

محاسبه‌ی ثابت پیوندی نیروی هسته‌ای قوی با استفاده از روش آلتارلی-پاریزی توسط داده‌های

مونت کارلو

حامدی نسب حسن^۱؛ زمردیان محمدابراهیم^۲^۱ دانشکده فیزیک، کارشناس ارشد فیزیک گرایش ذرات بنیادی دانشگاه فردوسی مشهد^۲ گروه فیزیک، دکترای فیزیک گرایش ذرات بنیادی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این مقاله از داده‌های مونت کارلو PYTHIA در انرژی‌های مختلف استفاده شده است. با استفاده از الگوریتم JADE و روش چندگانگی ذرات، رویدادهای سه‌جتی را تفکیک نموده و جت‌های گلوئون و کوارک در آن‌ها را شناسایی می‌کنیم. سپس با استفاده از روش آلتارلی-پاریزی، نمودار سطح مقطع رویدادهای سه‌جتی را نسبت به متغیر x_T^2 رسم می‌کنیم. از برازش این نمودارها با رابطه‌ی نظری مربوطه، ثابت جفت‌شدگی نیروی هسته‌ای قوی را محاسبه می‌نمائیم. همچنین با رسم نمودار α_s برحسب Y_{cut} پی می‌بریم که α_s با افزایش Y_{cut} به مقدار اندکی کاهش می‌یابد. در حالت کلی نتایج فوق تاییدی بر نظریه‌ی QCD توسط داده‌های مونت کارلو می‌باشد.

Calculation of the coupling constant by using the Altarelli-Parisi method by Monte-carlo data

Hamedinasab Hasan¹; Zomorodian Mohammad Ebrahim²¹ Department of Physics, University of Ferdousi, Mashhad² Department of Physics, University of Ferdousi, Mashhad

Abstract

In this paper we have used the Monte-carlo PHTHIA data in different energies. By using the JADE algorithm and also the multiplicity method we separate the three jet events. We also separate the quark jets from gluon jets in these three jet events. Next we use the Altarelli-parisi method as well as transverse momentum to draw the cross section for three jet events for X_T^2 . By fitting these diagrams with the corresponding theoretical relation, we calculate the strong coupling constant. We observe that our results are consistent with those obtained from the AMY data. Also by plotting the α_s variation with respect to Y_{cut} we find out that the coupling constant decreases slightly by increasing the Y_{cut} . In general our results are consistent with the QCD theory.

PACS No.10

در این مقاله ابتدا روابط تنوری روش آلتارلی-پاریزی با استفاده از تکانه عرضی آورده شده است، سپس از الگوریتم JADE، که یکی از روش‌های تفکیک جت هاست، رویدادهای سه‌جتی را تفکیک نموده ایم [2]. از نتایج این الگوریتم برای تحلیل یک رویداد سه‌جتی در دستگاه مرکز جرم، که منشأ محاسبات برای بدست آوردن α_s می‌باشد، استفاده می‌کنیم.

مقدمه

ثابت جفت‌شدگی قوی، α_s ، مربوط به صدور یا جذب گلوئون از یک کوارک یا پادکوارک می‌باشد. در آزمایش‌های نابودی e^+e^- که نتایج آن‌ها هادرون‌ها می‌باشند، صدور گلوئون در مرتبه‌ی اول، باعث تبدیل یک رویداد دوجتی به یک رویداد سه‌جتی می‌شود [1]. برای محاسبه‌ی ثابت جفت‌شدگی به تفکیک رویدادهای دوجتی و سه‌جتی و همچنین شناسایی جت‌های رویداد سه‌جتی (جت کوارک، پادکوارک و گلوئون) نیاز داریم.

$$x_{\bar{q}} = \frac{2(1-x_q)}{2-x_q-x_{\bar{q}}\cos\theta} \quad (9)$$

مهمترین علامت صدور گلوئون آن است که q, \bar{q} به صورت پشت به پشت تولید نمی‌شوند، \bar{q} با یک تکانه‌ی عرضی نسبت به q تولید می‌شود. بنابراین مقدار قابل مشاهده عبارتست از $\frac{d\sigma}{dx_{\bar{q}}^2}$. این سطح مقطع با استفاده از روش Altarelli-Parisi [۳] به صورت زیر نتیجه می‌شود:

$$\frac{d\sigma}{dx_{\bar{q}}dP_T^2} = \sigma(e^-e^+ \rightarrow q\bar{q}) \gamma_{\bar{q}\bar{q}}(x_{\bar{q}}, P_T^2) \quad (10)$$

در اینجا σ احتمال تولید جفت $q\bar{q}$ و $\gamma_{\bar{q}\bar{q}}$ احتمال آن است که \bar{q} ، یک گلوئون با کسر $(1-x_{\bar{q}})$ از تکانه‌ی خود را با یک تکانه‌ی عرضی $|P_T|$ صادر کند.

مقدار σ برابر است با:

$$\sigma(e^-e^+ \rightarrow q\bar{q}) = \frac{4\pi\alpha^2}{Q^2} e_q^2 \quad (11)$$

پس از جایگذاری رابطه‌ی 11 و مقدار $\gamma_{\bar{q}\bar{q}}(x_{\bar{q}}, P_T^2)$ در رابطه‌ی 10 و انتگرال‌گیری بر روی همه‌ی مقادیر \bar{q} داریم:

$$\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{dx_{\bar{q}}^2} = \frac{2\alpha_s}{2\pi} \frac{1}{x_{\bar{q}}^2} \int_{(x_{\bar{q}})_{\min}}^{(x_{\bar{q}})_{\max}} dx \left(\frac{4}{3}\right) \left(\frac{1+x^2}{1-x}\right) \quad (12)$$

در این قسمت یک ضریب ۲ به منظور به حساب آوردن تابش گلوئون از کوآرک وارد شده است. اگر گلوئون تابش شده تا حد امکان نرم باشد (تکانه‌ی عرضی کوچک) آنگاه:

$$(x_{\bar{q}})_{\min} \approx 1 - \frac{x_T}{2} \quad (13)$$

با در نظر گرفتن این تقریب و پس از انتگرال‌گیری از رابطه‌ی 12 خواهیم داشت:

$$\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{dx_{\bar{q}}^2} = \frac{4\alpha_s}{3\pi} \frac{1}{x_{\bar{q}}^2} \ln\left(\frac{1}{x_{\bar{q}}}\right) \quad (14)$$

رابطه‌ی 14 سطح مقطع رویداد $e^-e^+ \rightarrow q\bar{q}g$ بر حسب x_T می‌باشد.

رابطه‌ی 14 را به صورت دیگری نیز می‌توان نوشت:

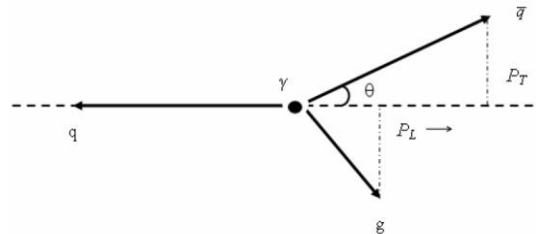
$$\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{dP_T^2} \sim \frac{\alpha_s}{P_T^2} \ln\left(\frac{Q^2}{4P_T^2}\right) \quad (15)$$

این رابطه نشان می‌دهد که برای P_T ثابت، سطح مقطع نسبی هنگامی که Q^2 افزایش می‌یابد، زیاد می‌شود. یعنی تعداد جتهای

محاسبه‌ی ثابت جفت شدگی با استفاده از اندازه

حرکت عرضی و روش Altarelli-Parisi

ابتدا یک رویداد سه‌جتی را در دستگاه مرکز جرم مطابق شکل ۱ در نظر می‌گیریم.



شکل ۱: فرایند $e^+e^- \rightarrow qqg$ در دستگاه مرکز جرم [3].

تکانه‌های g, \bar{q}, q که از فوتون مجازی در حال سکون ایجاد شده‌اند در شکل مشخص است.

برای محاسبات شکل ۱، مؤلفه‌های طولی و عرضی پارتون‌ها که نسبت به انرژی باریکه‌ی فرودی مقیاس بندی شده‌اند را در نظر می‌گیریم:

$$x_{\bar{q}} = \frac{2E_{\bar{q}}}{Q}, \quad x_q = \frac{2E_q}{Q}, \quad x_g = \frac{2E_g}{Q}, \quad x_T = \frac{2P_T}{Q} \quad (1)$$

همه‌ی این نسبت‌ها بین صفر و یک قرار دارند. چاربردارهای مربوط به g, \bar{q}, q به صورت

$$q: (x_q, 0, 0, -x_q) \quad (2)$$

$$\bar{q}: (x_{\bar{q}}, x_T, 0, x_L) \quad (3)$$

$$g: (x_g, -x_T, 0, -x_L) \quad (4)$$

می‌باشد.

متغیرها نسبت به جتی که بیشترین انرژی را دارد (در اینجا q) تعریف شده‌اند. این محور همان محور تراست است. به خاطر بقای تکانه، q, \bar{q}, g هم صفحه هستند و بقای انرژی ایجاب می‌کند که:

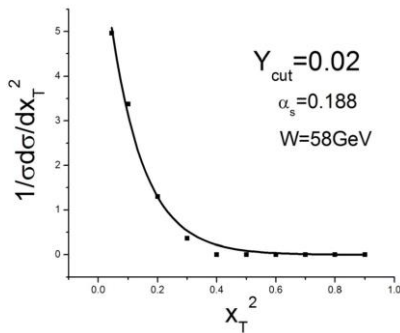
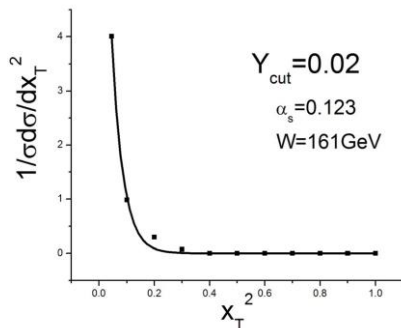
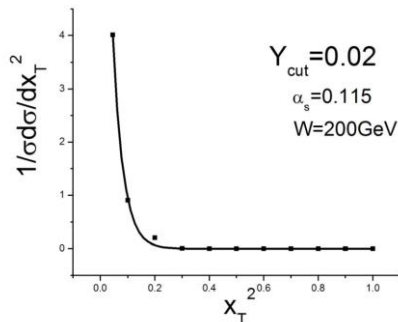
$$x_q + x_{\bar{q}} + x_g = 2 \quad (5)$$

$$x_{\bar{q}}^2 - x_T^2 - x_L^2 = 0 \quad (6)$$

$$x_g^2 - x_T^2 - (x_L - x_q)^2 = 0 \quad (7)$$

از روابط 5، 6، 7 و 8 داریم:

$$x_T^2 = \frac{1}{x_q^2} (1-x_q)(1-x_{\bar{q}})(1-x_g) \quad (8)$$

شکل ۳: سطح مقطع دیفرانسیلی برحسب x_T^2 در انرژی مرکز جرم 58 GeVشکل ۴: سطح مقطع دیفرانسیلی برحسب x_T^2 در انرژی مرکز جرم 161 GeVشکل ۵: سطح مقطع دیفرانسیلی برحسب x_T^2 در انرژی مرکز جرم 200 GeV

از شکل‌های ۲ تا ۵ پیداست که با افزایش انرژی، α_s کاهش می‌یابد (جدول ۱ و شکل ۶).

جدول ۱: مقادیر ثابت پیوندی به ازای انرژی‌های مختلف داده‌های مونت کارلو

انرژی (Gev)	۲۰	۵۸	۱۶۱	۲۰۰
α_s	0.205 ±0.002	0.188 ±0.003	0.123 ±0.002	0.115 ±0.002

\bar{q} که نسبت به جت q دارای تکانه‌ی عرضی هستند با افزایش Q^2 بیشتر می‌شود و این یک نتیجه از افزایش احتمال صدور گلوئون با تکانه‌ی عرضی مشخص است.

برای پیدا کردن α_s با این روش از متغیر زیر استفاده می‌کنیم:

$$x_T = \frac{2P_T}{Q} \quad (16)$$

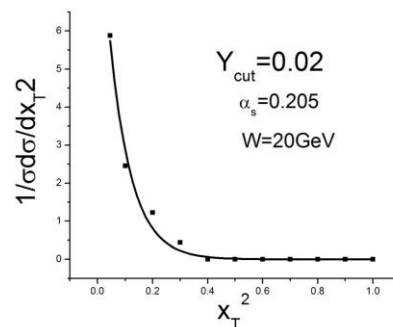
با محاسبه سطح مقطع رویدادهای سه جتی و با استفاده از روش Altarelli-Parisi [3,4] درمی‌یابیم:

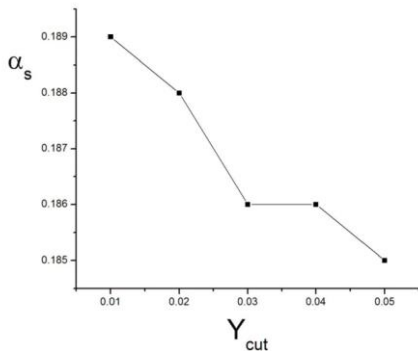
$$\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{dx_T^2} \approx \frac{4\alpha_s}{3\pi} \frac{1}{x_T^2} \text{Ln}\left(\frac{1}{x_T^2}\right) \quad (17)$$

در این رابطه α_s ، ثابت جفت شدگی مرتبه‌ی اول گلوئون-کوآرک حاصل از QCD می‌باشد.

محاسبه‌ی α_s با استفاده از داده‌های مونت کارلو برحسب متغیر x_T^2

در این بخش، نمودارهای سطح مقطع دیفرانسیلی رویدادهای سه جتی برحسب متغیر x_T^2 را در انرژی‌های 20، 58، 161 و 200 (برحسب GeV) مونت کارلو رسم کرده و از برازش آنها با سمت راست رابطه‌ی 17، مقدار α_s را به دست می‌آوریم (شکل‌های ۲ تا ۵ و جدول ۱):

شکل ۶: سطح مقطع دیفرانسیلی برحسب x_T^2 در انرژی مرکز جرم 20 GeV



شکل ۸: نمودار α_s برحسب Y_{cut} در انرژی مرکز جرم 58GeV

بار دیگر مشاهده می کنیم که مقدار ثابت پیوندی با افزایش Y_{cut} کاهش می یابد. اما این تغییرات قابل توجه نیست به طوری که نتایج به دست آمده از داده های مونت کارلو نیز با مدل QCD همخوانی دارد.

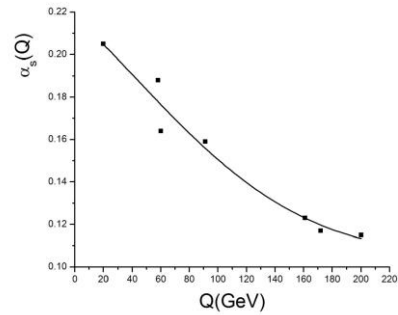
نتیجه گیری

با رسم نمودارهای α_s برحسب Y_{cut} پی می بریم که α_s با افزایش Y_{cut} ، به مقدار اندکی کاهش می یابد. دلیلش آن است که با افزایش Y_{cut} تعداد رویدادهای سه جتی کاهش می یابد. همچنین با رسم نمودار α_s برحسب انرژی مرکز جرم این نتیجه ی مهم به دست می آید که با افزایش انرژی، α_s کاهش می یابد. به طور کلی نتایج بدست آمده از داده های مونت کارلو با نتایج به دست آمده از داده های آشکارساز AMY [5] و همچنین با نظریه ی QCD همخوانی دارند.

مرجع ها

[۱] دیوید جفری گریفیتس "مقدمه ای بر ذرات بنیادی" (ترجمه ی دکتر نادر قهرمانی).

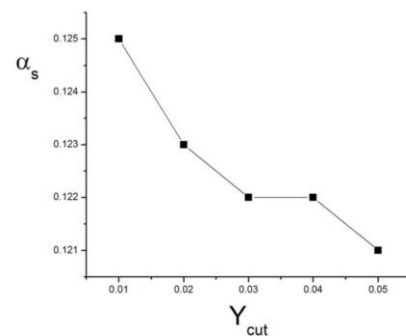
- [۲] JADE, Collab, S. Bethke et al. Phys. Lett. B213(1988)235
 [۳] Halzen, F. and A. Martin, *Quarks and Leptons* (1984). (Q p o) Wiley & Sons, Taschenbuch. 88: p. 65.
 [۴] Zomorrodian, M.E., et al., Next-to-next-leading order correction to 3-jet rate and event-shape distribution. *Pramana-J. Phys.*, 2011. 76(1).
 [5] Sepehri, A.S.A., T.G.T. Ghaffary, and M.E.Z.M.E. Zomorrodian, *Measurement of strong coupling constant from transverse momentum*. *Canadian Journal of physics*, 2009. 87(11): p. 1151-1158.



شکل ۶: نمودار ثابت پیوندی برحسب انرژی برای داده های مونت کارلو در جدول های ۲ و ۳ برای نمونه مقدار α_s به ازای Y_{cut} های مختلف فقط در انرژی های 58GeV و 161GeV از داده های مونت کارلو آمده است. شکل های ۷ و ۸ نمودار های مربوطه می باشد.

جدول ۲: مقادیر α_s به ازای Y_{cut} های مختلف برحسب سطح مقطع رویدادهای سه جتی نسبت به متغیر x_T^2 در انرژی 161GeV

Y_{cut}	α_s
0.01	0.125 ± 0.001
0.02	0.123 ± 0.002
0.03	0.122 ± 0.001
0.04	0.122 ± 0.001
0.05	0.121 ± 0.001



شکل ۷: نمودار α_s برحسب Y_{cut} در انرژی مرکز جرم 161GeV

جدول ۳: مقادیر α_s به ازای Y_{cut} های مختلف برحسب سطح مقطع رویدادهای سه جتی نسبت به متغیر x_T^2 در انرژی 58GeV

Y_{cut}	α_s
0.01	0.189 ± 0.001
0.02	0.188 ± 0.001
0.03	0.186 ± 0.002
0.04	0.186 ± 0.001
0.05	0.185 ± 0.001