نقض مقیاس در جت‌های کوارک و گلوئون

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

[۱]*دانشکده فیزیک دانشگاه فردوسی مشهد، میدان آزادی ، مشهد*

چکیده

در این مقاله به بررسی جت‌های کوارک و گلوئون در برهمکنش‌های الکترون- پوزیترون می‌پردازیم. جت ،گروهی از هادرون‌هاست که در یک راستای مشخص جهت‌گیری می‌کنند. به منظور جداسازی جت‌های کوارک و گلوئون از الگوریتم JADE استفاده می‌کنیم. با بررسی توزیع انرژی هر جت، نتیجه می‌گیریم که در مقایسه با جت کوارک، جت گلوئون دارای انرژی کمتری است. سپس با مقایسه‌ی انرژی جت‌ها، به بررسی تابع ترکش می‌پردازیم. مشاهده می‌کنیم که در انرژی‌های بسیار بالا نقض مقیاس برای توابع ترکش جت گلوئون بیشتر از نقض مقیاس برای توابع ترکش جت کوارک است. جزئیات بیشتر در متن آمده است.

Scaling violation for quark and gluon jets

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

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

Abstract

We study quark and gluon jets in this paper by using electron-positron annihilations. A jet is defined as a group of hadrons that moving in one direction. We separate jets by using JADE algorithm. We also study energy of jets; the jet with smallest energy is the gluon jet. By comparing energy of jets, we observe that the scaling violation for the gluon jet is stronger than that for quark jet. We explain more features in this paper.

PACS No.13.66.Bc; 12.38.Bx

مقدمه

فرآیند نابودی الکترون-پوزیترون به هادرون‌ها، یک آزمایش ایده‌آل برای مطالعه‌ی پدیده‌ی برهمکنش قوی است. در فرآیند $e^+e^- \to hadrons$، زوج کوارکی که از واپاشی بوزون واسطه (Z_0, γ) تولید می‌شوند، شروع به تابش گلوئون‌هایی می‌کنند که به نوبه‌ی خود تبدیل به گلوئون‌های دیگر و یا تبدیل به زوج کوارک می‌شوند. این‌روش به بارش پارتونی معروف است. بر طبق مدل دینامیک کوانتومی رنگ، گلوئون‌ها نسبت به کوارک‌ها حامل رنگ بیشتری هستند. این باعث افزایش چندگانگی جت‌های گلوئون نسبت به جت‌های کوارک می‌شود. بنابراین سهم هر ذره از انرژی در جت‌های گلوئون کاهش می‌یابد که این نیز به نوبه‌ی خود باعث کاهش انرژی جت گلوئون نسبت به جت کوارک می‌شود.

دراین مقاله می‌خواهیم با تفکیک جت‌های کوارک و گلوئون، نقض مقیاس را در این جت‌ها بررسی کنیم. برای این منظور ابتدا به تفکیک جت‌های کوارک وگلوئون می‌پردازیم.

تفکیک جت

یک جت عبارتست از مجموعه‌ای از هادرون‌ها (معمولاً پایون-ها) که تمام آنها در یک جهت حرکت می‌کنند. این جت‌ها را می-توان به عنوان محصولات واپاشی کوارک‌ها تفسیر کرد. بنابراین کوارک‌ها به طور غیرمستقیم به صورت جت‌های کوارکی حاصل از آزمایش‌های نابودی‌الکترون-پوزیترون قابل مشاهده‌اند و رویدادی دو جتی ایجاد می‌شود. همچنین امکان دارد که کوارک و پادکوارک

حاصل از نابودی، یک گلوئون تابش کنند. در آن صورت یک رویداد سه‌جتی خواهیم داشت [۱-۲]. هر جت یک محور اصلی دارد که مشخصه‌ی آن جت می‌باشد. عبارت محور اصلی نامی است که برای توصیف محور رویداد مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعاریف مختلفی برای محور اصلی، مانند تراست و اسفریسیتی ارائه شده اند. در این مقاله از متغیر تراست استفاده می‌کنیم.

محور تراست، محوری در امتداد بیشینه‌ی مؤلفه‌ی طولی اندازه حرکت ذرّات است. متغیر تراست عبارتست از:

$$T = max\left(\frac{\sum_i|\vec{p_i}.\vec{n}|}{\sum_i|\vec{p_i}|}\right) \qquad (۱)$$

برای رویدادهای دو جتی، مقدار این کمیّت به یک نزدیک می‌شود. از طرف دیگر با افزایش تعداد جت‌ها مقدار تراست از یک، فاصله‌ی قابل ملاحظه‌ای می‌گیرد به گونه‌ای که مقدار آن به طور میانگین به ۰/۵ میل می‌کند [۳-٤].

همچنین برای تفکیک جت‌ها، از الگوریتم (JADE) استفاده می‌نماییم [۲]. این الگوریتم براساس ترکیب خوشه‌ای جفت ذرات نزدیک به هم برای تشکیل شبه ذرات بنا شده است. در این الگوریتم جرم ناوردای هر یک از جفت‌های هادرونی محاسبه می‌شود. هرگاه این جرم ناوردا از کسر معینی از انرژی مرکز جرم (Y_{cut}) کوچکتر باشد، این جفت ذرات با یکدیگر ترکیب می‌شوند. پس از آن طیف جدیدی از هادرون‌ها شکل می‌گیرد. این روش تا زمانی ادامه می‌یابد که هیچ جرم ناوردایی کوچکتر از Y_{cut} نباشد.

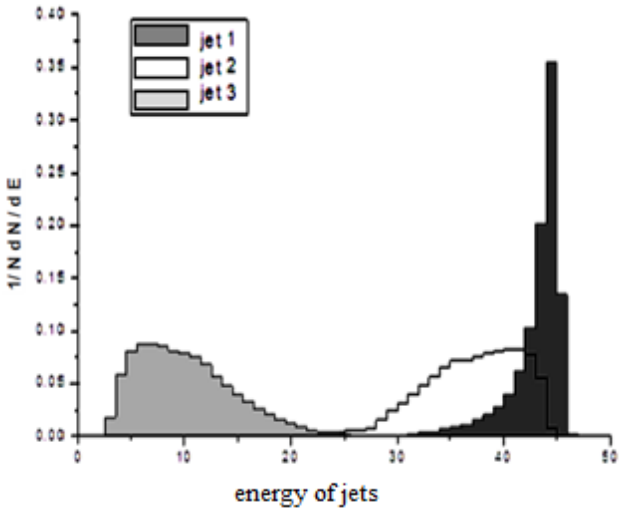
در این مقاله از داده‌های شبیه‌سازی شده (PYTHIA) در انرژی مرکز جرم ۹۱/۲GeV و همچنین ازداده‌های واقعی (AMY) در انرژی ٦۰GeV استفاده شده است.

نتایج فیزیکی

الف)جت‌های کوارک و گلوئون:

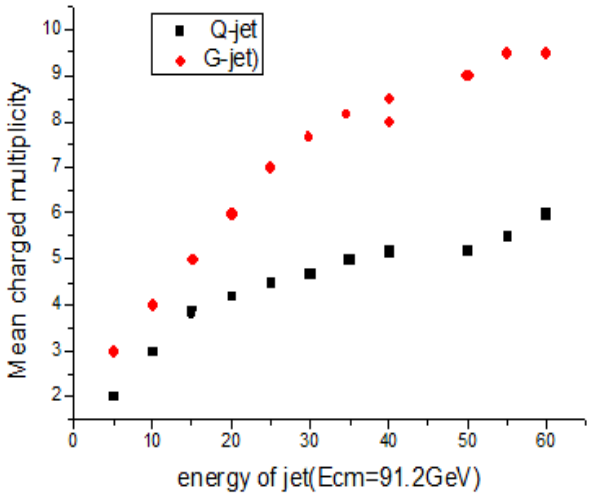
بااستفاده ازالگوریتم تفکیک جت (JADE)، رویدادهای سه جتی را مشخص نموده و سپس با استفاده از روش مرتب‌سازی انرژی[۵]، جت‌های کوارک و گلوئون را از یکدیگر جدا می‌کنیم.

در شکل ۱ توزیع انرژی به تفکیک برای هر جت آمده است. جت ۳ موسوم به جت گلوئون که کمترین انرژی را دارد، از جت های ۱ و ۲ قابل تمیز است.



شکل۱: توزیع انرژی جت‌های کوارک و گلوئون در رویداد های سه جتی ، در انرژی ۹۱/۲ GeV برای داده های PYTHIA

شکل۲ توزیع چندگانگی ذرات باردار را نسبت به انرژی جت برای جت‌های کوارک و گلوئون در انرژی مرکز جرم۹۱/۲GeV نشان می‌دهد. مشاهده می‌کنیم که میانگین چندگانگی ذرات باردار برای جت گلوئون از این میانگین برای جت کوارک بیشتر است [۲].



شکل۲: میانگین چندگانگی ذرات باردار نسبت به انرژی جت برای جت‌های کلوئون و کوارک

ب) مدل‌های ترکش:

اکنون نتایج به‌دست آمده از داده‌های واقعی(AMY) را با مدل-های گوناگون ترکش و پیش‌بینی‌های نظری NLO مقایسه می‌کنیم.

برای این منظور از دو رهیافت:

۱- وابستگی به x_E : $x_E = \frac{E_{hadron}}{E_{jet}}$

و

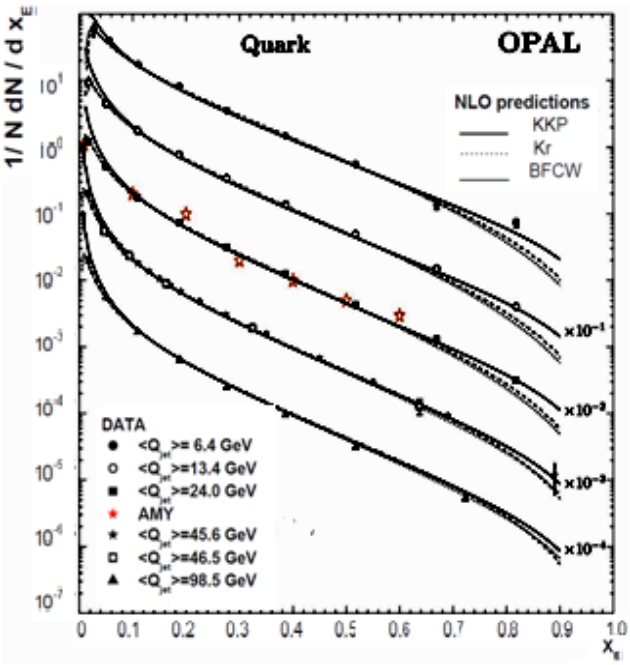
۲- وابستگی به مقیاس Q_{jet}: $Q_{jet} = E_{jet}\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$

در بررسی توابع ترکش بهره می‌گیریم:

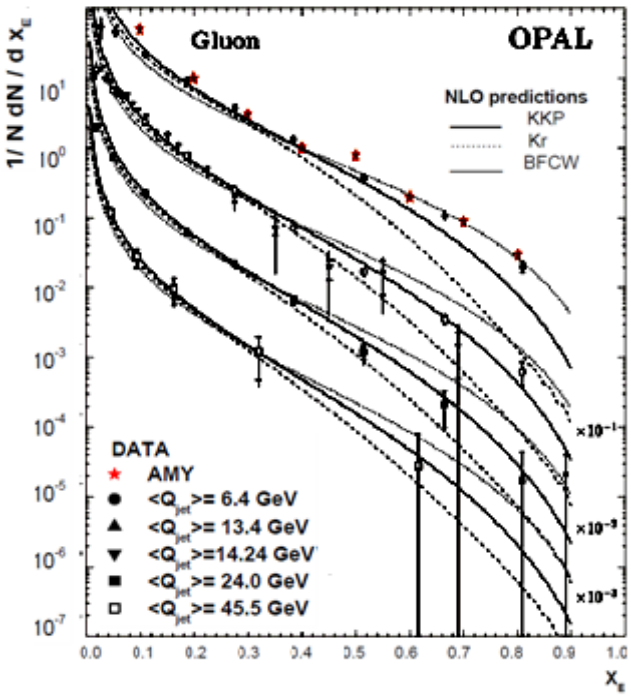
۱) وابستگی تابع ترکش به x_E:

در شکل‌های ۳ و ٤ وابستگی توابع ترکش جت کوارک و جت گلوئون به x_E برای داده‌های واقعی(AMY) به همراه نتایج دیگر نشان داده شده اند. از نمودارها پیداست که در x_Eهای کوچک، این داده‌ها با برآوردهای نظری و همچنین با داده‌های دیگر سازگارند.

همچنین مشاهده می‌کنیم که با افزایش انرژِی سطح مقطع کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر هر دو شکل نقض مقیاس را یکی برای جت کوارک و دیگری برای جت گلوئون نشان می‌دهند. دلیل این اثر، تابش گلوئون است که در x_Eهای بزرگ که در آن‌جا امکان تابش گلوئون زیاد است، رخ می‌دهد.



شکل۳: وابستگی توابع ترکش جت کوارک به x_E برای داده‌های AMY
(انرژی نمودارها از بالا به پایین افزایش می‌یابند.)



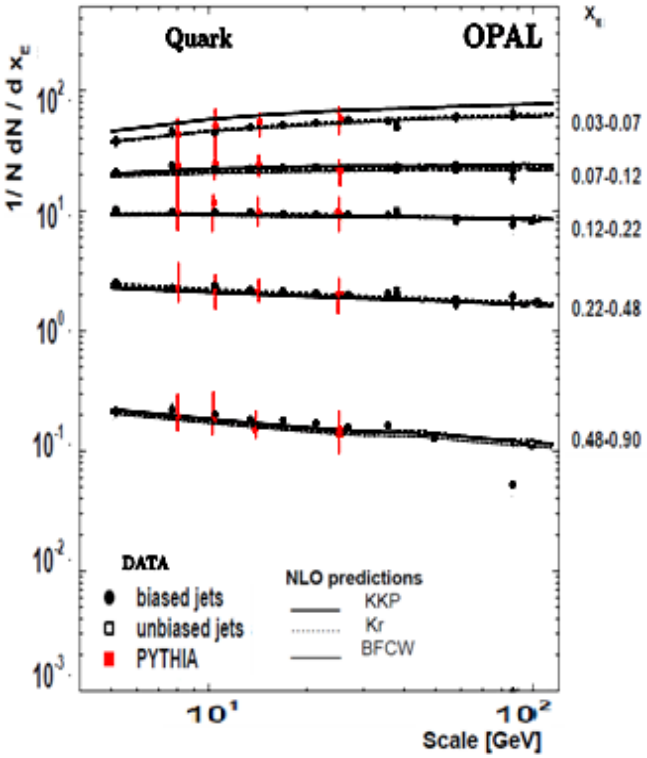
شکل ٤: وابستگی تابع ترکش جت گلوئون به x_E برای داده‌های AMY
(انرژی نمودارها از بالا به پایین افزایش می‌یابند.)

۲) وابستگی تابع ترکش به‌مقیاس Q_{jet}:

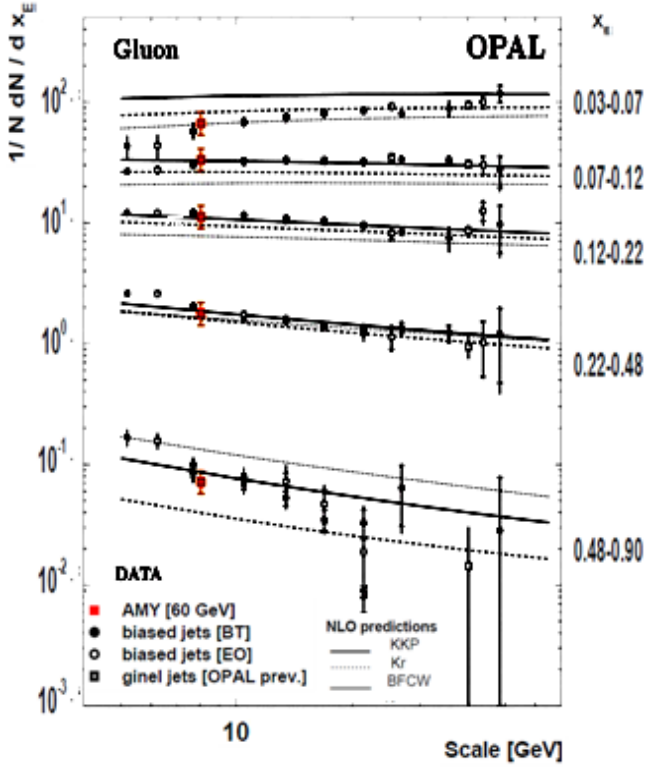
به منظور مقایسه‌ی جت‌های کوارک و گلوئون در رویدادهای سه‌جتی از مقیاس $Q_{jet} = E_{jet}\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$ استفاده می‌کنند. زیرا مقیاس فوق، مکان پارتون‌ها را نسبت به یکدیگر مد نظر قرار می-دهد [٦]. E_{jet} انرژی جت مورد نظر و θ زاویه‌ی بین جت و محور رویداد است. در شکل‌های ٥ و ٦ نتایج حاصل از نقض مقیاس (scaling) برای رویدادهای سه‌جتی در داده‌های واقعی (AMY) نشان داده شده‌اند.

همان‌گونه که از شکل‌ها پیداست در x_Eهای بینابین نقض مقیاس مشاهده نمی‌شود. یعنی توزیع مقیاس در این ناحیه دارای شیب صفر است. از طرف دیگر نقض مقیاس در خارج از این گستره به خوبی مشهود است. به عبارت دیگر در x_Eهای بزرگ نیز که در آنجا امکان تابش گلوئون زیاد است، این اثر قابل مشاهده است.

از طرف دیگر همان‌طور که انتظار می‌رود نقض مقیاس بیشتری را در جت‌های گلوئون (شکل٦) نسبت به جت‌های کوارک (شکل٥) شاهد هستیم [٣].



شکل ۵: وابستگی مقیاس توابع ترکش جت کوارک برای داده‌های AMY و پیش‌بینی NLO



شکل۶: وابستگی مقیاس توابع ترکش جت گلوئون برای داده‌های AMY و پیش‌بینی NLO

نتیجه‌گیری

در این مقاله برای مطالعه‌ی فرآیند نابودی الکترون- پوزیترون از داده‌های واقعی AMY و داده‌های شبیه‌سازی شده استفاده می‌کنیم. ابتدا میانگین چندگانگی ذرات باردار را نسبت به محور جت (محور تراست) مورد بررسی قرار می‌دهیم. با استفاده از الگوریتم JADE، جت‌ها را تفکیک نموده و سپس با استفاده از روش مرتب‌سازی انرژی، جت‌های کوارک و جت‌های گلوئون را از یکدیگر جدا می‌سازیم. با بررسی چندگانگی ذرات باردار در جت-ها، به این نتیجه می‌رسیم که جت‌های گلوئون نسبت به جت‌های کوارک چندگانگی بیشتری دارند. سپس با بررسی توزیع توابع ترکش، مشاهده می‌کنیم که در x_Eهای بزرگ و همچنین در انرژی-های بالا نقض مقیاس برای توابع ترکش جت گلوئون بیشتر از این اثر برای توابع ترکش جت کوارک است. نتایج فوق با پیش‌بینی‌های دینامیک کوانتومی رنگ نیز سازگارند.

مرجع‌ها

[۱] K Zapp, G Ingelman, J Rathsman, J Stachel and U A Wiedemann*Indian J. Phys*. **85**, 1033 (2011)
[۲] B Naroska,*DESY Rep. Phys. Rep*. **86,** 113 (1986)
[۳] الهام زارع مهرجردي، پایان‌نامه کارشناسي ارشد، دانشگاه فردوسي مشهد، (۱۳۹۰)
[۴] R. Saleh-Moghaddam and M. E. Zomorrodian, *Indian journal of physics*,**87**, 7 687-690 (2013)
[۵] W. Bartel , JADE Collaboration. *Phys. Lett. B***101,** 129 (1981)
[۶] Yu. L. Dokshitzer, V. A. Khoze, A. H. Mueller, and S. I. Troyan, *Basics of Perturbative QCD (Editions Fronti`eres, Gif-sur-Yvette,* (1991)