دانشکده علوم پایه
گروه فیزیک

عنوان پایان نامه:

توصیف اختلالی طیف ذرات تولیدی از برهمکنش الکترون ـ پوزیترون در انرژی مرکز جرم 60 GeV

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
در رشته فیزیک گرایش ذرات بنیادی

استاد راهنما:
دکتر محمد ابراهیم زمردیان

استاد مشاور:
دکتر محسن سربیشه ای

نگارش:
سپیده شاهسوارانی

تابستان ۱۳۸۸

تقدیم به روح بزرگ **پدربزرگم**,که از او یکرنگی و صداقت را در زندگی آموختم.

تقدیم به **پدرم**, اسطوره پاکی و صداقت, تقدیم به او که بدون چشم داشت از هیچ کوششی برای موفقیتم فروگذار نکرد.

تقدیم به **مادرم**, اسطوره ایثار و محبت, تقدیم به او که پروانه وار گرد شمع موفقیتم سوخت تا زندگی خوب و آرامی را به من هدیه دهد.

تقدیم به **خواهرم**, سارا, او که از اولین روز زندگی ام با بودنش نقطه امیدم بود و از او درس های زیادی آموختم.

تقدیم به **همسرم**, میثم, که با حضورش به زندگی ام روحی تازه وتلاشی دوباره بخشید.

تقدیم به همه عزیزانی که در مسیرهای سخت زندگی روشنگر راهم بودند.

خداوند را شاکرم که به من توفیق داد بخشی از تحصیلاتم را در جوار ملکوتی و پر برکت امام رئوف, علی ابن موسی الرضا(ع), به انجام رسانم.

وظیفه خود می دانم از زحمات پدر و مادرم که همواره روشنگر راه های پر پیچ و خم زندگی ام بوده اند تشکر کنم.

از استاد عزیزم, جناب آقای دکتر محمد ابراهیم زمردیان, که در خلال انجام تحقیقات, من را از راهنمائی های ارزنده خود بهره مند داشتند, کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از اساتید ارجمند آقای دکتر سربیشه ای و آقای دکتر قدسی وسرکار خانم دکتر اسلامی که زحمت مطالعه این پایان نامه را پذیرفتند و درجلسه دفاع اینجانب شرکت داشتند سپاس گذارم.

در پایان از دوستان عزیزم که مرا در انجام این پایان نامه یاری نمودند, تشکر می کنم.

چکیده:

داده های بر هم کنش e^-e^+ در انرژی مرکز جرم 60 GeV مورد بررسی قرار می گیرند.این بررسی طیف انرژی (تکانه) را در مقیاس لگاریتمی برای آزمون نظریهٔ اختلالی QCD و همچنین تقریب هایی که برای بررسی داده ها بعد از هادرونی شدن لازم است,را شامل می شود.برای این منظور تقریب های مختلفی برای بررسی مدل اختلالی QCD ارائه شده اند,که در این پایان نامه به ذکر آن ها خواهیم پرداخت. برخی از این تقریب ها عبارتند از تقریب فانگ _ وبر و پیش بینی MLLA, نتایج فیزیکی این دو تقریب را با یکدیگر مقایسه خواهیم کرد. در نهایت کمیتی که مورد اهمیت واقع می شود,قلّه منحنی توزیع طیف است. این قله مربوط به تکانه های پائین است که در این تکانه ها, طیف مورد مطالعه توسط هادرون هائی که به کوارک های اولیه همبستگی دارند, تحت تأثیر قرار نمی گیرد.پس انتظار می رود نوع طعم کوارک در این بررسی اثر گذار نباشد.(این مسأله به عنوان پیش شرط LPHD در تقریب MLLA برای اعمال اختلال در محدوده x های ($x = \frac{p}{E_{beam}}$ $(E_{beam} = \frac{E_{c.m}}{2})$) کوچک منظور می شود.)

مقدمه

دنیای پیرامون ما پر از شگفتی و راز و رمز است و بشر به دلیل فطرت حقیقت جوی خود همواره به دنبال کشف چگونگی و چرایی پدیده‌های اطراف خود بوده است. از جمله چیزهایی که ذهن کنجکاو و جستجوگر آدمی سعی در درک آن داشته است، شناخت سنگ بنای این عالم است. سؤالی که با توجه به پیشرفتهای فوق العاده بشر در عرصه‌های گوناگون علمی هنوز پاسخ روشنی ندارد. پاسخ به این سؤال در حوزه علم فیزیک و به طور خاص‌تر در شاخه ذرات بنیادی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

اما قبل از اثبات وجود کوارکها در سال ۱۸۹۷ ذره ای به نام الکترون توسط تامسون کشف شد. ذره‌ای که تا به امروز هیچ ساختاری برای آن تعریف نگردیده است و همچنان عنوان بنیادی بودن را با خود به همراه دارد. چند دهه بعد که وجود پاد ذرات توسط دیراک به صورت تئوری مطرح گردید. شخصی به نام آندرسون برادر دو قلوی الکترون را در سال ۱۹۳۱ کشف کرد و آنرا پوزیترون نامید. شاید در آن زمان کسی تصور نمی‌کرد که با شتاب دادن به این ذره و پاد ذره‌اش در شتابدهنده‌های غول پیکر و برخورد دادن آنها با هم بتوان بسیاری از نظریات QCD که یک تئوری اختلالی و بهترین تئوری برای بررسی بر همکنشهای قوی است را نشان داد.

در اثر نابودی الکترون وپوزیترون یک جفت ذره و پاد ذره می‌تواند تولید شود. این ذره و پاد ذره می‌تواند یک جفت کوارک و پاد کوارک باشد. اما کوارکها به دلیل داشتن ویژگی حبس نمی‌توانند به صورت مجزا و مستقل وجود داشته باشند و آنچه که در آشکار سازها دیده می‌شود به شکل خوشه‌هایی از ذرات هادرونی هستند. که به آنها جتهای هادرونی می‌گویند. البته به دلیل اینکه این پدیده غیر اختلالی است، تئوری اختلالی QCD نمی‌تواند آنرا توجیح کند. لذا برای توصیف فرآیند هادرونی از مدلهای پدیده‌شناسی استفاده می‌شود. اما در این پایان‌نامه به بررسی طیف توزیع انرژی در مقیاس لگاریتمی با استفاده از تئوری اختلالیQCD و پیش بینی‌های مختلف برای وارد کردن بخش غیر اختلالی در توجیه رویدادهای مشاهده شده در آزمایش می‌پردازیم.

فصل اول به بحث و بررسی پیرامون مدل استاندارد و نظریه *QCD* می‌پردازد و همچنین به طور مختصر به نتایج حاصل از فرآیند نابودی الکترون و پوزیترون اشاره می‌کند.

فصل دوم نحوهٔ آشکارسازی ذرات باردار و خنثی و چگونگی انتخاب رویدادهای مناسب را در آشکارساز *AMY* بیان خواهد کرد. آشکارساز *AMY* در حلقه انباشت الکترون - پوزیترون شتابدهندهٔ *TRISTAN* قرار دارد، و بخشهایی از این آشکارساز با توضیحاتی راجع به اجزای آن نیز در این فصل ارائه شده است.

فصل سوم به بررسی طیف توزیع انرژی در مقیاس لگاریتمی مِی‌پردازیم و از تئوری‌های مختلف که در آن اصلاحات در فرضیه اختلالی *QCD* برای وارد کردن تصحیحات غیراختلالی آمده است برای برازش داده‌ها استفاده می‌کنیم. بدین ترتیب می‌توانیم میزان اعتبار تئوری‌های مختلف را نیز به دست آوریم. همچنین بر روی قله منحنی طیف توزیع انرژی در مقیاس لگاریتمی بحث کرده و میزان اعتبار فرضیه *LPHD* را نیز مورد بررسی قرار مِی‌دهیم.

فصل چهارم با استفاده از داده‌هائی که مربوط به برخورد الکترون-پوزیترن در انرژی *Gev 60* است طیف توزیع انرژی در مقیاس لگاریتمی را رسم کرده و برازش‌های مختلف بر مبنای تئوری‌های گفته شده در فصل سوم را بر روی داده‌های موجود انجام می‌دهیم. قله منحنی توزیع را برای داده‌ها به دست آورده و بر روی منحنی توزیع بحث می‌کنیم.آنچه را که به دست آوردیم با دستاوردهای دیگران در این انرژی مقایسه می‌کنیم و به نوعی کار خود را در این مقایسات تست می‌کنیم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول:

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- مدل استاندارد ۲

۱-۳- ذرات بنیادی ۳

۱-۴-اختلال QCD وگلوئون ۶

۱-۵- قوانین بقاء ۱۰

۱-۵-۱- قوانین بقای حاکم بر واپاشی‌ها ۱۰

۱-۵-۲- قوانین بقای تقریبی ۱۱

۱-۶- هادرونها ۱۳

۱-۶-۱- باریونها ۱۳

۱-۶-۲- مزونها ۱۵

۱-۶-۳- گلوبالها ۱۷

۱-۷- برخورد الکترون و پوزیترون ۱۷

۱-۸- تعریف جت ۲۳

فصل دوم:

۲-۱-مقدمه ۲۸

۲-۲- شمارشگر و سوزن ۲۸

۲-۳- آشکارسازهای نیمرسانا ۳۰

۲-۴- اتاقکهای حباب ۳۲

۲-۵- اتاقک جرقه ۳۴

۲-۶- آشکارساز AMY ۳۵

۲-۶-۱- ناحیه اندرکنش ۳۶

۲-۶-۲- دستگاه دریاب ذرات باردار..... ۳۸
۲-۶-۲- (لف) اتاقک ردیاب داخلی (ITC) ۳۸
۲-۶-۲- (ب) اتاقک رانشی مرکزی (CDC) ۴۰
۲-۶-۳- شمارنده بارش الکترومغناطیسی..... ۴۰
۲-۶-۴- سیم پیچ سیملوله ابررسانا..... ۴۳
۲-۶-۵- آشکارسازهای پایانه..... ۴۳
۲-۶-۶- جمع آوری و ثبت داده‌ها..... ۴۴
۲-۶-۷- شرایط انتخاب رویداد..... ۴۵

فصل سوم:

۳-۱- مقدمه..... ۴۷
۳-۲- مقایسه تئوری‌های در x های پائین..... ۴۹
۳-۲-۱- پیش بینی فانگ و وبر..... ۴۹
۳-۲-۲- پیش بینی MLLA..... ۵۳
۳-۳- ممان‌های توزیع ζ..... ۵۷
۳-۴- بررسی نحوه رفتار طیف..... ۵۹
۳-۵- بررسی ممان‌های توزیع ζ در MLLA-0 و MLLA-M و مقایسه با داده‌های تجربی..... ۶۵
۳-۶- بررسی بر روی ζ^* (قله منحنی توزیع انرژی مقیاس لگاریتمی) ۶۷
۳-۶-۱- مقادیر تجربی ζ^* برای ذرات باردار..... ۶۷
۳-۶-۲- براورد برای ζ^* در MLLA..... ۶۸
۳-۶-۳- برازش داده‌ها برای ζ^*..... ۷۰
۳-۶-۴- نقض ضریب مقیاس ثابت فرضیه LPHD..... ۷۲

فصل چهارم:

۴-۱-مقدمه..... ۷۵
۴-۲- رسم منحنی طیف توزیع انرژی مقیاس لگاریتمی ζ..... ۷۵
۴-۳- برازش داده‌ها برای توزیع ζ_p..... ۸۰
۴-۳-۱- برازش منحنی گاؤسی..... ۸۰
۴-۳-۲- برازش منحنی شبه گاؤسی..... ۸۲
۴-۴- محاسبه ممان‌های توزیع ζ_p..... ۸۲
۴-۴-۱- به دست آوردن ممان ها از طریق محاسبه مستقیم دادها..... ۸۲
۴-۴-۲- تغییرات ممان های توزیع ζ بر حسب انرژی با استفاده از معادلات فانگ – وبر..... ۸۹
۴-۵- فاکتور مقیاس (scale factor) ۹۳

۴-۶-بحث ونتیجه گیری.....۹۷
پیوست(برنامه های کامپیوتری)
مراجع

فصل اول

مدل استاندارد

۱-۱- مقدمه

هدف فیزیک ذرات مطالعهٔ بنیادی ترین جزء ماده و بررسی برهمکنشهای زیر اتمی است. و تلاش می کند تا توصیفی برای ماهیت جهان ارائه دهد. اخیراً پیشرفت سریعی در درک قوانین حاکم بر طبیعت بدست آمده است. در دههٔ ۷۰، QCD [۱] به عنوان تئوری که برهمکنش بین کوارکها و گلوئونها را توصیف می کند، گسترش یافت. کشف بردارهای بوزونی (Z^0،$W^{\pm}$)، در سال ۱۹۸۳ در سرن، موجب حمایت از تئوری الکتروضعیف شد. اکنون این تئوری با تئوری الکتروضعیف مدل استاندارد را تشکیل می دهد.

یکی از ایده‌های آزمایشگاهی برای مطالعهٔ برهمکنشهای الکتروضعیف و برهمکنشهای قوی نابودی الکترون - پوزیترون در انرژی های بالاست. برخورد الکترون - پوزیترون در انرژی های بالا راهی است برای تولید بوزونهای پیمانه ای $W^{\pm}$ و Z^0.

تحقیقات تجربی در زمینهٔ فیزیک ذرات در انرژی های بالا با شتابدهنده های بسیار بزرگ و تجهیزات آشکارسازی مربوط به آنها همراه است. ما برای نفوذ به درون هسته اتم و شناخت ذرات سازندهٔ آن و درک ساختار فوق ریز این ذرات، باید از انرژی های بالا استفاده کنیم. هر چه قدرت شتابدهنده های ما بیشتر شود و ما بتوانیم ذرات را با انرژی بیشتری به هم برخورد دهیم. قادر خواهیم بود به عمق بیشتری از ذره نفوذ کنیم و از طرفی برای تولید و مطالعهٔ ذرات بنیادی، که در مقایسه با ابعادشان دارای جرمهای فوق العاده بالایی هستند، نیازمند به انرژی های بالا هستیم.

در این فصل برخی اطلاعات پایه درباره مدل استاندارد [۱] و بر هم کنش بین e^-e^+ را ارائه می دهیم.

۱-۲- مدل استاندارد

مدل استاندارد با ذرات بنیادی و برهمکنشهای بین آنها سروکار دارد. QCD در مقایسه با QED[۲] به صورت یک تئوری پیمانهجای فرمول بندی می شود. این تئوری برهمکنشهای قوی بین کوارکها را توسط مبادله گلوئونها (که بوزونهای پیمانه ای بدون جرم هستند) توصیف می کند. گلوئونها بار رنگ حمل می کنند و بنابراین گلوئونها می توانند مستقیماً به گلوئونهای دیگر بپیوندند. در نتیجه پیوند قوی

1-Quantum Chromodynamics
2-Quantum electrodinamic

(α_s) به انرژی بستگی پیدا می کند. برای فواصل بزرگ واگرا و برای فواصل کوتاه کوچک می شود. لذا هرگز نمی توان کوارکها را به صورت آزاد مشاهده کرد.

برهمکنشهای الکترومغناطیسی و ضعیف در این مدل توسط تئوری گلاشو[۳]، واینبرگ[۴] و سلام[۵] (GWS) بررسی می شود که در دهه شصت توسط این افراد به صورتی که امروزه از آن استفاده می گردد ارائه شد. با استفاده از این تئوری واپاشی های هسته ای را می توان به خوبی توصیف کرد. همچنین واپاشی های ضعیف میون و پایون و بسیاری از ذرات دیگر را می توان به طور کامل توجیح کرد. در تئوری الکترو ضعیف چهار ذره واسطه معرفی می شوند سه تا از این ذرات واسطه بوزونهای برداری $W^{\pm}$ و Z^0 هستند که به برهمکنشهای ضعیف مربوط می شوند. چهارمین ذره واسطه فوتون γ است که در برهمکنشهای الکترومغناطیسی مسئول انتقال نیرو بین ذرات باردار است.

در مدل استاندارد جایی برای برهمکنشهای گرانشی وجود ندارد[۲].

۱-۳ - ذرات بنیادی

ذرات مدل استاندارد شامل لپتونها، کوارکها و بوزونها هستند، که به همراه خصوصیاتشان در جدول (۱-۱) نمایش داده شده اند. همه مواد ترکیبی ازفرمیونهای بنیادی با اسپین $\frac{1}{2}$ هستند. کوارکها حامل کسری از بار الکتریکی و لپتونها مانند الکترون و نوترینو حامل بار الکتریکی کامل هستند. شش کوارک (u,d,s,c,t,b) در سه خانواده قرار می گیرند به گونه ای که اختلاف باری که بین اعضای هر خانواده وجود دارد یک واحد باشد. به موازات این سه خانواده کوارکی سه خانواده لپتونی وجود دارد (e,μ,τ).

1-Glashow
2-Weinberg
3-Salam

جدول(۱-۱) ذرات بنیادی مدل استاندارد و خصوصیات آنها

(اعداد داخل پرانتز جرم ذرات را برحسب GeV/c^2)

	فرمیون اسپین $\frac{1}{2}$						
بار الکتریکی کوارکها	کوارکها			لپتونها			بار الکتریکی لپتونها
	u (4×10^{3}) *up*	c (1.5) *charm*	t (174) *top*	e (5.1×10^{4}) *electron*	μ (0.106) *muon*	τ (1.784) *tau*	
+2/3							*-1*
-1/3	d (7×10^{3}) *down*	s (0.15) *strang*	b (5.1) *beauty*	ν_e $(<2\times10^{-8})$ *electron neutrino*	ν_μ $(<3\times10^{-4})$ *muon neutrino*	ν_τ $(<4\times10^{-2})$ *tau neutrino*	*0*

بوزون اسپین ۱		
em.	*weak*	*strong*
γ	$w^{\pm}, z^{0}$	*gluons*

هر خانواده شامل یک ذره باردار منفی و یک نوترینو می باشد. هر کوارک با سه رنگ متفاوت وجود دارد که سبز و آبی و قرمز نامیده می شود. در حالیکه لپتونها هیچ رنگی ندارند مجموعه کوارکها و لپتونها ۲۴ ذره بنیادی را تشکیل می دهند. به همین تعداد نیز پاد ذراتی با جرم مساوی اما با رنگ مخالف وجود دارد. در ترکیب کوارکی بعضی از باریونها (Δ^{++} که ازسه کوارک u با بار $\frac{2}{3}$ ، Ω^{-}که از سه کوارک s با بار $-\frac{1}{3}$ ساخته شده اند) سه کوارک یکسان در یک حالت وجود دارند، که نقض آشکاری از اصل طرد پائولی است (این اصل بیان می کند که حضور دو ذره یکسان با اسپین نیمه صحیح دریک حالت ممنوع است). این ذرات باید صاحب یک عدد کوانتومی جدید باشند نام این عدد کوانتومی را رنگ نامیدند، و به آن سه مقدار متفاوت سبز، قرمز و آبی نسبت می دهند[۳]. به این ترتیب سه کوارک همنوع می توانند در یک باریون وجود داشته باشند. نسبت دادن رنگ به کوارکها به معنی این نیست که واقعاً یک کوارک رنگی است. پاد کوارکهاحامل پاد رنگ هستند و اگر q و $\bar{q}$ که یک مزون را می سازند، جفت رنگ و پاد رنگ مناسبی باشند، رنگها می توانند یکدیگر را حذف کنند و مزون بی رنگی را بسازند. همانند مزونها، باریونها نیز هیچ رنگ خالصی ندارند. وجود پاد ذرات ویژگی عمومی فرمیونها و بوزونها است. پاد ذرات جرم یکسانی با ذرات دارند، اما دارای بار وگشتاور دو قطبی مغناطیسی متضادی هستند. فرمیونها و پاد فرمیونها فقط می توانند به صورت جفت خلق یا نابود شوند. به طورنظری، حالتهای، ذره - پاد ذره، توسط همیوغ، ذره - پاد ذره، حذف می شوند. اگر به هر فرمیون عددفرمیونی ۱+ و به هر پاد فرمیون عددفرمیونی ۱- نسبت دهیم در فرایند خلق و نابودی زوجهای فرمیونی، عدد فرمیونی پایسته می ماند. بنابراین همیوغ، ذره - پاد ذره، برای فرمیونها یک پاد ذره با بار و گشتاور دو قطبی مغناطیسی و عدد فرمیونی مخالف را می دهد. اما جرم و اسپین برای فرمیونها و پاد فرمیونها یکسان است. بوزونهای بنیادی حامل چهار نوع نیرو (یا برهمکنش بنیادی مجزا) هستند. نیروهای قوی عامل برهمکنش بین نوکلئون - نوکلئون و نوکلئون - مزون و به طور کلی کوارک - کوارک و کوارک - پادکوارک هستند. مزونها حامل بر همکنشهای قوی در مقیاس هسته ای هستند. این برهمکنشها در واقع برهمکنش بین کوارکها به علت تبادل گلوئون در تراز زیر هسته ای می باشند.

بر همکنشهای الکترومغناطیسی بانی نیروی بین ذرات باردار هستند و فوتونها در این برهمکنشها نقش واسطه را ایفا می کنند.

بیشتر واپاشی های ذرات مانند واپاشی های رادیو اکتیو، واپاشی میون وپایون و ... توسط برهمکنشهای ضعیف صورت می گیرد. $w^{\pm}$ و z^{0} واسطهٔ این بر همکنشها هستند.

نیروی گرانشی بین همه ذرات دارای جرم وجود دارد. اعتقاد بر این است که عامل این نیروها گراویتون باشد. ولی به دلیل کوچک بودن ذرات اثر گرانش در مقایسه با بقیه نیروها ناچیز است لذا واسطهٔ این نوع برهمکنش در جدول (۱-۱) وجود ندارد.

۱-۴ ـ اختلال QCD و گلوئون

همه برهمکنشها برحسب یک اصل پیمانه ای واحد میجتوانند توصیف شوند. سرچشمه اساسی همهٔ برهمکنشهای اصلی در ویژگی های ناوردایی یا تقارنها یافت می شود. با استفاده از فرمول بندی پیمانه ای و خصوصیات آنها به وجود نیروها و ویژگی های این نیروها پی می بریم. الکترودینامیک کوانتومی (QED) یک تئوری پیمانه ای است که توسط ناوردایی لورنتس تعیین می شود و با خاصیت ناوردایی پیمانه ای به فاز میدانهای باردار ملحق می شود. کوانتوم دینامیکی رنگ تئوری میدان برهمکنشهای قوی بین کوارکهاست که با تبادل بوزونهای پیمانه ای بدون جرم (گلوئون) صورت می گیرد. تشکیل تئوری پیمانه -ای برهمکنش ضعیف ، یعنی تنها برهمکنشی که می تواند طبیعت و ساختار کوارکها و لپتونها را تغییر دهد، نیازمند ترکیب با الکترومغناطیس درقالب یک تئوری پیمانه ای واحد است که بتواند هر دو را پوشش دهد.

تقارنهای پیمانه ای خاص و ناوردایی لورنتس، طبیعت و ساختار همه این برهمکنشها را مشخص می-کنند. فرایندهای پایه همه متناظر با تبادل یک کوانتوم میدان پیمانه ای می باشند و تعداد میدانهای پیمانه ای در هر حالت توسط گروه تقارنی پیمانه ای مشخص می شود. برای برهمکنش الکتروضعیف این گروه $SU(2)\times U(1)$ است. بنابراین این گروه تقارنی دارای چهار میدان پیمانه ای است که فرایندهای فیزیکی حاصل از تبادل هر کدام از این چهار پیمانه به شرح زیر می باشد:

تبادل یک فوتون در فرایندهای الکترومغناطیسی

تبادل یک $w^{\pm}$ باردار در فرایندهای ضعیف استاندارد

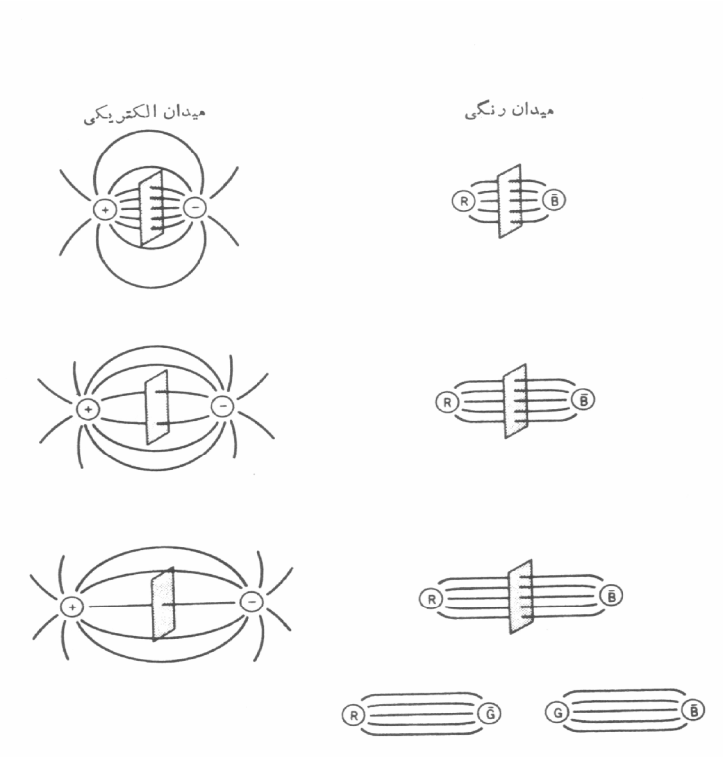
تبادل یک z^{0} خنثی در فرایندهای ضعیف جریان خنثی

برای برهم کنش قوی گروه پیمانه ای $SU(3)$ است. بنابراین این تئوری این گروه باید دارای هشت میدان پیمانه ای باشد. که این هشت میدان همان هشت گلوئونی هستند که مسئول تبادل رنگ بین کوارکها می باشند. میدانهای پیمانه ای در برهمکنشهای قوی باعث شده که نظریه کوانتومی میدان رنگ که توصیف کنندهٔ این برهمکنشها است با نظریهٔ مشابه خود یعنی نظریه کوانتومی میدان الکترومغناطیسی (QED) تفاوتهای برجسته ای داشته باشند. آنچه این دو نظریه را این چنین متفاوت می سازد این است که خود فوتونها دارای بار الکتریکی نیستند و بنابراین تحت تأثیر میدان الکتریکی قرار نمیجگیرند؛ اما در مقابل، گلوئونها حامل رنگ خالص هستند و بنابراین مستقیماً با کوارکها برهمکنش می کنند. یعنی یک کوارک می تواند یک گلوئون گسیل کند و سپس با آن برهمکنش و گلوئونی اضافی تولید کند؛ اما یک فوتون نمی تواند با بارهای نزدیک به خود تبادل فوتون کند. گسیل گلوئونهای رنگی نشانه ای از عملکرد آزادی مجانبی[۶] است. الکترونی که فوتونهای مجازی گسیل می کند همچنان به صورت الکترونی با بار منفی باقی می ماند، اما یک کوارک که گلوئون مجازی گسیل می کند، باید بار رنگ خود را تغییر دهد. بنابراین بار رنگی کوارک روی کره ای به شعاعی از مرتبهٔ بزرگی یک هادرون (۰/۵ تا ۱ فرمی) پخش می شود. اگر کوارک دیگری در آن کره نفوذ کند، این میدان رنگی ناخالص به یک بر هم کنش کوارک - کوارک بسیار کاهش یافته منجر می شود. اگر بر هم کنش کوارک را روی یک شعاع کوچک در مقایسه با ۱ فرمی در نظر بگیریم، تنها کسر کوچکی از بار رنگی آن مشاهده می شود، و به نظر می آید بسیار ضعیف وتقریباً آزاد است.

1-Asymptotic freedom

طرز رفتار برهمکنشهای کوارک با افزایش فاصله را می توان با مقایسه با QED توجیه کرد. شکل (۱- ۱) اختلاف بین میدان الکتریکی گذرنده از هر سطح با میدان الکتریکی در آن نقطه متناسب است: بنابراین با افزایش فاصلهٔ بارها، چگالی خطوط میدان و میدان الکتریکی بین بارها کاهش می یابد. با در نظر گرفتن خطوط میدان الکتریکی به عنوان نمایش تبادل، فوتونهای مجازی بین بارها، فوراً مشخص می شود که چرا خطوط میدان QCD رفتاری متفاوت دارند. فوتونهای تبادل شده برهمکنش نمی کنند، در حالی که گلوئونهای تبادلی برهمکنش می کنند. در نتیجه برهمکنش گلوئون - گلوئون، خطوط میدان رنگ در یک لولهٔ باریک جمع می شوند. با افزایش فاصله، نیرو تقریباً ثابت می ماند، همچنانکه سعی می- کنیم جدایی را به فواصل بزرگ برسانیم، کار انجام شده از آستانهٔ تولید یک زوج $q\bar{q}$ تجاوز می کند و به حدی می رسد که منجر به تشکیل یک مزون می شود. بنابراین با صرف انرژی برای یک هسته، به منظور آزاد کردن کوارک، انتظار می رود مزونهای جدیدی خلق شوند و این همان پدیده حبس[۷] است که مشاهده می شود.

2-Confinemen



شکل ۱-۱ با افزایش فاصلهٔ دو بار نقطه‌ای، میدان الکتریکی کاهش می‌یابد. میدان رنگی با افزایش فاصله، ثابت می‌ماند سر انجام، تلاش برای جدا کردن کوارکها و ایجاد فواصل به اندازهٔ کافی بزرگ، منجر به تولید یک زوج جدید کوارک - پادکوارک می‌شود.

مقایسه طرز رفتار برهمکنشهای کوارکی با برهمکنش الکترومغناطیسی بین دو ذرهٔ باردار در می یابیم که: نیروی قوی نمی تواند متناسب با عکس مجذور فاصله باشد. و ظاهر شدن برهمکنشهای گلوئون - گلوئون هنگام افزایش فاصله بین دو کوارک نشان دهندهٔ افزایش ثابت پیوندی بر همکنش قوی است. در واقع ثابت پیوندی در برهمکنشهای قوی تابع انرژی است. در حالی که نیروی الکترومغناطیسی دارای یک ثابت پیوندی با مقدار $\alpha = \frac{1}{137}$ است.

۱-۵- قوانین بقاء

قوانین بقاء قوانین تجربی هستند که برای بیان الگوهای سازگار در فرایندهای فیزیکی مورد استفاده قرار می گیرند. معمولاً این قوانین علت رخ ندادن برخی از واکنشها را توصیف می کند.

برای مثال :

$n \to p^+ + e^- + \overline{\nu_e}$	مجاز	
$n + \nu_e \to p^+ + e^-$	مجاز	
$\mu^- \to e^- + \gamma$	غیرمجاز	نقض عددلپتونی الکترونی و میونی
$n + \nu_e \to p + \mu^-$	غیرمجاز	نقض عددلپتونی الکترونی و میونی

خطری که در زمینه استفاده از این قوانین وجود دارد. امکان دارد فرایندهای بسیار نادری وجود داشته باشند، که تا به امروز موفق به کشف آنها نشده باشیم و این فرایندها قوانین بقائی که در حال حاضر مورد قبول ما هستند را نقض کنند. اگر فرایندی یافت شود که حد اقل یکی از قوانین بقاء را نقض کند آن قانون بقاء به یک قانون بقاء تقریبی[۸] تنزل می یابد.

۱-۵-۱-قوانین بقای حاکم بر واپاشی ها

یکی از مهمترین خصوصیات عمومی مؤثر در ذرات بنیادی، تمایل به واپاشی است که ما اغلب آن را یک اصل جهانی می دانیم، که طبق این اصل هر ذره ای به ذرات سبکتر تجزیه می گردد مگر اینکه بعضی از قوانین بقأ از این عمل تجزیه جلوگیری نمایند. یکی دیگر از اهداف نظریه ذرات بنیادی محاسبهٔ

1-Approximate conservation law

زمان این واپاشی ها و همچنین محاسبهٔ احتمال واپاشی این ذرات به ذرات دیگر است. واپاشی هر ذره به وسیله یکی از سه نیروی اساسی (الکترومغناطیسی، قوی و ضعیف) کنترل می شود. برای مثال:

واپاشی قوی $\Delta^{++} \to \rho^{+} + \pi^{+}$

واپاشی الکترومغناطیسی $\pi^{0} \to \gamma + \gamma$

واپاشی ضعیف $\sum^{-} \to n + e^{-} + \nu_{e^{-}}$

مهمترین تفاوت تجربی بین واپاشی قوی، الکترومغناطیسی و ضعیف آن است که یک واپاشی قوی شامل زمانی در حدود $10^{-23}\,\mathrm{sec}$ صورت میگیرد، واپاشی الکترومغناطیس طی زمانی حدود $10^{-16}\mathrm{sec}$ انجام می شود و واپاشی ضعیف در حدود $10^{-13}\,\mathrm{sec}$ طول می کشد. البته وجود نوترینو در محصولات نهایی گواه دیگری بر ضعیف بودن واپاشی می باشد. از دیر باز می دانیم که ۹ قانون بقاء وجود دارد که واپاشی همه ذرات را کنترل می کند. این قوانین در جدول (۱-۲) تنظیم شده اند.

قوانین ۷، ۸ و ۹ در جدول (۱-۲) می توانند با یکدیگر ترکیب شوند، و یک قانون با محدودیت کمتر را به ما بدهند. همه این قوانین بقاء پیامدی از مدل استاندارد برهمکنشهای ذره ای هستند. مشاهده فرایندی که یکی از این قواعد را نقض کند گواهی برای وجود قوانینی آنسوی طبیعت مدل استاندارد خواهد بود. درون مدل استاندارد سه قانون عدد لپتونی (در صورتی که جرم نوترینوها صفرباشد) قوانین بقاء جداگانه ای هستند. در حالیکه جرم غیر صفر نوترینوها می تواند سه قانون ۷ و۸ و ۹ را در هر ترکیبی نقض کند. در حال حاضر نتایج جدید به دست آمده حاکی از آن است که نوترینوها دارای جرم هستند. اگر این نتایج تأیید شوند قوانین عدد لپتونی به قوانین بقاء تقریبی تنزل خواهندکرد.

۱-۵-۲-قوانین بقا تقریبی

این بحث قوانین و تقارنهایی را توصیف می کند که از نظر فیزیکدانها برای بعضی از واکنشها برقرار هستند. اما برای برهمکنشهایی که به آهستگی صورت می پذیرند (برهمکنشهای ضعیف) نقض می شوند. طعم کوارک یا نوع لپتون در طی یک فرایند قوی یا الکترومغناطیسی تغییر نمی کند اما در برهمکنشهای ضعیف بوزونهای $W^{\pm}$ و Z^{0} می توانند طعم کوارک یا نوع لپتون را تغییر دهند. بنابراین دراین نوع برهمکنشها بقا طعم نداریم. علاوه بر این در برهمکنشهای ضعیف ناوردایی پاریته، همیوغ بار و وارونی زمانی وجود ندارد. اما در فرایندهای قوی و الکترومغناطیسی این سه ویژگی برقرار می باشند.