

## بررسی جت‌های کوارک و گلوئون در سه برهمکنش مختلف

صالح مقدم، ریحانه<sup>۱</sup>؛ زمردیان، محمد ابراهیم<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده فیزیک دانشگاه فردوسی مشهد، میدان آزادی، ۹۱۷۵-۱۴۳۶، مشهد

### چکیده

به منظور محاسبه مقادار ثابت جفت‌شدگی در این مقاله، به تفکیک جت‌های کوارک و گلوئون ذرات باردار در برهمکنش‌های مختلف می‌پردازیم. جداسازی و تفکیک جت‌های کوارک و گلوئون را از طریق به کار گیری الگوریتم JADE انجام می‌دهیم. سپس با تفکیک آنها، چندگانگی ذرات باردار هر جت در انرژی‌های مرکز جرم مختلف را مورد بررسی قرار داده و با توجه به نمودار میانگین چندگانگی جت‌های کوارک و گلوئون مشاهده می‌کنیم که با افزایش انرژی مرکز جرم، چندگانگی ذرات نیز سیر صعودی دارند. که البته آمار افزایشی جت‌های گلوئون همواره در تمامی برهمکنش‌ها نسبت به جت‌های کوارک بالاتر است. در نهایت نیز با محاسبه نسبت چندگانگی جت‌های گلوئون به چندگانگی جت‌های کوارک ( $r$ ) مقادار ثابت جفت‌شدگی را در هر انرژی به دست می‌آوریم. جزئیات بیشتر از این مطالعات و بررسی‌ها در متن مقاله آمده است.

## The study of quark and gluon jets in three different interactions

Saleh Moghaddam, Reihaneh<sup>1</sup>; Zomorrodian, Mohammad Ebrahim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Ferdowsi University of Mashhad, 91775-1436, Mashhad, Iran

### Abstract

In this paper, we calculate the values of strong coupling constant by separating the quark and gluon jets in different interactions. We use the JADE algorithm for separating jets. Then we study the multiplicity of the charge particles in jets for different center of mass energies. By considering the average multiplicity of quark and gluon jets, we observe that this multiplicity is rising by increasing energy. Also these values for gluon jets are considerably higher than the values for quark jets. By calculating the ratio of multiplicity for quark and gluon jets, we obtain the strong coupling constant in different energies as well as different interactions. More details will be explained in the main text.

PACS No. 13.66.Bc; 12.38.Bx

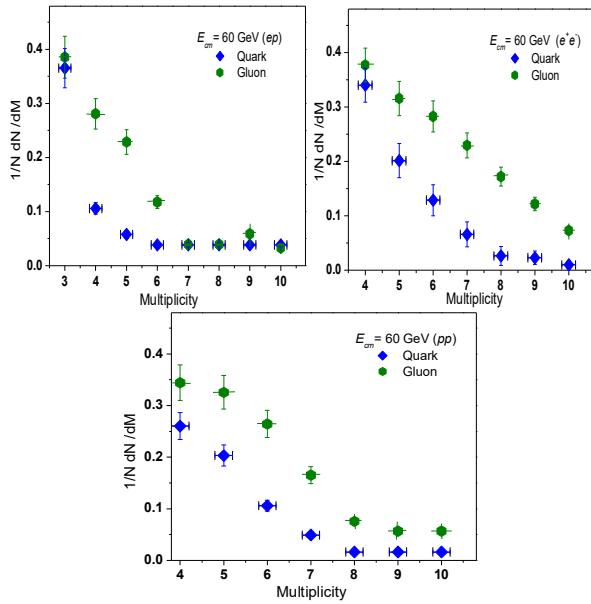
### مقدمه

کاهش می‌یابد که این نیز به نوبه‌ی خود باعث کاهش انرژی جت گلوئون نسبت به جت کوارک می‌شود [۱]. در این مقاله از داده‌های شبیه‌سازی شده مونت کارلو استخراج شده از برنامه PYTHIA برای سه نوع برهمکنش الکترون-پوزیtron، الکترون-پروتون و پروتون-پروتون استفاده می‌شود.

در انواع برهمکنش‌ها، زوج کوارکی که از واپاشی بوزون واسطه تولید می‌شوند، شروع به تابش گلوئون‌هایی می‌کنند که به نوبه‌ی خود تبدیل به گلوئون‌های دیگر و یا تبدیل به زوج کوارک دیگر می‌شوند. این روش به بارش پارتونی معروف است و بر طبق مدل QCD گلوئون‌ها حامل رنگ بیشتری نسبت به کوارک‌ها هستند. این باعث افزایش چندگانگی جت‌های گلوئون نسبت به جت‌های کوارک می‌شود. بنابراین سهم هر ذره از انرژی در جت‌های گلوئون

## نتایج فیزیکی

هدف ما در این مقاله، بررسی جت‌های کوارک و گلوئون به منظور محاسبه ثابت جفت شدگی در سه نوع برهمکنش مختلف است. این برهمکنش‌ها عبارتند از برهمکنش نابودی الکترون-پوزیترون، برهمکنش الکترون-پروتون و برهمکنش پروتون-پروتون. برای دستیابی به این هدف، ابتدا به کمک الگوریتم JADE که در بخش قبل توضیح داده شد، به تفکیک و جداسازی جت‌های کوارک و گلوئون از یکدیگر می‌پردازیم. در ابتدا با استفاده از جداسازی جت‌های کوارک و گلوئون، چندگانگی آن‌ها را در برهمکنش‌های مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار می‌دهیم. توزیع چندگانگی متناظر با این برهمکنش‌ها برای انرژی  $60\text{ GeV}$  در شکل ۱ مشاهده می‌شود. همانطور که از نمودارها پیداست چندگانگی برای جت‌های گلوئون در مقایسه با جت‌های کوارک دارای مقادیر بالاتری است.



شکل ۱: نمودار توزیع چندگانگی جت‌های کوارک و گلوئون ذرات باردار برای برهمکنش‌های مختلف در انرژی مرکز جرم  $60\text{ GeV}$ .

## الگوریتم JADE

یک جت عبارت است از مجموعه‌ای از هادرون‌ها که همگی در یک جهت حرکت می‌کنند. می‌توان این جت‌ها را به عنوان محصولات واپاشی کوارک‌ها تبییر کرد. بنابراین کوارک‌ها به طور غیرمستقیم به صورت جت‌های کوارکی حاصل از آزمایش‌ها قابل مشاهده‌اند و رویدادی دو جتی ایجاد می‌شود. همچنین امکان دارد که کوارک و پادکوارک حاصل از نابودی، گلوئون تابش کنند که بنابراین با رویدادهای سه‌جهتی و یا حتی چند جتی رویه‌رو می‌شویم. هر جت یک محور اصلی دارد که مشخصه‌ی آن جت می‌باشد. محور اصلی یا محور تراست، محوری در امتداد بیشینه مؤلفه طولی اندازه حرکت ذرات است.

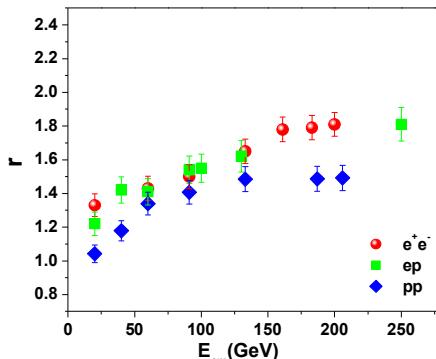
الگوریتم‌های یابنده جت (در اینجا الگوریتم JADE) براساس ترکیب خوش‌های زوج ذرات نزدیک به یکدیگر کار می‌کند. این الگوریتم برای تشکیل شبه ذرات بنا شده‌اند که در آن، تشکیل شبه ذرات به صورت تکراری برای ترکیب ذرات ادامه می‌یابد تا زمانی که رویدادها شامل تعداد اندکی شبه ذره جدایشده مناسب در چارچوب قواعد تعریف شده در الگوریتم مورد نظر قرار گیرند. این شبه ذرات باقی مانده جت‌های خروجی را تشکیل می‌دهند. برای تعیین نزدیکی ذرات به یکدیگر در درون یک جت از cutoff اندازه حرکت عرضی استفاده می‌شود. اساس متداول‌ترین نوع الگوریتم‌های خوش‌های عبارتست از [۲].

(الف) تعیین پارامتر تفکیک  $Y_{cut}$

(ب) محاسبه‌ی جدایی متناظر  $Y_{kl}$  برای هر یک از جفت ذرات  $k$  و  $l$  (اگر مقدار  $Y_{kl}$  محاسبه شده در قسمت (ب) کوچکتر یا مساوی از مقدار در نظر گرفته‌ی  $Y_{cut}$  باشد، دو ذره در یک جهت یا دسته قرار می‌گیرند. به این ترتیب یک شبه ذره ایجاد می‌شود).

(د) مراحل (ب) و (ج) تا زمانی ادامه می‌یابد که  $Y_{kl} \geq Y_{cut}$  شود. در اینصورت ذراتی که در یک دسته (جهت خاص) قرار گرفته‌اند، یک جت را تشکیل می‌دهند. همچنین ذرات در دسته‌های مشخص دیگر نیز تشکیل جت می‌دهند، به این ترتیب ذرات در دسته‌هایی موسوم به جت تفکیک می‌شوند و رویدادهای چندجتی شکل می‌گیرند. تعداد این دسته‌ها، تعداد جت‌های هر رویداد را مشخص می‌کنند.

که مقدار مجانبی آن از نسبت ضرایب رنگ  $r = \frac{c_A}{c_F} = 2.25$  قابل محاسبه است. همان‌گونه که در شکل ۳ نسبت  $r$  بر حسب انرژی مرکز جرم برای سه نوع برهمکنش نشان داده شده است، با افزایش انرژی مرکز جرم مقدار  $r$  سیر صعودی دارد و چنانچه این روند برای انرژی‌های بالاتر ادامه یابد پارامتر  $r$  به مقدار مجانبی  $2/25$  میل می‌کند.



شکل ۳: نسبت چندگانگی جت‌های گلوئون به چندگانگی جت‌های کوارک برای برهمکنش‌های مختلف.

با استفاده از این نسبت و روابط زیر [۳] می‌توان مقدار ثابت جفت‌شدگی را برای انرژی‌های مختلف در انواع برهمکنش‌ها بدست آورد. مقادیر آن‌ها در جدول ۲ تا ۴ آمده است.

$$r(Q) = r_0(1 - r_1\gamma_0 - r_2\gamma_0^2 - r_3\gamma_0^3) \quad (2)$$

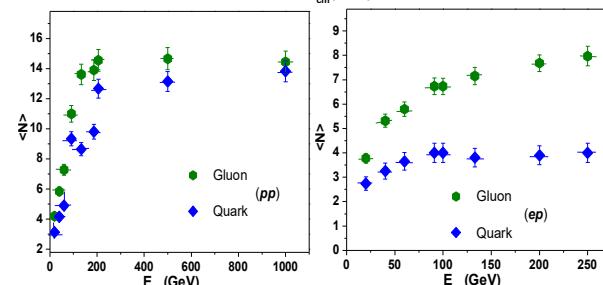
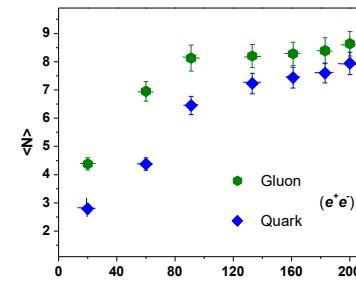
$$\gamma_0(Q) = \sqrt{2C_A\alpha_s(Q)/\pi} \quad (3)$$

در این روابط  $r_0 = 2.25$  و ضرایب تصحیحی  $r_i$  بر حسب تعداد طعم‌ها از جدول ۱ استخراج شده است [۴]:

جدول ۱: ضرایب تصحیحی استفاده شده بر حسب تعداد طعم‌ها

$n_F$	$r_1$	$r_2$	$r_3$
3	0.185	0.426	0.189
4	0.191	0.468	0.080
5	0.198	0.510	-0.041

با به دست آوردن چندگانگی جت‌های کوارک و گلوئون ذرات باردار در انرژی‌های مختلف از برهمکنش‌های متفاوت، اکنون می‌توان با میانگین‌گیری از مقادیر چندگانگی در هر انرژی مرکز جرم، نمودار میانگین چندگانگی جت‌های کوارک و گلوئون را بر حسب انرژی مرکز جرم رسم نمود که این نمودار در شکل ۲ نشان داده شده است. از این شکل نیز مشخص است که در انرژی‌های مشابه، میانگین چندگانگی جت‌های گلوئون در هر سه نوع برهمکنش از میانگین جت‌های کوارک بالاتر است و این مقادیر با افزایش انرژی مرکز جرم نیز در حال بیشتر شدن هستند و سیر صعودی دارند. این امر به دلیل احتمال بیشتر گسیل گلوئون در انرژی‌های بالاست که در نظریه QCD نیز پیش‌بینی شده است.



شکل ۲: نمودار میانگین توزیع چندگانگی جت‌های کوارک و گلوئون بر حسب انرژی مرکز جرم برای برهمکنش‌های مختلف.

در مرحله بعد، نسبت چندگانگی جت‌های گلوئون را به چندگانگی جت‌های کوارک مورد بررسی قرار می‌دهیم. این نسبت را که با  $r$  مشخص می‌شود [۳]:

$$r = \frac{\langle N_G \rangle}{\langle N_Q \rangle} \quad (1)$$

## نتیجه گیری

در این مقاله، به تفکیک جت‌های کوارک و جت‌های گلوئون در برهمکنش‌های مختلف می‌پردازیم. جداسازی و تفکیک جت‌های کوارک و گلوئون از طریق به کارگیری الگوریتم JADE صورت می‌گیرد. با تفکیک جت‌ها از یکدیگر، چندگانگی ذرات باردار هر جت را در انرژی‌های مرکز جرم مختلف مورد بررسی قرار می‌دهیم. با مشاهده نمودار میانگین چندگانگی جت‌های کوارک و جت‌های گلوئون نتیجه می‌گیریم که با افزایش انرژی مرکز جرم، چندگانگی ذرات سیر صعودی دارند. همچنین مشاهده می‌شود که در تمامی انواع برهمکنش‌ها، میانگین چندگانگی جت‌های گلوئون نسبت به میانگین چندگانگی جت‌های کوارک بیشتر است. در نهایت نیز با محاسبه نسبت چندگانگی جت‌های گلوئون به چندگانگی جت‌های کوارک ( $r$ )، مقدار ثابت جفت‌شدگی را در هر انرژی به دست می‌آوریم. مشاهده می‌شود نتایج حاصل از نمودارها و نتایج مقدار ثابت جفت‌شدگی با مقدار پیش‌بینی شده QCD سازگاری و همخوانی کامل دارند.

## مرجع‌ها

- [۱] OPAL Coll., G. Abbiendi et al., *Eur. Phys. J. C.* **11** 217 (1999).
- [۲] JADE and OPAL Collaboration, G. Abbiendi et.al. *Eur. Phys. J. C.* **17** 19 (2000).
- [۳] I.M. Dremin and J.W. Gary, *Phys. Lett. B.* **459** 341-346 (1999).
- [۴] A. Capella, I.M. Dremin and et, al. *Phys. Rev. D.* **61** 074009 (2000).
- [۵] R. Saleh-Moghaddam and M. E. Zomorrodian, *Indian J Phys.*, **93** 9 1211-1217 (2019).

جدول ۲: مقدار ثابت جفت‌شدگی در انرژی‌های مختلف نابودی الکترون-پوزیترون.

$E_{cm}(GeV)$	$\alpha_s(e^+e^-)$
20	$0.1319 \pm 0.02$
60	$0.1314 \pm 0.022$
91	$0.121 \pm 0.012$
133	$0.1174 \pm 0.009$
161	$0.117 \pm 0.031$
183	$0.121 \pm 0.035$
200	$0.1282 \pm 0.028$

جدول ۳: مقدار ثابت جفت‌شدگی در انرژی‌های مختلف برهمکنش الکترون-پروتون.

$E_{cm}(GeV)$	$\alpha_s(e^+p)$
20	$0.1455 \pm 0.027$
40	$0.1198 \pm 0.002$
60	$0.1049 \pm 0.014$
91	$0.1035 \pm 0.015$
100	$0.1015 \pm 0.017$
130	$0.1017 \pm 0.017$
250	$0.1008 \pm 0.018$

جدول ۴: مقدار ثابت جفت‌شدگی در انرژی‌های مختلف برهمکنش پروتون-پروتون.

$E_{cm}(GeV)$	$\alpha_s(pp)$
20	$0.1889 \pm 0.032$
40	$0.1852 \pm 0.028$
60	$0.1435 \pm 0.025$
91	$0.1288 \pm 0.012$
133	$0.1184 \pm 0.008$
187	$0.1091 \pm 0.015$
500	$0.1063 \pm 0.012$

همان‌طور که از اعداد به دست آمده پیداست، مقادیر ثابت جفت‌شدگی با درنظر گرفتن خطای آماری، از مرتبه  $0/1$  هستند که با پیش‌بینی QCD و نتایج به دست آمده در برآوردهای قبلی [۵] سازگاری و مطابقت خوبی دارند.