

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم پایه  
گروه فیزیک

عنوان پایان نامه:

# محاسبه ثابت پیوندی قوی تا مرتبه دوم در انرژی مرکز جرم $60 \text{ GeV}$

ارائه شده جهت اخذ درجه دکتری  
در رشته فیزیک گرایش ذرات بنیادی

استاد راهنما:

دکتر محمد ابراهیم زمردیان

نگارش:

تورج غفاری

تابستان ۱۳۸۹

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵	۱- مقدمه‌ای بر فیزیک ذرات بنیادی.....
۵	1-1- پیشگفتار.....
۱۱	۲-۱- مدل استاندارد.....
۱۲	۱-۲-۱- الف) تئوری پیمان‌ای و ساختار گروهی QCD.....
۱۵	۱-۲-۱- ب) سه رنگ برای کوارک‌ها [۵].....
۱۸	۲-۲-۱- آزادی مجانبی.....
۲۱	۳-۱- بازبهنجارش QCD.....
۲۳	۴-۱- ثابت جفت شدگی روان $\alpha_S(Q^2)$ .....
۲۵	۵-۱- انتخاب مقیاس بازبهنجارش مناسب.....
۲۷	۶-۱- برهمکنش‌های قوی در نابودی $e^+e^-$ .....
۲۹	۷-۱- نابودی $e^+e^-$ و زوج‌های کوارک-پاد کوارک.....
۳۱	۸-۱- تابش گلوئون از کوارک.....
	برهمکنش قوی در تابش گلوئون از کوارک نیز ظاهر می‌شود. این امر شامل دو بخش می‌باشد: تابش گلوئون‌های مجازی و حقیقی. این دو در شکل (۷-۱) نشان داده شده‌اند. تنها در مورد تابش گلوئون‌های

حقیقی یک گلوئون در مرحله نهایی همراه با کوارک و آنتی کوارک می باشد. احتمال تابش گلوئون واقعی که در شکل (۷-۱) نشان داده شده است، بستگی به قدرت جفت شدگی دارد.....	۳۱
۲- آشکارساز <i>AMY</i> .....	۳۷
۱-۲- مقدمه.....	۳۷
۲-۲- شمارشگر سوسوزن.....	۳۷
۳-۲- آشکارسازهای نیمرسانا.....	۳۹
۴-۲- اتافکهای حباب.....	۴۰
۵-۲- اتافک جرقه.....	۴۲
۶-۲- آشکارساز <i>AMY</i> .....	۴۳
۱-۶-۲- ناحیه اندرکنش.....	۴۴
۲-۶-۲- دستگاه ردیاب ذرات باردار.....	۴۴
۳-۶-۲- شمارنده بارش الکترومغناطیس.....	۴۸
۴-۶-۲- سیم پیچ سیم لوله ابر رسانا.....	۴۹
۵-۶-۲- آشکارسازهای پایانه.....	۴۹
۶-۶-۲- جمع آوری و ثبت داده‌ها.....	۵۱
۷-۶-۲- شرایط انتخاب رویداد.....	۵۲
۳- نظریه دینامیک کوانتومی رنگ اختلالی و تحلیل رویدادهای چند جتی.....	۵۴
۱-۳- نظریه دینامیک کوانتومی رنگ اختلالی.....	۵۴
۱-۱-۳- لاگرانژی QCD.....	۵۵
۲-۱-۳- ثابت جفت شدگی قوی $\alpha_s$ .....	۵۷
۲-۳- مقایسه ثابت جفت شدگی در بر همکنشهای قوی و الکترومغناطیسی.....	۶۰
۱-۲-۳- پوشش بار الکتریکی در QED.....	۶۱
۲-۲-۳- پوشش بار رنگ در QCD.....	۶۳
۳-۲-۳- تعبیر $\alpha$ و $s\alpha$ .....	۶۵
۴-۲-۳- نمودارهای مرتبه بالاتر و بازبهنجارش در QED.....	۶۷
۵-۲-۳- نمودارهای مرتبه بالاتر و بازبهنجارش در QCD.....	۷۱

۷۵	3-3- تحلیل رویدادهای چند جتی
۷۵	۳-۳-۱- تعریف جت
۷۹	الف) اسفربسیستی
۸۲	ب) تراست [۴۱]
۸۳	۴- نتایج تجربی
۸۳	۴-۱- انتخاب دستگاه مرکز جرم
۸۶	۴-۲- الگوریتمهای یابنده جت
۸۸	الگوریتم JADE
۹۳	3-4- توزیع تکانه
۹۳	۴-۳-۱- میانگین تکانه عرضی
۹۸	۴-۳-۲- میانگین مربع تکانه عرضی [۶۵]
۱۰۲	۴-۴- محاسبه ثابت جفت شدگی با استفاده از اندازه حرکت عرضی و روش <i>Altarelli-Parisi</i>
۱۱۱	۴-۵- محاسبه ثابت جفت شدگی قوی با استفاده از طیف تکانه و معادله گروه بهنجار (RGE)
۱۲۰	۴-۶- محاسبه ثابت جفت شدگی قوی با استفاده از متغیرهای شکل رویداد
۱۲۱	۴-۶-۱- شناسایی جت گلوئون و کوارک
۱۲۲	۴-۶-۲- متغیرهای متناسب با شکل رویداد و محاسبه $\alpha_s$
۱۳۳	۵- برنامه کامپیوتری
۱۵۲	۶- مراجع

# فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ محتوای کوارکی $\Delta^{++}$ با در نظر گرفتن رنگ [۵] . . . . .	۱۷
شکل ۲-۱ با افزایش فاصله دو بار نقطه ای، میدان الکتریکی کاهش می یابد. میدان رنگی با افزایش فاصله، گسترده نمی شود. سر انجام، تلاش برای جدا کردن کوارکها و ایجاد فواصل به اندازه کافی بزرگ، منجر به تولید یک زوج جدید کوارک - پادکوارک می شود . . . . .	۲۱
شکل ۳-۱ ثابت جفت شدگی روان برای $A_{\overline{MS}}$ های مختلف [۱۳]. (معادله (۱-۲۶)) . . . . .	۲۵
شکل ۴-۱ نمایش نمادین تبدیل و واپاشی $e^+e^-$ به هادرون ها طی فرایند هادرونی شدن . . . . .	۲۸
شکل ۵-۱ پایین ترین مرتبه نمودار فاینمن در نابودی الکترون-پوزیترون و تبدیل آنها به فوتون مجازی و یا بوزون Z و در نهایت واپاشی این ذرات واسطه به زوج کوارک-آنتی کوارک . . . . .	۲۹
شکل ۶-۱ سطح مقطع هادرونی R در نابودی $e^+e^-$ بدون در نظر گرفتن تصحیحات QCD (خط نقطه چین)، همراه با تصحیحات QCD (خط تیره)، (معادله (۱-۳۶)) . . . . .	۳۱
شکل ۷-۱ نمودار های فاینمن در پایین ترین مرتبه تابش گلوئون حقیقی (چپ) و مجازی (وسط و راست) از یک کوارک یا پاد کوارک . . . . .	۳۲

- شکل ۸-۱ توزیع تراست در انرژی  $\sqrt{S} = 189 \text{ GeV}$  و مقایسه آن با QCD . . . . . ۳۶
- شکل ۱-۲ - مشاهده تطابق به وسیله چشم [۲۴] . . . . . ۳۹
- شکل ۲-۲ - طیف پیچیده پرتو گاما از فراورده‌های اولیه شکافت که به وسیله یک آشکارساز ژرمانیوم (منحنی بالا) و یک آشکارساز سوسوزن (منحنی پایین) مشاهده میشود [۲۴]. . . . . ۴۰
- شکل ۳-۲ - طرح ساده‌ای از اتاقک حباب [۲۴] . . . . . ۴۱
- شکل ۴-۲ - شتابدهنده TRISTAN . . . . . ۴۶
- شکل ۵-۲ - نمایی از آشکارساز AMY . . . . . ۵۱
- شکل ۶-۲ - نمایی دیگر از آشکارساز AMY . . . . . ۵۳
- شکل ۱-۳ - نمایشی نمادین از برهمکنش‌هایی که در لاگرانژی QCD وجود دارند. نمودار‌هایی که با  $q\bar{q}$  و GG مشخص شده اند به ترتیب انتشار دهنده های کوآرک و گلوئون هستند. خود برهم‌کنش‌های دو گانه و چهارگانه راس های گلوئون نیز نشان داده شده اند. . . . . ۵۶
- شکل ۲-۳ - (a) عبارت های ۱ و ۲ حلقه ای  $\alpha_s$  به ازای مقادیر مختلف  $\Lambda$ . (b) نسبت مقادیر ۱ حلقه ای به ۲ حلقه ای برای مقادیر مختلف [۳۲ A] . . . . . ۶۰
- شکل ۳-۳ - پوشش بار در اطراف الکترون به دلیل صدور فوتون توسط الکترون اصلی و تشکیل زوج های متعدد الکترون-پوزیترون . . . . . ۶۲
- شکل ۴-۳ - بارهای مثبت به الکترون نزدیکترند . . . . . ۶۲
- شکل ۵-۳ - افزایش بار و ثابت پیوندی در انرژی های بالا . . . . . ۶۲
- شکل ۶-۳ - اندازه گیری بار در انرژی پایین (تصویر بالا) و اندازه گیری بار در انرژی زیاد (تصویر پایین) . . . . . ۶۳
- شکل ۷-۳ پوشش بار الکتریکی در الکترو دینامیک کوانتومی . . . . . ۶۴
- شکل ۸-۳ پراکندگی تامسون . . . . . ۶۵
- شکل ۹-۳ پراکندگی پایون - پروتون . . . . . ۶۶
- شکل ۱۰-۳ پراکندگی رادرفورد . . . . . ۶۷
- شکل ۱۱-۳ مجموعه نمودار های فاینمن برای مرتبه  $\alpha^2$  در پراکندگی رادرفورد . . . . . ۶۸
- شکل ۱۲-۳ تصحیح انتشارگر شکل (۳-۱۰) . . . . . ۶۹

- شکل ۳-۱۳ صدور گلوئون از یک کوارک یا پاد کوارک . . . . . ۷۱
- شکل ۳-۱۴ تصحیح انتشارگر گلوئونی . . . . . ۷۲
- شکل ۳-۱۵ تصحیح برای فرایند  $G \rightarrow q + \bar{q} + \gamma^*(Q)$ . شکل های ۱۲ تا ۱۹ برای باز بهنجارش تابع موج به کار میروند. تصحیحات بطور کامل برای تابع موج گلوئون نشان داده نشده است. . . . . ۷۴
- شکل ۳-۱۶ - یک رویداد دو جتی [۴۱]. . . . . ۷۵
- شکل ۳-۱۷ - تصویر یک رویداد سه جتی در آشکارساز [۴۱]. . . . . ۷۶
- شکل ۳-۱۸ - رویداد چهار جتی [۴۱]. . . . . ۷۷
- شکل ۴-۱ - فراوانی رویدادهای دو جتی به ازای  $y_{cut}$  های مختلف . . . . . ۹۰
- شکل ۴-۲ - فراوانی رویدادهای سه جتی به ازای  $y_{cut}$  های مختلف . . . . . ۹۰
- شکل ۴-۴ - فراوانی رویدادهای پنج جتی به ازای  $y_{cut}$  های مختلف . . . . . ۹۱
- شکل ۴-۵ - فراوانی رویدادهای دو، سه، چهار و پنج جتی به ازای  $y_{cut}$  های مختلف [۵۶]. . . . . ۹۲
- شکل ۴-۷ - میانگین تکانه ذرات نهایی، میانگین تکانه طولی، میانگین تکانه عرضی و میانگین مجذور تکانه عرضی . . . . . ۹۷
- شکل ۴-۸ - میانگین مجذور تکانه عرضی در صفحه رویداد و عمود بر صفحه رویداد برحسب تابعی از انرژی مرکز جرم  $W$  در انرژیهای مختلف [۶۴]. . . . . ۹۹
- شکل ۴-۹ - توزیع تکانه طولی در انرژیهای مختلف . . . . . ۱۰۰
- شکل ۴-۱۰ - توزیع تکانه عرضی در انرژیهای مختلف . . . . . ۱۰۱
- شکل ۴-۱۱ - توزیع مربع تکانه عرضی در انرژیهای مختلف . . . . . ۱۰۱
- شکل ۴-۱۲ - فرایند  $q\bar{q}g \rightarrow e^+e^-$  در دستگاه مرکز جرم [۶۷]. . . . . ۱۰۲
- شکل ۴-۱۳ - سطح مقطع دیفرانسیلی رویدادهای سه جتی نسبت به متغیر  $X_T^2$ . نتایج تجربی با مدل QCD (منحنی تیره پر رنگ) مقایسه می شوند [۶۹]. . . . . ۱۰۷
- شکل ۴-۱۴ - سطح مقطع دیفرانسیلی رویدادهای سه جتی نسبت به متغیر  $\theta$ . نتایج تجربی با مدل QCD (منحنی تیره پر رنگ) مقایسه . . . . . ۱۰۹



- شکل ۴-۱۵ - سطح مقطع دیفرانسیلی رویدادهای سه جتی نسبت به متغیر  $P_T^2$ . نتایج تجربی با مدل QCD (منحنی تیره پررنگ) . . . . . ۱۱۰
- شکل ۴-۱۶ - طیف  $\xi$ ی اندازه گیری شده در انرژیهای ۲/۲، ۶/۶، ۲/۲، ۳/۳، ۴/۴ و ۸/۸ GeV برای داده های BES. منحنی تیره پررنگ نتایج QCD را نشان میدهد. [۳۵] . . . . . ۱۱۳
- شکل ۴-۱۷ - طیف  $\xi$ ی اندازه گیری شده در انرژی ۶۰ GeV برای داده های AMY . . . . . ۱۱۴
- شکل ۴-۱۸ - طیف  $\xi$ ی اندازه گیری شده در انرژی ۹۱ GeV برای داده های LEP [۳۵]. منحنی تیره پررنگ نتایج QCD را نشان می دهد. . . . . ۱۱۵
- شکل ۴-۱۹ - طیف  $\xi$ ی اندازه گیری شده در انرژی ۶۰ GeV برای داده های AMY [۷۳]. . . . . ۱۱۷
- شکل ۴-۲۰ - طیف  $\xi$ ی اندازه گیری شده در انرژی های متفاوت [۷۳]. . . . . ۱۱۸
- شکل ۴-۲۱ - طیف  $\xi^*$  در انرژی های متفاوت [۸۰-۸۳]. . . . . ۱۱۹
- شکل ۴-۲۲ - توزیع مقیاس جت،  $Q_{jet}$ ، برای یک رویداد سه جتی با استفاده از داده های AMY . . . . . ۱۲۱
- شکل ۴-۲۳ - توزیع تراست در مرتبه های LO (خط نقطه چین)، NLO (خط تیره) و NNLO (خط توپر) و مقایسه آن با داده های تجربی AMY در  $Q=60$  GeV [۶۹]. . . . . ۱۲۶
- شکل ۴-۲۴ - توزیع جرم جت سنگین در مرتبه های LO (خط نقطه چین)، NLO (خط تیره) و NNLO (خط توپر) و مقایسه آن با داده های تجربی AMY در  $Q=60$  GeV [۶۹]. . . . . ۱۲۷
- شکل ۴-۲۵ - توزیع پارامتر C در مرتبه های LO (خط نقطه چین)، NLO (خط تیره) و NNLO (خط توپر) و مقایسه آن با داده های تجربی AMY در  $Q=60$  GeV [۶۹]. . . . . ۱۲۸
- شکل ۴-۲۶ - وابستگی مقدار برازش شده  $\alpha_s$  و همچنین  $\chi^2$  به مقیاس بازبهنجارش  $x_{\mu}$  [۶۹] ۱۳۰
- شکل ۴-۲۷ - مقایسه مقدار اندازه گیری  $\alpha_s$  AMY همراه با مقدار آزمایشات مختلف [۶۹] ۱۳۱

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱ - ذرات بنیادی مدل استاندارد و خصوصیات آنها (اعداد داخل پرانتز جرم ذرات بر حسب $GeV/C^2$ می‌باشند).	۱۰
جدول ۱-۴ - مقادیر $\alpha_s$ به ازای $Y_{cut}$ های مختلف بر طبق سطح مقطع دیفرانسیلی رویدادهای سه جتی نسبت به متغیر $X_T^2$ .	۱۰۷
جدول ۲-۴ - مقادیر $\alpha_s$ به ازای $Y_{cut}$ های مختلف بر طبق سطح مقطع دیفرانسیلی رویدادهای سه جتی نسبت به متغیر $\theta$ .	۱۰۹
جدول ۳-۴ - مقادیر $\alpha_s$ به ازای $Y_{cut}$ های مختلف بر طبق سطح مقطع دیفرانسیلی رویدادهای سه جتی نسبت به متغیر $P_T^2$ .	۱۱۱

جدول ۴-۴ - مقادیر  $\Lambda_{\text{eff}}$  برازش داده شده . خطای اول آماری و خطای دوم سیستماتیک

است [۷۲] ..... ۱۱۶

جدول ۴-۵ - ثابت جفت شدگی قوی مربوط به متغیر های شکل رویداد و  $x_{\mu}$  متناظر با این رویدادها

( $x_{\mu}$ ی که در آن  $\chi^2$  مینیمم می شود) ..... ۱۳۰

# چکیده

نظریه کوانتومی رنگ به عنوان نظریه ای قابل قبول جهت توصیف برهمکنش های بین کوارک ها و گلوئون ها بیان می شود. این نظریه، برهمکنشهای قوی بین کوارکها را توسط مبادله گلوئونها (که بوزونهای پیمانه ای بدون جرم هستند) توصیف می کند. در این نظریه ثابت پیوندی قوی به انرژی بستگی دارد، یعنی برای فواصل بزرگ (انرژی پایین)، واگرا و برای فواصل کوتاه (انرژی زیاد) کوچک می شود. بنابر این می توان در انرژی های بالا از محاسبات اختلالی برای اندازه گیری  $\alpha_s$  استفاده کرد. اما در تجربه و مبانی آزمایشگاهی این نظریه معمولاً قابل استفاده نیست و باید مبانی پدیده شناسی را جهت توصیف بهتر آن بکار برد. برای این منظور نابودی الکترون-پوزیترون صریح ترین وسیله را برای تحقیق درباره مبانی نظریه QCD ایجاد می کند و فرصتی مناسب را برای اندازه گیری ثابت جفت شدگی قوی بوجود می آورد.

در این پایان نامه ابتدا توزیع اندازه حرکت هادرون های نهایی را جهت بررسی تابش گلوئون محاسبه خواهیم کرد. برای این منظور رویداد های دو جتی و سه جتی را با استفاده از الگوریتم JADE تفکیک می کنیم. سپس با توجه به رابطه Altarelli - Parisi،  $\alpha_s$  را در مرتبه اول اندازه گیری می کنیم. در ادامه با استفاده از طیف  $\xi$ ، محاسبه  $\Lambda_{\text{eff}}$  و در نظر گرفتن معادله گروه بازبهنجارش (Renormalization Group Equation, RGE)،  $\alpha_s$  را در مرتبه سوم اندازه گیری می کنیم. سرانجام  $\alpha_s$  را با توجه به رویداد های سه جتی و مشاهده پذیر های شکل رویداد (event shape variables)، تا مرتبه سوم محاسبه خواهیم کرد.

## مقدمه

مدل استاندارد فیزیک ذرات، در حال حاضر اساسی‌ترین مدلی است که برهمکنش اساسی درون عالم را توضیح می‌دهد. سه نیرو از چهار نیروی اصلی، الکترومغناطیسی، نیروی ضعیف و قوی در این مدل آمده است (جاذبه را معمولاً در نظر نمی‌گیرند زیرا هیچگونه توصیف نظریه میدان کوانتومی‌ای ندارد و شدت (قدرت) آن در این مقیاس بسیار ضعیف است). نظریه میدانی یکپارچه‌ای که تحت عنوان "نظریه الکتروضعیف"<sup>۱</sup> شناخته شده است، الکترومغناطیس و نیروهای ضعیف را شرح می‌دهد. نظریه میدانی جداگانه‌ای که تحت عنوان دینامیک کوانتومی رنگ<sup>۲</sup> (QCD) شناخته شده است، نیروی قوی را توضیح می‌دهد. این نظریه برهمکنش‌های کوارک‌ها را (تنها فرمیون‌های بنیادی‌ای که نیروی قوی را تجربه می‌کنند)، و گلوئون‌ها (بوزون‌های که عامل انتقال نیروی قوی هستند) را توصیف می‌کند.

پیش‌بینی‌هایی که بر مبنای QCD صورت می‌گیرد، بر یک پارامتر بنیادین یعنی قدرت جفت شدگی بین پارتون‌ها (کوارک‌ها و گلوئون‌ها) استوار است و آن را ثابت جفت شدگی نیروی قوی می‌نامند. این پارامتر را با علامت  $\alpha_s$  نشان می‌دهند. مقدار  $\alpha_s$  را می‌توان با استفاده از برهمکنش‌هایی که شامل کوارک‌ها و گلوئون‌ها است، اندازه‌گیری نمود. رایج‌ترین روش اندازه‌گیری  $\alpha_s$  از

---

<sup>۱</sup> - نظریه‌ای که هم نیروی الکترومغناطیسی و هم نیروی هسته‌ای ضعیف را شرح می‌دهد

<sup>۲</sup> - نظریه‌ای که عملکرد نیروی هسته‌ای قوی را شرح می‌دهد

طریق آزمایشاتی است که در آن دو ذره به عنوان مثال (الکترون و پوزیترون) در یک شتاب دهنده به انرژیهای بالایی می رسند که پس از برخورد باعث تولید کوارک می شوند. این کوارک ها پس از فرایندی موسوم به هادرونی شدن به هادرون های نهایی تبدیل می شوند. این هادرون ها معمولا در جهت هایی تولید می شوند که جهت اولیه تولید کوارک یا گلوئون مادر می باشد. هر یک از این جهت ها به تولید یک جت منجر می شود. جت عبارتست از مجموعه ای از ذرات که در یک زاویه فضایی کوچک تولید می شوند. مشاهدات بر مبنای شمارش تعداد جت ها در (( رویدادهای هادرونی  $e^+e^- \rightarrow$ )) را می توان با پیش بینی های QCD برای تشخیص مقدار ثابت جفت شدگی قوی مقایسه نمود. در این پایان نامه به محاسبه ثابت جفت شدگی قوی با استفاده از داده های AMY می پردازیم.

در فصل اول ابتدا نحوه شکل گیری فیزیک ذرات بنیادی را به اختصار بیان خواهیم کرد و سپس به بحث درباره مدل استاندارد و دینامیک ذرات بنیادی می پردازیم. در ادامه، کوارکهای رنگی و قوانین بقای حاکم بر روابط ذرات بنیادی را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

فصل دوم نحوه آشکار سازی ذرات باردار و خنثی و چگونگی انتخاب رویدادهای مناسب را در آشکار ساز AMY بیان می کند. در این فصل برخی از آشکارسازهایی را که در فیزیک انرژی زیاد مورد استفاده قرار می گیرند بررسی می کنیم و سپس به معرفی آشکارساز AMY خواهیم پرداخت و شکل هایی از این آشکار ساز با توضیحاتی در مورد اجزای آن نیز در این فصل ارائه شده است.

فصل سوم به بررسی نظریه کوانتومی رنگ اختلالی، لاگرنژی QCD و مقایسه ثابت جفت شدگی QCD و QED اختصاص دارد. تحلیل رویدادهای چند جتی نیز بخش دیگری از این فصل را تشکیل می دهد.

در فصل چهارم ثابت پیوندی قوی را به روش های گوناگون محاسبه می کنیم. ابتدا دستگاه مرکز جرم که یک دستگاه مختصات مطلوب در بررسی برهم کنش های هادرونی می باشد، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. با استفاده از الگوریتم JADE تعداد جت های هر رویداد را مشخص می کنیم و سپس با استفاده از رویدادهای سه جتی به محاسبه  $\alpha_s$  را در مرتبه اول (Leading Order)، مرتبه دوم

(Next Leading Order) و مرتبه سوم (Next to Next Leading Order) با روشهای

متفاوت زیر می پردازیم:

۱- محاسبه ثابت جفت شدگی قوی با استفاده از اندازه حرکت عرضی و روش Altarelli-

Paris

۲- محاسبه ثابت جفت شدگی قوی با استفاده از طیف تکانه و معادله گروه

بازبنجار (Renormalization Group Equation, RGE)

۳- محاسبه ثابت جفت شدگی قوی با استفاده از مشاهده پذیرهای سه جتی و متغیرهای شکل

رویداد

## فصل اول

# مقدمه‌ای بر فیزیک ذرات بنیادی

### ۱-۱- پیشگفتار

هر کس به دلخواه می‌تواند آغاز فیزیک ذرات بنیادی را به زمانی نسبت دهد، اما میتوان گفت فیزیک ذرات بنیادی در سال ۱۸۹۷ با کشف الکترون به وسیله ی تامسون متولد شد.

کشف نوترون در سال ۱۹۳۲ به وسیله چادویک، پایان دوره‌ای بود که به آن فیزیک ذرات بنیادی کلاسیک گفته می‌شد. پیش از آن، فیزیک اینقدر ساده و قانع کننده به این پرسش پاسخ نداده بود که " ماده از چه ساخته شده است". در سال ۱۹۳۲ ماده تماماً از پرتون ها ، نوترون ها و الکترون ها ساخته شده بود، اما زمینه ایده هایی که در دوره میانی (۱۹۶۰-۱۹۳۰) در فیزیک ذرات بنیادی مطرح می شد، چیده شده بود؛ مزون یوکاوا ، پوزیترون دیراک و نوترینوی پائولی .

یوکاوا در سال ۱۹۳۴ نخستین نظریه ی شایان توجه نیروی قوی را ارائه کرد. یوکاوا فرض کرده بود که پروتون و نوترون به وسیله ی نوعی میدان به یکدیگر جذب میشوند. این میدان باید کوانتیده شود و یوکاوا پرسیده بود که خواص کوانتوم آن چیست؟



ذره ای که تبادل آن، ویژگی های شناخته شده ی نیروی قوی را پدید آورد چه خصوصیتی باید داشته باشد؟ برد کوتاه نیرو نشان می داد که این ذره ی واسطه ، خیلی سنگین است. یوکاوا محاسبه کرده بود که جرم آن نزدیک به ۳۰۰ برابر جرم الکترون و یا حدود یک ششم جرم پروتون است. چون از نظر جرم این ذره بین الکترون و پروتون واقع می شد، آن را مزون ( یعنی ذره ی میانه) نامیدند.

روند کشف پادذرات بین سالهای ۱۹۳۰ تا ۱۹۵۶ تکمیل شد. دیراک معادله خود را در سال ۱۹۲۷ برای توصیف الکترون های آزاد که انرژی آنها از فرمول  $E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4$  بدست می آید، ارائه کرد.

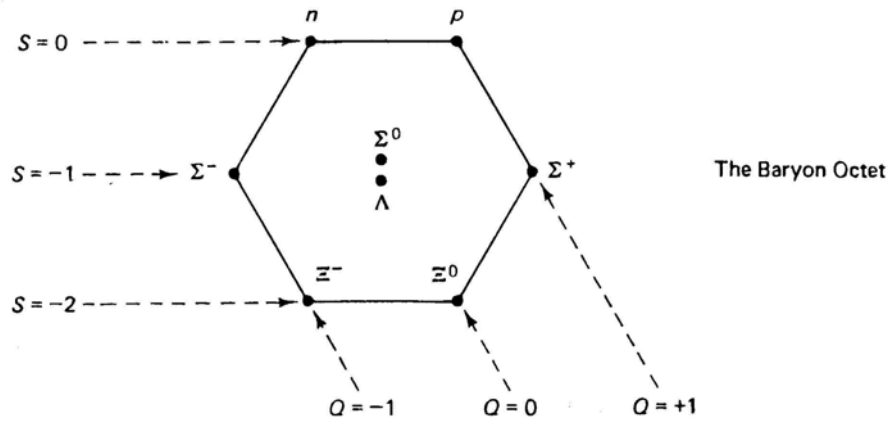
اما تفسیر دیراک برای ویژگی در دسرزای معادله خود که همان جوابهای منفی انرژی معادله است ، آن بود که ترازهای انرژی منفی فعلی با یک " دریای " بی نهایت از الکترون ها پر شده اند، از این رو یک " حفره در دریا" همچون یک ذره معمولی با انرژی مثبت و بار مثبت عمل می کرد همانند جرم خود الکترون - ۲۰۰۰ برابر سبکتر از پروتون . چنین ذره ای در آن زمان شناخته شده نبود و به نظر می رسید نظریه دیراک با مشکل روبرو شده است. اما در اواخر سال ۱۹۳۱ با کشف پوزیترون به وسیله آندرسون همان چیزی که دیراک می خواست پیدا شد.

در دههٔ چهل میلادی ، استوکلبک و فاینمن تفسیری بسیار ساده تر و متقاعد کننده تر از ترازهای انرژی منفی ارائه کردند. آنها جوابهای منفی انرژی را به صورت ترازهای انرژی مثبت ذره ای دیگر ( پوزیترون) بیان کردند. پاد پروتون نخستین بار در سال ۱۹۵۵ در آزمایشگاه برکلی مشاهده شد و پاد نوترون ( با بار خنثی) سال بعد در همانجا کشف شد.

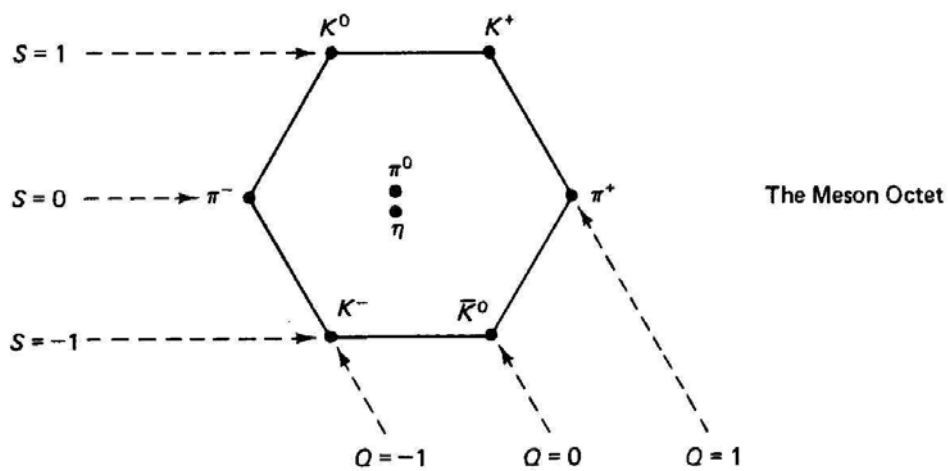
در سال ۱۹۶۰ فیزیک هادرون ها واقعاً به هرج و مرج کشیده شده بود. کل ذرات دارای برهمکنش قوی به دو خانواده ی بزرگ تقسیم شده بود - باریون ها و مزون ها- و اعضای هر خانواده از نظر

بار الکتریکی، شگفتی و جرم از هم مشخص می شدند. در سال ۱۹۶۰ ذرات بنیادی، جدول تناوبی خاص خود را انتظار می کشیدند.

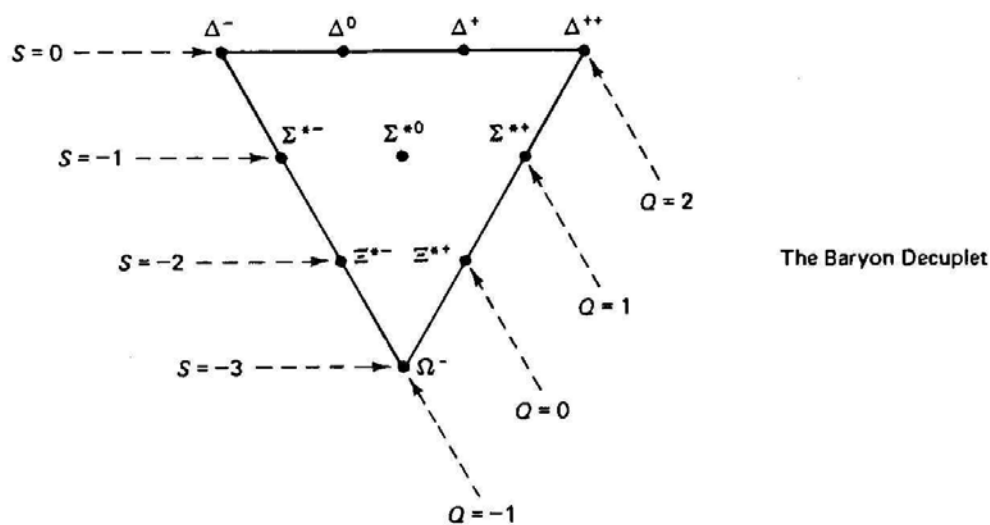
در سال ۱۹۶۱ موری گلن، اصطلاح راه هشت گانه ی خود را ارائه کرد. در راه هشت گانه، باریون ها و مزون ها بسته به بار الکتریکی و شگفتی خود به شکل های هندسی مرتب می شوند. در سال ۱۹۶۴، ذره ی، امگای منفی، دقیقاً به همان صورت که گلن پیش بینی کرده بود کشف شد.



هشت تایی باریون



هشت تایی مزون



ده تایی باریون

درک اینکه چرا هادرون‌ها در الگوی شگفت آور راه هشت گانه جای می‌گیرند در ۱۹۶۴ بدست آمد یعنی هنگامی که گلن و شوایگ مستقلاً پیشنهاد کردند که تمام هادرون‌ها در واقع از ذرات بنیادی تری به نام کوارک تشکیل شده‌اند. طی دهه گذشته، طبیعت با استفاده از پراکندگی ذرات بنیادی در انرژی‌های بالا به منظور آشکار ساختن اسرار ماده و نیروها، مورد کاوش قرار گرفته است. ارتباط متمرکز از فیزیک ذرات بنیادی نظری و تجربی (آزمایشگاهی) در آنچه که امروزه مدل استاندارد (واکنش‌های الکتروضعیف و قوی) نامیده می‌شود برقرار شده است. بر اساس نظریه کوانتومی میدان، این امر پایه و اساس درک و فهم کنونی از تمامی ذرات بنیادی بوده و مشترکاً تمامی نیروهای شناخته شده به جز گرانش را توصیف می‌نماید. فرمیون با اسپین نیمه صحیح به عنوان سنگ بنای ساختار مواد و بوزون‌ها با اسپین صحیح، به عنوان واسطه‌های نیرو عمل می‌کنند. فرمیون‌ها به دو شکل یافت می‌شوند: لپتون‌ها و کوارک‌ها. این فرمیون‌ها متناسب با عدد کوانتومی نظیرشان، با نیروهای نشان داده شده توسط جفت شدگی و قدرت آن، در ارتباط می‌باشند. هر نیرو دارای بوزون‌های پیمانه‌ای خود به نام‌های فوتون در برهمکنش‌های الکترومغناطیسی،  $Z$  و  $W^\pm$  برای برهمکنش الکتروضعیف و گلوئون‌ها در واکنش قوی می‌باشد. تمامی این موارد در جدول ۱ خلاصه شده که شامل لیست عدد‌های کوانتومی مربوط نیز می‌باشد.

تلاش‌های بسیار زیادی هم به لحاظ فیزیک نظری و هم از نظر فیزیک آزمایشگاهی، (تجربی)، جهت کسب دانش و آگاهی در مورد اجزا تشکیل دهنده ماده و نیروها صورت گرفته است. در قسمت آزمایشگاهی این امر به طور عمده با پراکندگی ذرات از یکدیگر، مشاهده، تحلیل و درک آن بر حسب فرآیندهای بنیادین میان ذرات حاصل می‌گردد. این عمل بدون پیشرفت‌های نظری امری غیر ممکن

بود. محاسبات مبتنی بر تئوری اختلال نکته کلیدی جهت درک و فهم نتایج اندازه گیری ها می باشند. اندازه گیری دقیق تر نیازمند محاسبات دقیق تر می باشد و بالعکس. طی ۲۵ سال اخیر مشارکت های قابل توجهی در زمینه پراکندگی الکترون-پوزیترون با انرژی بالا به ویژه در نابودی آنها به انجام شده است. شتاب دهنده های بزرگ از قبیل PETRA، PEP، SLC، LEP، TRISTAN و دیگر شتاب دهنده ها با هدف برخورد الکترون و پوزیترون در انرژی های بالا ساخته شده اند. آشکار ساز های ذرات نصب شده، ذرات گسیل شونده از فرآیند های پراکندگی را اندازه گیری می کنند و بدین ترتیب نتایج ارزشمند بسیاری، به منظور تاکید بر صحت مدل استاندارد برای هر دو واکنش الکتروضعیف و قوی به دست آمده است.