دانشکده علوم پایه گروه فیزیک

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد گرایش ذرات بنیادی

عنوان پایان نامه:

بررسی تصحیحات توانی درمحاسبه ثابت پیوندی دربرهم کنش الکترون- پوزیترون

استاد راهنما:

دکتر محمد ابراهیم زمردیان

استاد مشا ور:

دکتر محسن سربیشه ای

نگارش:

سیده اشرف نبوره

زمستان ۱۳۹۰

تقدیم به

مادر مهربانم

پدر دلسوزم

و تمامی عزیزانم که همواره پشتیبانم بودند.

تشکر و قدردانی

شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا　　بر منتهای همت خود کامران شدم

ارزنده ترین کار است که از زحمات بی دریغ استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر محمد ابراهیم زمردیان که راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند و در تمامی مراحل انجام این پژوهش مرا یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. از خداوند متعال سلامتی و طول عمر با عزت را برای ایشان خواستارم. همچنین از اساتید گرامی آقایان دکتر محسن سربیشه ای، دکتر کوروش جاویدان و سرکار خانم دکتر پروین اسلامی که زحمت مطالعه و داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند، سپاسگذارم.

همتم بدرقه ی راه کن ای طایر قدس　　که دراز است ره مقصد و من نو سفرم

چکید ه

در این پایان نا مه ا بتدا به شرح مختصری درباره توابع ترکش و خصوصیات حالات نهایی هادرونی در نابودی الکترون- پوزیترون می‌پردازیم. یکی از مدل‌های هادرونی تحلیلی به نام مدل پراکندگی را معرفی کرده ، به روابط ریاضی این مدل اشاره خواهیم کرد. سپس با استفاده از برازش داده‌های تجربی به مقایسه میان پیش بینی‌های اختلالی QCD و مدل پراکندگی خواهیم پرداخت.متداول ترین متغیرهای شکل رویداد وابسته به رویدادهای سه جتی درنابودی الکترون- پوزیترون که مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

Thrust,Heavy jet mass, Wide jet broadening ,Total jet broadening

دراین برازش‌ها ثابت جفت شدگی قوی α_s درمقیاس انرژی 90 GEV و همچنین پارامتر غیر اختلالی α_0 که در مقیاس‌های انرژی – ممنتوم پایین معرفی می‌شود ، را محاسبه خواهیم کرد . بهترین برازش‌ها نتایجی که به دنبال دارد به صورت زیر می باشد .

$$0.115 < \alpha_s(M_Z) < 0.12$$

$$0.4 < \alpha_0(\mu_I = 2) < 0.55$$

با انجام برازش ، نتایجی که برای این دو پارامتر آزاد بدست می‌آوریم با پیش بینی‌های مدل پراکندگی ومدل Jetset سازگار خواهد بود .

مقدمه

ا مـروزه مطالعـه فرآینـدهای نـابودی زوج الکتـرون – پـوزیترون ، در انـرژی‌هـای بـالا یکـی از زمینـه‌هـای مهـم تجربـی و نظـری مـی‌باشـد. نـابودی الکتـرون – پـوزیترون و تولیـد هـادرون از جملـه ایـن فرآیندهاسـت. فرآینـد تولیـد هـادرون طبـق پـیش بینـی تئـوری QCD در انـرژی پایین رخ می‌دهد. از آنجـایی کـه دراین مقیـاس انـرژی پدیـده حـبس کـوارک‌هـا اتفـاق مـی‌افتـد ایـن امـر باعـث ا فزایشـی ناگهـانی در مقـدار ثابـت پیونـدی قـوی خواهـد شـد . بنـابراین بـرای محاسبه ثابـت پیونـدی در نـابودی الکتـرون – پـوزیترون دراین مقیـاس انـرژی ،تصـحیحات تـوانی تا مرتبه NLO بااستفاده از ممان متغیرهای شکل رویداد ، به کارگرفته می‌شود.

درفصـل اول بـه بحـث وبررسـی مختصـری پیرامـون مـدل اسـتاندارد و فرآینـد هـادرونی شـدن در نابودی الکترون وپوزیترون می‌پردازیم.

در فصـل دوم بـه معرفـی متغیرهـای شـکل رویـداد ، مفهـوم بازبهنجـارش ، مـدل پراکنـدگی و روابط ریاضی به کاررفته دراین مدل می‌پردازیم.

درفصل سوم با استفاده از داده‌های تجربی ، تصحیحات توانی برای محاسبه ثابـت پیونـدی درنـابودی الکترون – پوزیترون را به کار برده ،$\alpha_s(M_Z)$ و پارامتر غیر اختلالی α_0 را بدست می‌آوریم .

فهرست مطالب

فصل اول: رهیافتی بر مدل استاندارد و مدل‌های ترکش

مقدمه ۲

۱-۱ - مدل استاندارد ۴

۱-۲- تولید هادرون در نابودی زوج $e^+ - e^-$ (جت‌های هادرونی) ۵

۱-۳- مدل‌های ترکش در نابودی $e^+ - e^-$ ۸

۱-۴- الگوریتم **JADE** ۱۳

۱-۵- لاگرانژی QCD ۱۴

فصل دوم: بررسی تصحیحات توانی در محاسبه ثابت پیوندی در برهمکنش الکترون - پوزیترون

مقدمه ۲۱

۲- ۱- متغیرهای شکل رویداد ۲۲

۲-۱-۱ تراست $Thrust$ ۲۳

۲-۱-۲ جرم جت سنگین بهنجار شده($Scaled\ heavy\ jet\ mass$) ۲۳

۲-۱-۳ پهن شدگی جت $(Jet\ broadening)$ B_W و B_T ۲۴

۲-۲- پیش بینی‌های QCD برای ممان متغیرهای شکل رویداد ۲۴

۲-۳- بازبهنجارش در **QCD** ۲۵

۲-۳-۱ ثابت جفت شدگی روان ۲۶

۲-۳-۲ معادله گروه باز بهنجارش (RGE) ۲۸

۲-۴- بسط اختلالی مشاهده پذیرها تا مرتبه $\boldsymbol{NNLO}$ ۳۰

۲-۵- مقیاس باز بهنجارش وتاثیر آن بر ثابت جفت شدگی قوی ۳۴

۲-۶- مدل پراکندگی $(\boldsymbol{Dispersive\ Model})$ ۳۷

۲-۷- مدل پراکندگی توسعه یافته تا مرتبه **NNLO** ۴۴

فصل سوم: نتایج تجربی

مقدمه ۴۸

۳-۱- تصحیحات توانی ممان متغیرهای شکل رویداد ۴۹

۳-۲- تصحیحات توانی پیش بینی شده در مدل $\boldsymbol{Jetset}$ ۴۹

۳-۳- مقایسه ضرایب مدل $\boldsymbol{Jetset}$ با ضرایب تجربی ۵۶

۳-۴- تصحیحات توانی پیش بینی شده در مدل پراکندگی ۵۷

۳-۵- تصحیحات توانی مدل پراکندگی برای داده‌های مونت کارلو ۶۴

۳-۶- تصحیحات توانی مدل پراکندگی برای داده‌های $JADE\ ,\ OPAL$ ۷۲

مرا جع ۸۱

پیوست ۸۶

فصل اول:

رهیافتی بر مدل استاندارد ومدل های ترکش

مقدمه:

ذرات بنیادی را می‌توان به عنوان سنگ بنای عالم هستی شناخت . لذا همیشه ذهن بشر و دستاوردهای فیزیکی در حوزه ذرات بنیادی به دنبال کشف ذرات جدید و برهمکنش این ذرات با همدیگر می‌باشد. آزمایش هایی که دانشمندان ذرات بنیادی در طی سال‌های اخیر به آن‌ها روی آوردند برخورد ذرات و پراکندگی آن‌ها در انرژی‌های بالا می‌باشد.

مدل استاندارد فیزیک ذرات، در حال حاضر اساسی تر ین مدلی است که بر هم کنش اساسی درون عالم را توضیح می‌دهد. سه نیرو از چهار نیروی اصلی ، الکترومغناطیسی ، نیروی ضعیف و قوی دراین مدل آمده است (نیروی جاذبه به دلیل نداشتن هیچ گونه توصیفی برمبنای نظریه میدان کوانتومی و همچنین ضعیف بودن شدت (قدرت) آن دراین مقیاس بسیار ضعیف است.) نظریه میدان الکتروضعیف ، الکترومغناطیس و نیروهای ضعیف را شرح می‌دهد. نظریه میدانی که بعنوان دینامیک کوانتومی رنگ (QCD) شناخته شده است، نیروی قوی را توضیح می‌دهد.این نظریه بار رنگ را به عنوان نیروی بین کوارک‌ها در نظر می‌گیرد یعنی کوارک‌ها تنها فرمیون هایی هستند که نیروی قوی را تجربه می‌کنند وگلوئون‌ها را به عنوان بوزون هایی در نظر می‌گیرد که عامل انتقال نیروی قوی هستند. همان طور که بار الکتریکی منشا نیروی الکترو مغناطیس بین ذرات باردار می‌باشد. پیش بینی هایی که بر مبنای QCD صورت می‌گیرد بر یک پارامتر بنیادین یعنی قدرت جفت شدگی بین پارتون‌ها استوار می‌باشد.که این پارامتر را به نماد α_s نشان داده و آن را ثابت جفت شدگی نیروی قوی می‌نامند. مقدار α_s را می‌توان با استفاده از برهم کنش هایی که شامل کوارک‌ها و گلوئون‌ها می‌باشد اندازه گیری نمود.

رایـج تـرین روش انـدازه گیـری α_s فرآینـد $e^-e^+ \to hadron$ اسـت کـه بـه عنـوان یکـی از سـاده تـرین و تمیزتـرین فرآینـدهـای تولیـد چنـد ذره‌ای اسـت کـه در شـتاب دهنـده‌هـای انـرزی بـالا مـورد بررسـی قـرار مـی‌گیـرد. دراثـر نـابودی الکتـرون و پـوزیترون جفت‌های ذرات و پاد ذراتی تولیـد مـی‌شـوند کـه مـی‌تواننـد جفـت‌هـای کـوارک و پـاد کـوارک باشند. اما کوارک‌ها به دلیل داشـتن ویژگـی حـبس نمـی تواننـد مجـزا و مسـتقل وجـود داشـته باشند لذا آنچه که در آشکارسازها دیـده مـی‌شـود بـه شـکل خوشـه‌هـای هـادرونی هسـتند کـه آن‌ها راجت‌هـای هـادرونی نـام گـذاری مـی‌کننـد.(جـت مجموعـه‌ای از ذرات اسـت کـه همگـی در یک زاویه فضـایی کوچـک تولیـد مـی‌شـوند.) جهـت جـت‌هـای هـادرونی در جهـت اولیـه ی تولیـد کـوارک یـا گلوئـون مـادر مـی‌باشـد در یـک شـتاب دهنـده ، الکتـرون و پـوزیترن، بـه انرژی‌های بالایی می‌رسند که پس از برخـورد باعـث تـو لیـد کـوارک مـی‌شـوند. ایـن کـوارک‌هـا پـس از فرآینـدی موسـوم بـه هـادرونی شـدن بـه هـادرون‌هـای نهـایی تبـدیل مـی‌شـوند.ایـن هـادرون‌هـا معمـولا در جهـت هـایی تولیـد مـی‌شـوند کـه جهـت اولیـه ی تولیـد کـوارک یـا گلوئون مادر می‌باشد.البتـه فرآینـد هـادرونی شـدن غیـر اختلالـی مـی‌باشـد، تئـوری اختلالـی QCD نمی تواند آن را توجیه کند.

۱-۱ - مدل استاندارد

مدل استاندارد با ذرات بنیاری و برهم کنش‌های بین آن‌ها سرو کار دارد.

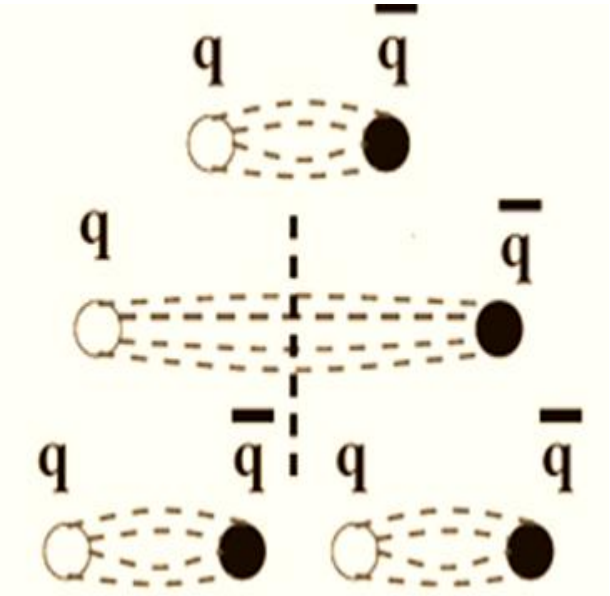
QCD در مقایسه با QED به صورت یک تئوری پیما نه‌ای از نیروهای قوی و الکتروضعیف می باشد که با یکدیگر گروه‌های پیمانه‌ای $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ را می سازندکه گروه تقارن مدل استاندارد نامیده می شوند. برای برهم کنش قوی گروه پیما نه‌ای $SU(3)$ می‌باشد .

(تئوری QCD برهم کنش‌های قوی بین کوارک ها را توسط مبادله گلوئون‌ها (که بوزون‌های پیما نه‌ای بدون جرم هستند) توصیف می‌کنند. هشت گلوئون نماینده هشت میدان پیمانه‌ای در گروه پیمانه‌ای $SU(3)$ می‌باشند.گلوئون‌ها بار رنگ حمل می‌کنند و بنا براین گلوئون‌ها می‌توانند مستقیماً به گلوئون‌ها وکوارک‌های دیگر بپیوندند ، یعنی یک کوارک می‌تواند یک گلوئون گسیل کند و با آن بر هم کنش کند و گلوئون اضا فی تولید کند.در نتیجه پیوند قوی α_s به انرژی بستگی پیدا می‌کند. برای فواصل بزرگ واگرا و برای فواصل کوتاه کوچک می‌شود. لذا هرگز نمی توان کوارک‌ها را به صورت آزاد مشاهده کرد. بر همکنش‌های الکترومغناطیسی و ضعیف در این مدل توسط تئوری گلاشو، واینبرگ و سلام (GWS) بررسی می‌شود که با استفاده از این تئوری واپاشی‌های هسته‌ای را می‌توان به خوبی توصیف کرد.در تئوری الکتروضعیف چهار ذره واسطه معرفی می‌شوند که سه تا ازاین ذرات واسطه بوزون‌های برداری $W^{\pm}, Z^0$ هستند که به برهم کنش‌های ضعیف مربوط می‌شوند. چهارمین ذره واسطه فوتون γ است که در بر هم کنش‌های الکترو مغناطیسی مسئول انتقال نیرو بین ذرات باردار است.

۱-۲- تولید هادرون در نابودی زوج e^-e^+ (جت‌های هادرونی)

از جمله فرآیندهای ممکن در نابودی e^-e^+ فرآیند تولید هادرون می‌باشد . ظهور هادرون ، نشان دهنده حضور برهم کنش قوی می‌باشد .

$$e^-e^+ \to \gamma \to q\bar{q} \to hadrons$$

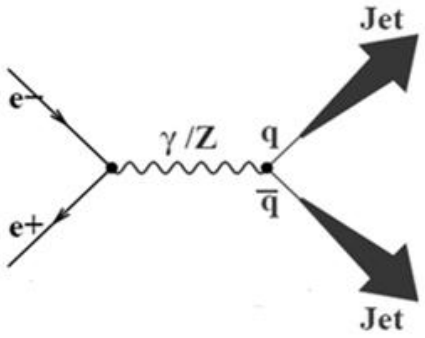


شکل (۱-۱) فرآیند تشکیل جت به هنگام جدایی کوارک و پادکوارک از یکدیگر[۱] .

پس از نابودی زوج e^-e^+ ، یک جفت $q\bar{q}$ تولید می‌شود که هر کدام حامل باررنگ هستند. پتانسیل بین زوج $q\bar{q}$ با $V(r) \sim r$ متناسب می‌باشد .کوارک و پادکوارک با فاصله گرفتن از یکدیگر باعث کشیده شدن خطوط نیروی رنگ می‌شوند. این کشیده شدن خطوط نیروی رنگ تا مرحله‌ای که انرژی پتانسیل میدان رنگ برای تولید یک جفت $q\bar{q}$ کا فی باشد ادامه پیدا می‌کند.در این صورت لوله دربر گیرنده خطوط نیروی رنگ به دو لوله کوتاهتر با انرژی خالص کوچکتر شکسته می‌شود.کوارک خروجی با ادامه

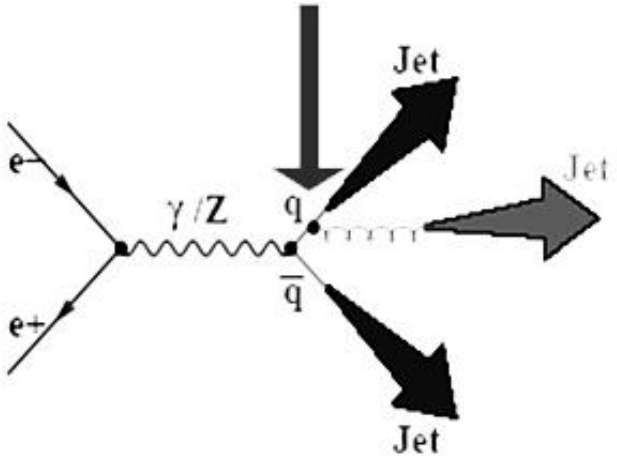
مسیر خود ، باعث کشیده شده تر شدن خطوط نیروی رنگ و تولید جفت جدید $q\bar{q}$ می‌شود. این فرآیند تا آنجا ادامه پیدا می‌کند که انرژی جنبشی کاهش یابد و کوارک‌ها وگلوئون‌ها به صورت خوشه هایی با رنگ خالص صفر و تکانه داخلی ناچیز ظاهر شوند. این مجموعه از حالات بدون رنگ ، هادرون هایی با جرم ناچیز که اغلب آن‌ها پایون هستند را تشکیل می‌دهند. یک جت مجموعه‌ای از هادرون هاست که همگی در یک جهت خاصی تولید می‌شوند. کوارک‌ها به طور غیر مستقیم ، به صورت جت های کوارکی حاصل از آزمایش‌های نابودی e^-e^+ قابل مشاهده اند.

در یک رویداد دو جتی ، دو جت هادرونی پشت به پشت وجود دارد که تکانه کوارک و پادکوارک بین آن‌ها به اشتراک گذاشته می‌شودو هر کدام از جت ها نسبت به امتداد حرکت کوارک های اولیه ،دارای مولفه تکانه عرضی کوچکی هستند.



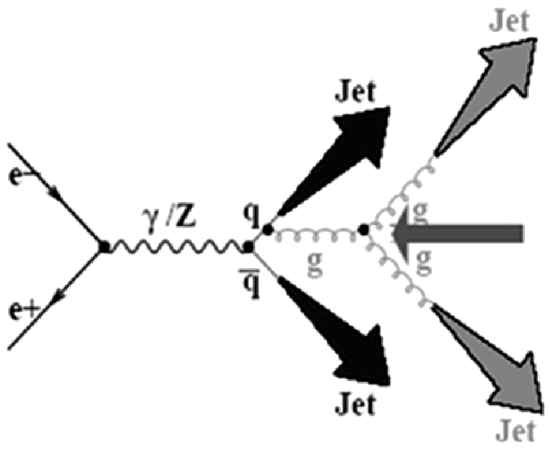
شکل (۱- ۲) تولید زوج کوارک- پادکوارک در نابودی e^-e^+ [۱] .

ممکـن اسـت کـوارک و پـادکوارک حاصـل از نـابودی زوج e^-e^+ ، یـک گلوئـون تـابش کننـد که درآن صورت یک رویداد سه جتی ایجاد خواهد شد.



شکل (۱- ۳) فرآیند $e^-e^+ \to \gamma \to q\bar{q}g$ که منجر به رویداد سه جتی خواهد شد[۱] .

احتمـال تشـکیل رویـدادهـای چهـارجتی و بـالاتر نیـز وجـود دارد ، هنگـامی کـه کـه e^-e^+ در انـرژی‌هـای بـالا بـا هـم برخـورد کننـد ، در برخـی از رویـدادها ، هـادرون هـایی بـا تکانـه عرضی بالایی بوجود مـی‌آینـد کـه ایـن مسـاله منجـر بـه ایجـاد رویـدادهـای چهـارجتی وبـالاتر خواهدشد.



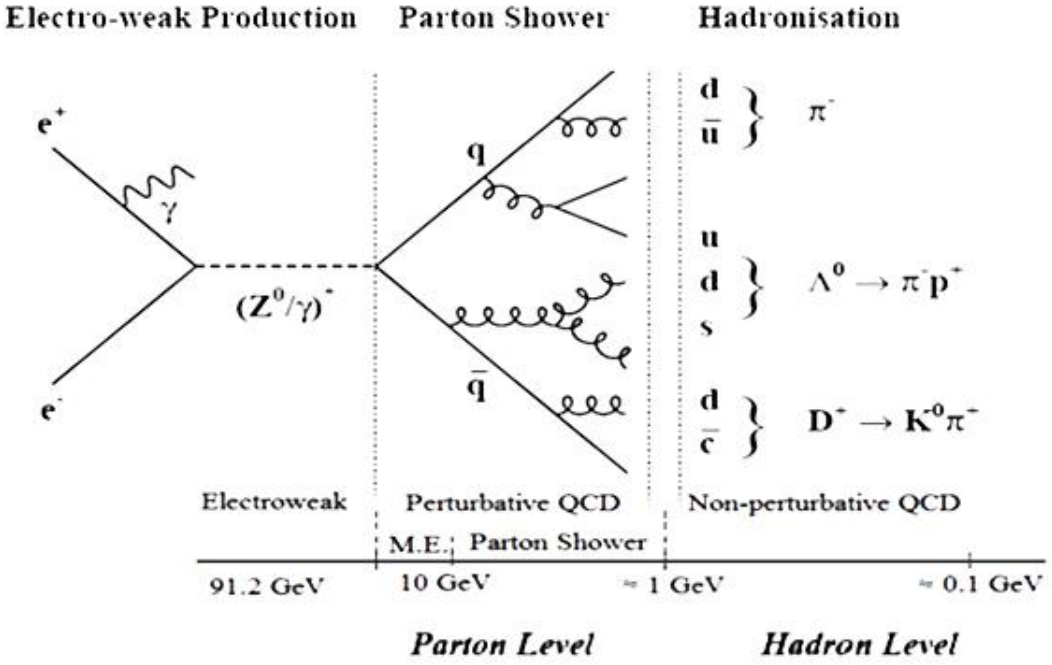
شکل (۱- ۴) رویداد چهار جتی در نا بود ی e^-e^+ [۱] .

۱-۳- مدل‌های ترکش در نابودی e^-e^+ [۲,۳]

همان طور که تئوری QCD پیش بینی می‌کند در انرژی‌های بالا و در فواصل کمتر از قطر پروتون ، پارتون‌ها از آزادی مجانبی پیروی می‌کنند بنابراین در این مرحله از تئوری اختلال برای توصیف رویدادها استفاده می‌کنند . اما در فواصل نزدیک به قطر هادون پدیده حبس و ا فزایش نیروی رنگ ، مانع از بکار گیری تئوری‌های اختلال می‌شود وبرای توصیف این مرحله از مدل‌های پدیده شناسی استفاده می‌کنند.

نابودی جفت e^-e^+ $(e^-e^+ \to \gamma, Z \to Xh)$ که تولید هادرون را شامل می‌شود طبق محاسبات QCD دردو مرحله انجام می‌گردد. مرحله اول خلق پارتون‌ها می‌باشد که در انرژی‌های بالا و در فواصل کوچک صورت می‌پذیرد و با توجه به رابطه $\alpha_s(Q^2)$ از آنجایی که ثابت جفت شدگی با ا فزایش انرژی ،کاهش می‌یابد ، بنابراین محاسبات مربوط به این مرحله بصورت اختلالی انجام می‌شود.

مرحلـه دوم نیـز هـادرونیزه شـدن یـا تـرکش مـی‌باشـد کـه تـرکش کـوارک‌هـا و گلوئـون‌هـای رنگـی بـه هـادرون‌هـای بـدون رنـگ در فواصـل زیـاد صـورت مـی‌پـذیرد و از آنجـا کـه گـذار پارتون‌هـا بـه هـادرون‌هـا در یـک انـرژی پـایین حـدوداً $(1\ GEV)$ رخ مـی‌دهـد ، نمـی تـوان ایــن مرحلــه را بصــورت اختلالــی بررســی کــرد. جــدایی بــین QCD اختلالــی و حالــت غیــر اختلالی ترکش معمولاً" با مقیاس انرژی Q_0 $(1-2\ GEV)$ داده می‌شود.



شکل (۱- ۵) مرا حل نابودی e^-e^+ که منجر به تولید هادرون و سرا نجام وا پاشی هادرون های نا پایدار خوا هد شد [۴] .

نـابودی e^-e^+ در۴ مرحلـه انجـام مـی‌شـود .۱) نـابودی e^-e^+ بـه بـوزون Z و یـا فوتـون γ کـه آن‌هـا نیـز بـه یـک جفـت کـوارک و پـادکوارک واپاشـی مـی‌کننـد .۲) تـابش گلوئـون‌هـا از کـوارک و پـاد کـوارک ، مطـابق بـا پـیش بینـی‌هـای QCD اختلالـی ۳) گـذار غیـر اختلالـی پارتون‌ها به هادرون‌های بدون رنگ ۴) واپاشی هادرون‌های ناپایدار

سه روش پیشنهاد شده برای ترکش از قرار زیر می‌باشد:

۱-ترکش مستقل[1]

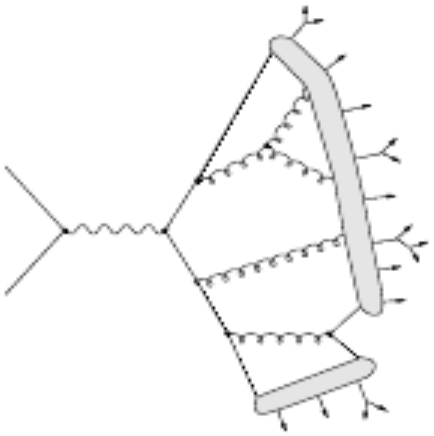
۲-ترکش بر اساس نظریه ریسمان[2] [۵,۶]

۳-ترکش‌های خوشه ای[3][۷,۸, ۹]

۱- ترکش مستقل : در این روش فرض می‌شود که هر پارتون به طور کاملا" منزوی و جداگانه از پارتون‌های دیگر ترکش می‌یابد. در این مدل ،کوارک هایی با اندازه حرکت بالا به طور مستقل به دو ذره بدون رنگ و کوارک هایی دیگر ، شکافته می‌شوند.این مدل در توصیف بعضی از داده‌های آزمایشگاهی ناتوان می‌باشد.

۲- ترکش بر اساس نظریه ریسمان : این مدل برای تولید دو جت پشت به پشت $q\bar{q}$ که از نابودی e^-e^+ بدست می‌آید ، طراحی شده است. پارتون‌ها جدا از همدیگر حرکت می‌کنند ویک رشته رنگی بین پارتون‌ها کشیده می‌شود،این رشته رنگی جفت کوارک را به هم پیوند می‌دهد و نقش گلوئون‌ها در این پیوند مانند گره هایی در رشته رنگی می‌باشد (گلوئون‌ها این رشته رنگی را به هم گره می‌زنند). برای مثال q و $\bar{q}$ جدا از یکدیگر حرکت می کنند و انرژی پتانسیل ذخیره شده در این رشته رنگی ا فزایش می-یابد تا اینکه با تولید یک جفت $\acute{q}\acute{\bar{q}}$ جدید شکسته می‌شود و هادرون‌ها هنگامی تولید می‌شوند که این رشته رنگی شکسته می‌شود. مانند $e^-e^+ \rightarrow q\bar{q}g$ که این رشته از q توسط گلوئون به $\bar{q}$ کشیده می‌شود.

[1] Independent Fragmentation
[2] String Fragmentation
[3] Cluster Fragmentation



شکل (۱- ۶) ترکش بر اساس نظریه ریسمان [۶ , ۵].

۳- ترکش‌های خوشــه‌ای : در ایـن مـدل بـه هـر یـک از پـارتون‌هـا یـک جـرم نـاوردا ی μ نسـبت داده مـی‌شـود . هنگـامی کـه q و $\bar{q}$ گلوئـون تـابش کننـد ، جـرم نـاوردای آن‌هـا کاهش می یابد و این اختلاف در جـرم نـاوردا بـه صـورت تکانـه عرضـی بـرای گلوئـون‌هـا نمایـان مـی‌شـود . گلوئـون‌هـای تـابش شـده مـی‌تواننـد گلوئـون‌هـای بیشـتری گسـیل کننـد و مجموعـه‌ای از کـوارک‌هـا و گلوئـون‌هـا را تولیـد کننـد . فرآینـد بـارش پـارتونی تـا زمـانی کـه جـرم نـاوردای هـر پـارتون بـالاتر از مقـدار حـدی μ_0 باشـد ،ادامـه دارد و بعـد ازآن ، فرآینـد متوقـف مـی‌شـود. بعـد از آنکـه بـارش پـارتونی کامـل شـد ، حالـت نهـایی مجموعـه‌ای از کوارک‌ها وگلوئون‌ها می‌باشـند.در ایـن مرحلـه ،گلوئـون‌هـا زمـانی کـه در فـاز اختلالـی هسـتند بـه جفـت‌هـای $q\bar{q}$ شـکافته مـی‌شـوند. سـپس یـک کـوارک q_i و یـک پـادکوارک $\bar{q}_j$ کـه کمترین جدایی را در فضای فاز دارند ، تشکیل خوشه بدون رنگ $q_i\bar{q}_j$ ، را می‌دهند.

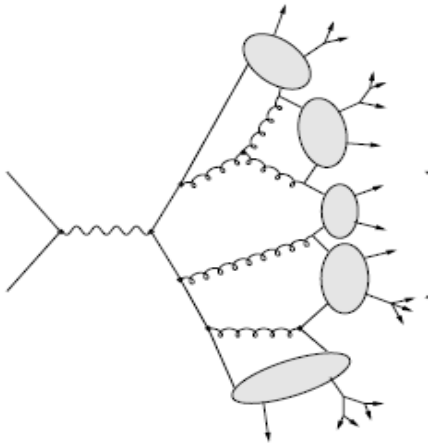
بعد از تشکیل خوشه‌ها مرحله غیر اختلالی هادرونی شدن ، شکل می‌گیرد :

۱ -خوشه‌های سبک با جرم ناوردای کوچک ،مستقیما یک هادرون (مزون) می‌دهند.

۲ -خوشه‌های سنگین تر می‌توانند یک زوج هادرون تولید کنند.

۳ -خوشه هایی که خیلی سنگین هستند به خوشه‌های سبک تر تقسیم می‌شوند ، تا زمانی که جرم همه آن‌ها به مقدار جرم آستانه شکا فت برسد .در این مرحله با فاصله گرفتن کوارک و پادکوارک در هر خوشه ، انرژی پتانسیل مربوط به بار رنگ افزایش می‌یابد ، تا جایی که انرژی لازم برای تولید زوج $q\bar{q}$ جدید حاصل شودو در نهایت هم هادرون‌های بی رنگ تشکیل می‌شوند.

مقدار μ_0 حدودا بین $(1-2\ GEV)$ قراردارد، هر چه μ_0 کوچک تر باشد تعداد پارتون‌های بیشتری تولید می‌شود ولی خوشه‌ها سبک تر هستند. بالعکس ، هر چه μ_0 بزرگتر باشد تعداد پارتون‌های کمتری تولید می‌شود ولی جرم خوشه‌های بی رنگ بیشتر خواهد بود.



شکل (۱- ۷) ترکش بر اساس مدل خوشه ا ی [۹].

۱-۴- الگوریتم JADE [۱۰ ,۱۱]

الگوریتم بازسازی ساختار جت ، بر پایه کمیت بدون بعد y_{cut} قرار دارد. این الگوریتم دارای یک متغیر آزمون به شکل

$$y_{ij} = {m_{ij}^2}\Big/{E_{vis}^2} \qquad (۱ - ۱)$$

می باشد که درآن متغیر m_{ij} به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$m_{ij}^2 = 2E_iE_j(1 - \cos\theta_{ij}) \qquad (۲ - ۱)$$

E_j و E_i انرژی ذرات j و i و θ_{ij} زاویه بین آن‌ها می‌باشد. ذرات باردار با جرم پایون و ذرات خنثی بدون جرم در نظر گرفته می‌شوند. مجموع انرژی کل ذرات به عنوان انرژی قابل مشاهده E_{vis} تعریف می‌شود.کمیت y_{ij} برای هر جفت ذره j و i از حالات نهایی موجود در هر رویداد، محاسبه می‌شود. سپس دو ذره که دارای کمترین مقدار y_{ij} در رویداد می‌باشند با جمع کردن چهار بردار تکانه ، با هم ترکیب شده و با یک شبه ذره با چهار بردار تکانه P_{ij} تعویض می‌شوند، البته به شرط آنکه y_{ij} از یک y_{cut} انتخابی کوچکتر باشد.این عمل برروی تمام جفت‌های ذرات یا شبه ذرات تکرار می‌شود. ذرات یا شبه ذرات باقیمانده که دارای $y_{ij} > y_{cut}$ هستند به عنوان جت ها شناخته می‌شوند . تعداد جت‌های جدا شده در یک رویداد خاص به مقدار y_{cut} انتخابی بستگی دارد.