhad, 91775-1436,Mashhad, Iran

Abstract

We study proton- antiproton interaction in this article. We are using the thrust as an event shape variables. First we compare the thrust distribution in different centre of mass energies. We observe that 1-T distribution decreases by increasing energy.This is probably due to the fact that there is a possibility of a gluon emission by increasing energy. Then we present the mean values of 1-T as a function of energy. By comparing our results with those of e^+e^-annihilation and other experiment, we conclude that our results are consistent within the statistical errors with the results obtained from other experiments.

PACS No.12.38.-t; 13.30.Eg

مقدمه

فرآیند تولید هادرون‌ها در یک برهمکنش سخت را می‌توان توسط متغیرهایی بررسی نمود که توزیع ذرات خروجی در رویداد را مشخص می‌کنند. مطالعه و اندازه‌گیری بر روی این متغیرهای شکل رویداد در برهمکنش نابودی الکترون- پوزیترون و آزمایش‌های پراکندگی غیرکشسان، ما را مجاز می‌کند که برآوردی از مقدار ثابت پیوندی قوی در دینامیک کوانتومی رنگ و همچنین درتصحیحات ناحیه‌ی غیراختلالی ارائه دهیم [۱].

پروتون دارای ساختار داخلی است (شامل دو کوارک up و یک کوارک down). بنابراین، برهمکنش $p\bar{p}$ نسبت به نابودی e^+e^- از پیچیدگی بیشتری برخوردار است. زیرا بر خلاف برهمکنش‌های هادرونی، واکنش‌های نابودی الکترون- پوزیترون نقطه‌ای و بدون ساختار هستند. از اینرو در فرآیند برخورد اولیّه، هیچگونه پسماندی برجای نمی‌ماند. بنابراین مقایسه‌ی دو نوع برهمکنش می‌تواند ما را به درک بیشتری از ویژگی‌های دو نوع برهمکنش رهنمون سازد. در ادامه به توضیح متغیر شکل رویداد تراست می‌پردازیم.

متغیر تراست

این متغیر حالت فیزیکی ذرّات تولید شده در برهمکنش‌ها را توصیف می‌کند. ابتدا محور جت موسوم به محور تراست را به‌دست می‌آوریم. جت عبارت است از مجموعه‌ای از هادرون‌ها که در یک زاویه‌ی فضائی کوچک جهت‌گیری می‌کنند. در برهمکنش-

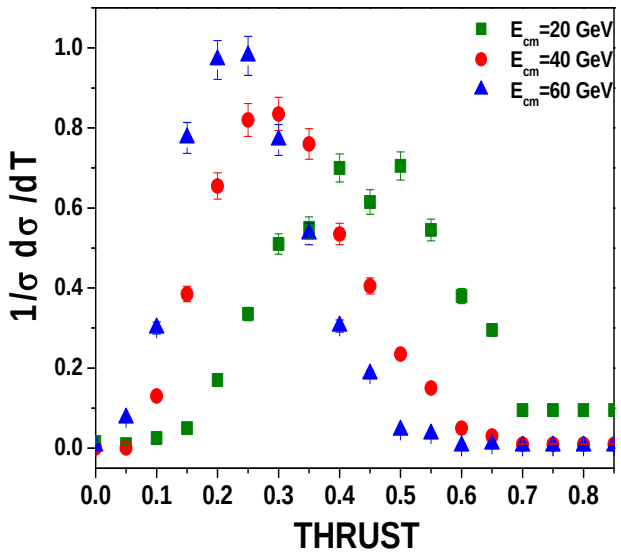
های هادرونی یک تعریف ممکن برای متغیر تراست عبارت است از [۲]:

$$T_{\perp} = max\left(\frac{\Sigma_i|\vec{p}_{\perp i}\cdot\vec{n}_T|}{\Sigma_i|\vec{p}_{\perp i}|}\right) \quad (۱)$$

$\vec{p}_{\perp i}$، تکانه‌ی عرضی وابسته به یک ذره و بردار یکه $\vec{n}_T$ در جهتی است که در آن جهت، مقدار تراست بیشینه است. هرگاه جهت‌گیری ذرات در یک راستا باشد، آن رویداد را دوجتی می‌نامند. تراست در این‌گونه رویدادها به یک نزدیک خواهد بود. از طرف دیگر با افزایش تعداد جت‌ها، مقدار آن به طور میانگین به ۰/۵ میل خواهد کرد [۳-٤].

نتایج فیزیکی

شکل ۱ توزیع فراوانی تراست را در سه انرژی مرکز جرم متفاوت نشان می‌دهد. هرگاه توزیع‌ها را با یکدیگر مقایسه کنیم، مشاهده می‌کنیم که با افزایش انرژی، سطح مقطع T کاهش می‌یابد و بیشینه‌ی نمودار به سمت مقادیر پایین تراست میل می‌کند. این نشان‌دهنده‌ی آن است که با افزایش انرژی، امکان تابش گلوئون بیشتر و پهن شدگی رویداد افزایش می‌یابد. پدیده‌ی فوق می‌تواند به عنوان واپاشی یک کوارک سنگین نیز تعبیر شود که پهن شدگی شکل رویداد را در پی دارد.



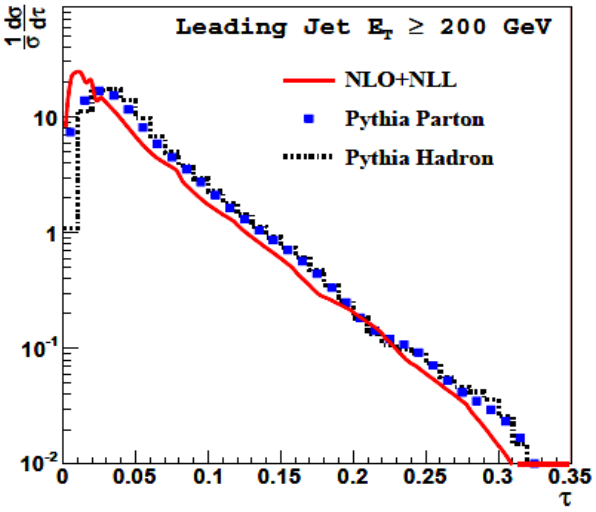
شکل ۱: توزیع فراوانی متغیر شکل رویداد تراست در انرژی‌های مختلف

برای هماهنگی با بقیه‌ی متغیرهای شکل رویداد [۵] معمول است که بجای T از متغیر $\tau = 1 - T$ استفاده می‌کنند.

به منظور تصحیحات با دقت بالاتر در مدل NLL[۱] این مدل را بر حسب جملات لگاریتمی تا مرتبه‌های بالاتر بسط می‌دهیم. این کار را با پیش بینی نظری در سطح پارتونی تا مرتبه‌ی NLO[۲] نیز می‌توان انجام داد [۱].

در شکل ۲، توزیع متغیر $\tau = 1 - T$ را با استفاده از داده‌های PYTHIA با پیش‌بینی‌های نظری NLO+NLL مقایسه می‌کنیم. مشاهده می‌شود که نتایج به‌دست آمده از داده‌های شبیه‌سازی شده PYTHIA اندکی بالاتر از نتایج حاصل از نظریه QCD است. این بدان دلیل است که داده‌های PYTHIA مرتبه‌های بالاتر QCD را نیز شامل می‌شوند.

هرگاه محاسبات نظری را تا مرتبه‌ی NNLO انجام دهیم انتظار می‌رود که نتایج به‌دست آمده با توزیع مونت کارلو همخوانی بیشتری را از خود نشان دهند [۵-٦].

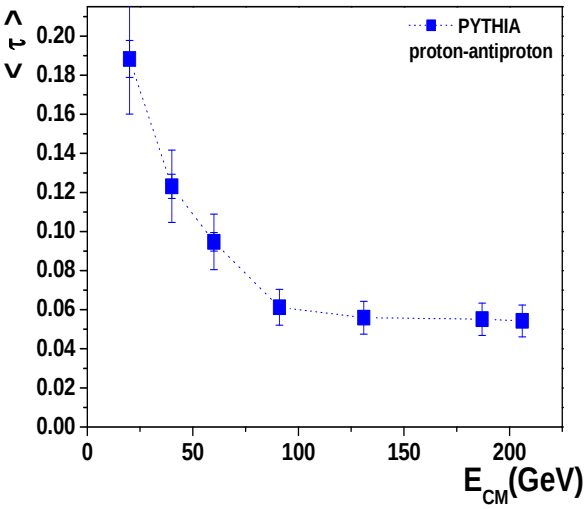


شکل۲: مقایسه‌ی توزیع فراوانی متغیر شکل رویداد τ با تئوری NLO+NLL

شکل ۳، مقدار میانگین متغیر $\tau = 1 - T$ را نسبت به انرژی مرکز جرم برای داده‌های پروتون- پادپروتون نشان می‌دهد. مشاهده می‌کنیم که توزیع $\langle 1 - T \rangle$ با افزایش انرژی دارای روندی

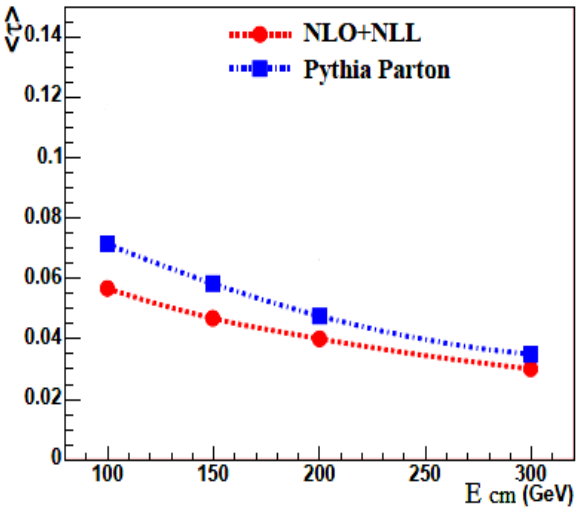
[۱] Next to Leading Logarithmic
[۲] Next to Leading Order

نزولی است. همانطور که از شکل پیداست، این کاهش هرگز به صفر نمی‌رسد. دلیل آن وجود یک مقدار متناهی تکانه‌ی عرضی می‌باشد که به تولید یک یا چند جت گلوئون می‌انجامد.



شکل۳: توزیع مقدار میانگین τ در انرژی‌های مرکز جرم مختلف

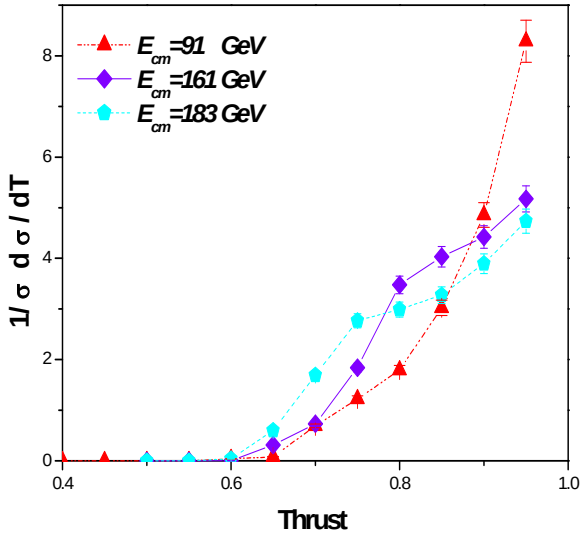
برای توضیح بیشتر، شکل ٤ مقدار میانگین $\langle\tau\rangle$ را برای داده‌های PYTHIA به همراه پیش‌بینی NLO+NLL در انرژی‌های مختلف نشان می‌دهد[۱].



شکل٤: مقایسه مقدارمیانگین τ در انرژی‌های مختلف با تئوری NLO+NLL

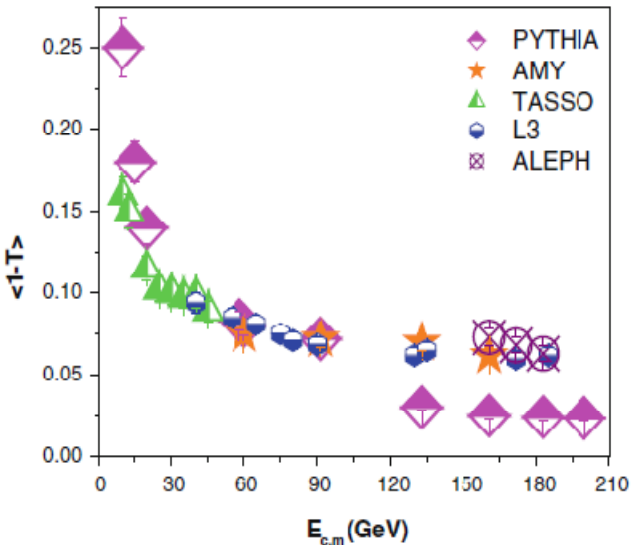
مشاهده می‌کنیم که با افزایش انرژی مرکز جرم، میانگین این متغیر برای داده‌ها و همچنین برای نظریه‌ی NLO+NLL یک روند کاهشی نسبتاً یکسانی را از خود نشان می‌دهد. مجددا اختلاف اندکی که بین آن‌ها مشاهده می‌شود ناشی از این واقعیت است که داده‌های مونت کارلو، مرتبه‌های بالاترQCD را نیز شامل می‌شوند. انتظار می‌رود که با در نظر گرفتن تصحیحات بالاتر NLO+NLL، دو نتیجه‌ی به دست آمده سازگاری بهتری را با یکدیگر از خود نشان دهند.

در ادامه، تحلیل مشابهی را برای داده‌های الکترون- پوزیترون حاصل از برنامه‌ی شبیه‌سازی شده PYTHIA ارائه می‌دهیم. شکل ٥ توزیع سطح مقطع دیفرانسیلی متغیر تراست را برای این داده‌ها در انرژی‌های مرکز جرم متفاوت نشان می‌دهد [۳]. همان‌گونه که مشاهده می‌کنیم مشابه شکل ۱، با افزایش انرژی، بیشینهT به سمت تراست‌های پایین‌تر میل می‌کند. بار دیگر پدیده‌ی فوق می‌تواند ناشی از تابش گلوئون و یا ناشی از تولید یک کوارک سنگین در انرژی‌های بالاتر باشد که این به نوبه‌ی خود باعث پهن شدگی بیشتر شکل رویداد می‌شود.



شکل٥ : توزیع سطح مقطع تراست با استفاده ازداده‌های الکترون- پوزیترون

شکل ٦ مقدار میانگین 1-T را برای داده‌های الکترون- پوزیترون در انرژی‌های مختلف که از آزمایش‌های گوناگون به دست آمده است، نشان می‌دهد. بین این شکل و توزیع نمودارها در شکل ۳ مربوط به داده‌های پروتون- پادپروتون سازگاری خوبی مشاهده می‌شود.



شکل٦ : توزیع $\langle 1-T \rangle$ برای داده‌های الکترون- پوزیترون

تشابهاتی که بین دو نوع برهمکنش وجود دارد احتمالا ناشی از آن است که بر خلاف ساختار داخلی متفاوت آن‌ها، روش هادرونی شدن و تولید جت‌های کوارک و گلوئون از یک قاعده‌ی مشابه پیروی می‌کنند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی فرآیند برهمکنش پروتون- پادپروتون با استفاده ازداده‌های شبیه‌سازی شده‌ی PYTHIA می‌پردازیم. برای انجام این امر از متغیر شکل رویداد تراست استفاده می‌کنیم. با استفاده از این متغیر نمودار فراوانی $\tau = 1 - T$ را در انرژی‌های مرکز جرم مختلف رسم می‌کنیم. با مقایسه‌ی فراوانی τ در انرژی-های مختلف مشاهده می‌کنیم که توزیع فراوانی با کاهش انرژی پهن‌تر می‌شود. این پدیده نشان می‌دهد که با افزایش انرژی، احتمال گسیل گلوئون و تولید رویدادهای سه‌جتی بیشتر است.

همچنین به بررسی نمودار فراوانی τ و نمودار مقدار میانگین این متغیر نسبت به انرژی مرکز جرم می‌پردازیم. مقایسه‌ی توزیع داده‌ها با پیش‌بینی‌های تئوری NLO+NLL، اندکی تفاوت را بین آن‌ها نشان می‌دهد. این اختلاف را می‌توان احتمالا با وارد کردن مراتب بالاتر بسط اختلالی و انجام تصحیحات کاهش داد. هرگاه نتایج فوق را با نتایج به دست آمده از برهمکنش‌های الکترون- پوزیترون مقایسه کنیم، سازگاری خوبی بین دو نوع برهمکنش مشاهده می‌شود. نتیجه می‌گیریم که بر خلاف ساختار داخلی متفاوت آن‌ها، هر دو نوع برهمکنش برای هادرونی شدن از یک قاعده‌ی مشابه پیروی می‌کنند.

مرجع‌ها

[۱]T. Aaltonen, B. Alvarez Gonzalez and et.al,*Phys.Rev.D***83**112007*ArXiv: hep-ex 1103.5143v1* (2011)
[۲] L. A. Bertram, *ActaPhysicaPolonica B*,**33** 10 3141-3146 (2002)
[۳] R. Saleh-Moghaddam and M. E. Zomorrodian, *Indian Journal of Physics*, **87** 7 687-690 (2013)
[۴] A. Banfi, G. P. Salam, and G. Zanderighi, *JHEP***06** 038(2010)
[۵] R. Saleh-Moghaddam and M. E. Zomorrodian, *JETP Letters*, **101** 4 240-245 (2015)
[۶] C. Pahl, S. Bethke, O. Biebel, S. Kluth, and J. Schieck,*Eur. Phys. J. C* 64, 533 (2009)