دانشکده :فیزیک
گروه :فیزیک

پایان‌نامه کارشناسي ارشد

عنوان: تعیین ثابت پیوندي در برهم‌کنش‌هاي قوي با استفاده از توزیع‌هاي سه‌جتي و چهارجتي در نابودي الکترون-پوزیترون

اکرم اعتمادی امین

استاد راهنما:
پروفسور علي اکبر رجبي
پروفسور محمد ابراهیم زمردیان

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
اسفند ۱۳۸۹

پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده :فیزیک

پایان نامه ارشد خانم اکرم اعتمادی امین

تحت عنوان:

تعیین ثابت پیوندی در برهم کنش های قوی با استفاده از توزیع های سه جتی و چهار جتی با نابودی الکترون - پوزیترون

در تاریخ۸۹/۱۲/۲۲ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با

درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما:	امضاء	اساتید مشاور:	امضاء
نام و نام خانوادگی: دکتر علی اکبر رجبی		نام و نام خانوادگی:	
نام و نام خانوادگی: دکتر محمد ابراهیم زمردیان		نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور:	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی: دکتر مصطفی عنابستانی		نام و نام خانوادگی: دکتر بابک عبداللهی پور	عبداللهی پور
نام و نام خانوادگی: دکتر حسین موحدیان			
نام و نام خانوادگی:			
نام و نام خانوادگی:			

تقديم با عشق به

آستان پر مهر و محبت **مادر** عزيزم که پيوسته رفيق راهم بوده‌است

و روح بزرگوار **پدرم** که همواره يادش شوق علم اندوزي و اميد را در وجودم زنده نگه داشته‌است.

تقديم به

اساتيد گرامي‌ام، آيات تلاش و استواري، جناب آقاي پرفسور علي اکبر رجبي و پروفسور محمد ابراهيم زمرديان

و تقديم به

کسي که در ديار غربت همواره اميدوارانه به تدريس وتحصيل علم عشق مي‌ورزد، جناب آقاي دکتر شاهين آتشبار تهراني.

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدایی را که ذات او عین هستی است و هستی او مهر علم و نور است. درود خالقی را که به من توفیق داد تا در زمره پویندگان علم و معرفت باشم. باشد که این مجموعه هر چند ناچیز، قطره‌ای بر دریای بیکران علم بیفزاید. بی‌شک انجام این تحقیق بدون راهنمایی‌های بزگوارانی که در طی مسیر مرا یاری نمودند، میسر نبود.در این راه خود را مدیون اساتید گرانقدری می‌دانم که علم و اخلاق را به من آموختند. از زحمات بی دریغ و خالصانه اساتید گرانقدرم جناب آقای پروفسور علي اكبر رجبي و پروفسور محمد ابراهیم زمردیان که راهنمایی این پایان‌نامه را به عهده داشتند و با راهنمایی ها و مساعدت های ارزنده خود در تمامی مراحل انجام این پژوهش دلسوزانه مرا یاری نمودند تشکر و قدردانی می نمایم، سلامتی ایشان را از خداوند منان خواستارم و آرزومند توفیق روزافزون این اساتید ارزشمند می باشم. مراتب قدرانی خود را ازاستاد ان گرانقدر جناب آقای دکتر موحدیان و دکتر عنابستاني که

داوری پایان نامه را متقبل شدند ابراز مي‌دارم. از دوستان گرامی که در تهیه برنامه‌هاي نرم‌افزاري مورد نیاز این پایان نامه مرا یاري رسانیدند و همواره همراه و همگام من در پیمودن این راه بوده‌اند، مهندس امیر حسن‌نیا، مهندس مصطفي رهیده، وتمامي اساتیدي که از خارج از کشور با دادن اطلاعات و راهنمائي هاي خود مشوق من بوده‌اند ،پروفسور *David Plane, Paulino Gagnon , JochenSchieck* ، کمال تشکر را دارم.

تعهدنامه

اینجانب اکرم اعتمادی امین دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته فیزیک ذرات بنیادی دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تعیین ثابت پیوندی در برهمکنش‌های قوی با استفاده از توزیع‌های سه جتی و چهار جتی در نابودی الکترون-پوزیترون تحت راهنمائی پروفسور علی اکبر رجبی و پرفسور محمد ابراهیم زمردیان، متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود» ویا «Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیر گذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده‌است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده‌است.
-

تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۲۹

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های یارانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) معلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب با ید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

یکي از پارامترهاي بنیادي QCD اختلالي، جفت شدگي α_s است. در این پایان نامه اصول تئوري پارامتر جفت شدگي برهم کنش قوي بررسي شده است. در نابودي الکترون-پوزیترون، با استفاده از آهنگ رویدادهاي سه و چهار جتي و همچنین با بکارگیري بسط اختلالي در تقریب NLO وNNLO، ثابت پیوندي قوي تعیین میشود. همچنین محاسبه ثابت جفت شدگي در مقیاس مرجع جرم بوزون در چهار انرژي آشکارساز OPAL و محاسبه فاکتور مقیاس باز بهنجارش بهینه براي انرژي ۹۱GeV انجام گرفته است. در ادامه مقدار میانگین ثابت پیوندي قوي در مقیاس مرجع جرم بوزون اندازهگیري میشود.

کلمات کلیدی: نابودي الکترون-پوزیترون، ثابت پیوندي قوي، مقیاس بازبهنجارش، بسط اختلالي، تقریب NLO و NNLO، مقیاس مرجع

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱. تصحیحات NNLO برای باریکه‌های سه جتی در برهم-کنش الکترون-پوزیترون
۲. بررسی تصحیحات NNLO برای باریکه‌های سه جتی در داده‌های OPALو AMY
۳.

NNLO CORRECTION TO 3-JET RATE PRODUCTION IN ELECTRON POSITRON ANNIHILATION**,** *International Journal of physics*, Vol .3, No.1, January-June 2010, pp.1-10

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

تشکر و قدردانی ..... ه

چکیده ..... ح

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه ..... ط

لیست جداول ..... ن

فصل اول: الفباي ذرات بنیادی و QCD ۱

۱-۱. تاریخچه QCD ۲
۱-۲. نظریه رنگ ۲
۱-۳. رده بندي ذرات ۵
۱-۳-۱. هادرون‌ها ۵
۱-۳-۲. لپتون‌ها ۷
۱-٤. کوارک‌ها وگلوئون‌ها ۸
۱-۵. پراکندگي هادرون‌ها در برهم کنش $e^{-}e^{+}$ ۱۰
۱-٦. مقدمه ای بر نیروی برهم‌کنش قوی ۱۲
۱-۷. بازبهنجارش ۱۳
۱-۷-۱. بازبهنجارش پذیری ۱۳
۱-۷-۲. رهیافت‌های بازبهنجارش ۱٤
۱-۸. آزادی مجانبی و پدیده حبس شدگی ۱۵
۱-۹. α_s و وابستگی آن به مقیاس انرژی ۱۷
۱-۹-۱. مقیاس مرجع ۲۰
۱-۹-۲. پارامتر Λ ۲۰
۱-۱۱. مقدمه‌اي بر پدیده‌شناسي فیزیك ذرات ۲۳
۱-۱۱-۱. مدل‌هاي پدیده شناسي ۲٤

فصل دوم : شتابدهنده LEP و آشکارساز OPAL ۲۵

۲-۱. شتابدهنده LEP ۲٦
۲-۲. آشکارساز OPAL ۲۹
۲-۲-۱. ردیاب مرکزی آشکارساز ۳۳
۲-۲-۳. اتاقك راس مرکزی ۳۳
۲-۲-٤. اتاقك جت مرکزی(CJ) ۳٤
۲-۲-۵. اتاقك Zمرکزی(Cz) ۳۵

فصل سوم: تئوري اختلالي وتقریب‌ها ۳٦

۳-۱. تقریب‌های اختلالی ۳۷
۳-۲. الگوریتم‌هاي جت ٤۰
۳-۲-۱. انواع الگوریتم ٤۰
۳-۲-۲. الگوریتم JADE ٤۱
۳-۲-۳. الگوریتم DURHAM ٤۲
۳-۳. رفتار هادرون‌ها در پراکندگي الکترون-پوزیترون ٤۲
۳-٤. سهم پارتون‌هاي نهایي در تقریب‌هاي QCD ٤٤

۳-۵. بسط اختلالي ٤٦
۳-٦. اندازه گيري جفت شدگي قوي α_s از مشاهده پذيرها در نابودي الکترون-پوزيترون ٤٩
۳-۷. مقدمه اي بر تاثير جرم کوارکها ٥٠
۱-۳-۷. تطبيق آستانه کوارکي ٥٢
فصل چهارم: تعيين ثابت پيوندي قوي ٥٣
٤-۱. شرحي بر تئوري کار ٥٤
٤-۲. مقايسه آهنگ چهارجتي با مدل مونت کارلو ٥٥
٤-۳. روش برازش داده ها ٥٨
٤-٤. تعيين ثابت پيوندي قوي ٥٩
٤-٥. تعيين عدم قطعيت ٦٠
٤-٥-۱. عدم قطعيت مقياسي ٦٠
٤-٦. تعيين x_μ^{opt} بعنوان پارامتر آزاد ٦٨
٤-۷ تعيين $\alpha_s(M_z)$: ۷۱
۱-٤-۷. تعيين مقدار ميانگين $\alpha_s(M_z)$ ۷۱
بحث و نتيجه گيري ۷۳
پيوست ۷٦
پيوست A ۷٦
برنامه هاي کامپيوتري مورد نياز ۷٦
برنامه مورد نياز جهت تعيين فراواني چند جتي با کمك الگوريتم DURHAM ۷٦
برنامه مورد نياز جهت برازش دادههاي تجربي و پيشبيني تئوري ۸۰
پيوستB ۸۲
واژه های فارسی به انگليسی ۸۲
پيوست C ۸٥
واژه های انگليسی به فارسی ۸٥
مراجع ۸۹

ليست شکل ها

شکل(۱-۱): ذره دلتا با سه اسپين بالا ۳
شکل(۱-۲): طبقه‌بندي ذرات ٦
شکل(۱-۳): انواع طعم هاي کوارك ۹
شکل(۱-۴): گلوئون ها که کوارك ها را به يکديگر پيوند می‌دهد. ۱۰
شکل(۱-٥): بازبهنجارش در الکترودينامیک کوانتومی ۱٤
شکل(۱-٦): مقدار ثابت جفت شدگی α_s به صورت تابعی از مقياس انرژی ۱۷

شکل(۱-۷): شکل (الف) مقدار $\alpha_s(Q^2)$ در تقریب یک، دو، سه و چهار حلقه‌ای با $\Lambda_{\overline{MS}} = 0/220\,GeV$ و $N_F = 5$ شکل (ب) اختلاف گسری بین تقریب یک، دو، سه و چهار حلقه‌ای ۲۲
شکل(۲-۱): دیاگرام تمام شتابدهنده‌ها در CERN ۲۸
شکل(۲-۲): نمای شماتیک آشکارساز OPAL ۳۱
شکل(۲-۳): نمای تفصیلی از سطح مقطع آشکار ساز OPAL ۳۲
شکل(۳-۱): نمودارهای فاینمن مربوط به تقریب LO ۳۸
شکل(۳-۲): نمودارهای فاینمن مربوط به تقریب NLO ۳۹
شکل(۳-۳): نمودارهای فاینمن مربوط به تقریب NNLO ۴۰
شکل(۳-۴): نمایش تکانه عرضي هادرونها ٤٤
شکل(۳-٥): رویداد سه جتي ٤٤
شکل (٤-۱): مقایسه فراواني رویداد چهار جتي با مدل PYTHIA در انرژي ۹۱GEV ٥٦
شکل (٤-۲): مقایسه فراواني رویداد چهار جتي با مدل PYTHIA در انرژي ۱۳۳GEV ٥٦
شکل (٤-۳): مقایسه فراواني رویداد چهار جتي با مدل PYTHIA در انرژي ۱۷۷GEV ٥٧
شکل (٤-٤): مقایسه فراواني رویداد چهار جتي با مدل PYTHIA در انرژي ۱۹۷GEV ٥٧
شکل (٤-٥): آهنگ سه جتي و چهار جتي با $\frac{M_z}{2} < x_\mu < 2M_z$ ٦١
شکل (٤-٦): برازش داده هاي تجربي بر روي پیش بیني تئوري NNLO رویداد سه جتي در انرژي ۹۱,۲ GEV ٦٣
شکل (٤-۷): برازش داده هاي تجربي بر روي پیش بیني تئوري NNLO رویداد سه جتي در انرژي ۱۳۳ GEV ٦٤
شکل (٤-۸): برازش داده هاي تجربي بر روي پیش بیني تئوري NNLO رویداد سه جتي در انرژي ۱٦۱ GEV ٦٤
شکل (٤-۹): برازش داده هاي تجربي بر روي پیش بیني تئوري NLO رویداد سه جتي در انرژي ۹۱ GEV ٦٥
شکل (٤-۱۰): برازش داده هاي تجربي بر روي پیش بیني تئوري NLO رویداد چهار جتي در انرژي ۱۳۳ GEV ٦٦
شکل (٤-۱۱): برازش داده هاي تجربي بر روي پیش بیني تئوري NLO رویداد چهار جتي در انرژي ۱۷۷ GEV ٦٧
شکل (٤-۱۲): برازش داده هاي تجربي روي پیش بیني تئوري NNLO رویداد چهار جتي در انرژي ۱۹۷ GEV ٦٨
شکل (٤-۱٤): تغییرات شاخص برازش برحسب فاکتور بازبهنجارش ۷۰

شکل (٤-١٥) : مقایسه مقدار $\alpha_s(Q)$ با مقدار جهاني $\alpha_s(M_z) = 0.1184 \pm 0.0007$ ٧١

شکل (٤-١٦) : مقایسه. $\alpha_s(M_z)$ بدست آمده با نتایج سال هاي اخير آشکارساز OPAL..... ٧٣

لیست جداول

جدول(۳-۱): سهم پارتون هاي نهايي در هريك از تقريب ها براي رويداد سه جتي ۳۹

جدول (۴-۱): مقادير ثابت پيوندي در انرژي هاي مختلف براي رويدادهاي چهارجتي ۶۲

جدول (٤-۲): مقادير ثابت پيوندي در انرژي هاي مختلف براي رويدادهاي سه‌جتي ۶۲

جدول (٤-۳) : مقدار ثابت پيوندي و فاکتور بازبهنجارش بهينه ۶۹

جدول (٤-٤) : مقادير ثابت پيوندي در مقياس جرم بوزون(Z^0) با ثابت Λ مربوطه ۷۱

فصل ۱

الفباي ذرات بنیادی و QCD

فصل اول
الفباي ذرات بنيادي وQCD

۱-۱. تاريخچه QCD[1]

درست همانطور كه نظريه كوانتومي اوليه بوهر در سال ۱۹۱۳ اكتشافات رادرفورد را توضيح داد،فرمولبندي نظريه كروديناميك كوانتومي(QCD) نيز به عنوان توصيفي از رفتار كوارك‌هاي درون پروتون پيشنهاد شد.QCD نظريه پيمانه‌اي پيشنهاد شده براي برهم‌كنش هاي قوي است كه اين برهم‌كنش‌ها بين كوارك‌ها و بوزون‌هاي پيمانه‌اي برداري واسطه‌گر، برهم‌كنش‌هاي قوي را بيان مي‌كند.

اين نظريه در سال ۱۹۷۳ توسط فريتش[2]، لوت‌ويلر[3] وگلمان[4] مطرح شد. ايده اساسي اين نظريه استفاده از بار جديدي موسوم به بار رنگ، به‌عنوان منشأ نيروهاي بين كوركي است.

۱-۲. نظريه رنگ

مدتي پس از پيشنهاد نظريه كوركي، معلوم شد كه ماهيت كوركي بعضي از ذرات با يكي از بنيادي‌ترين اصول مكانيك كوانتومي در تعارض است.

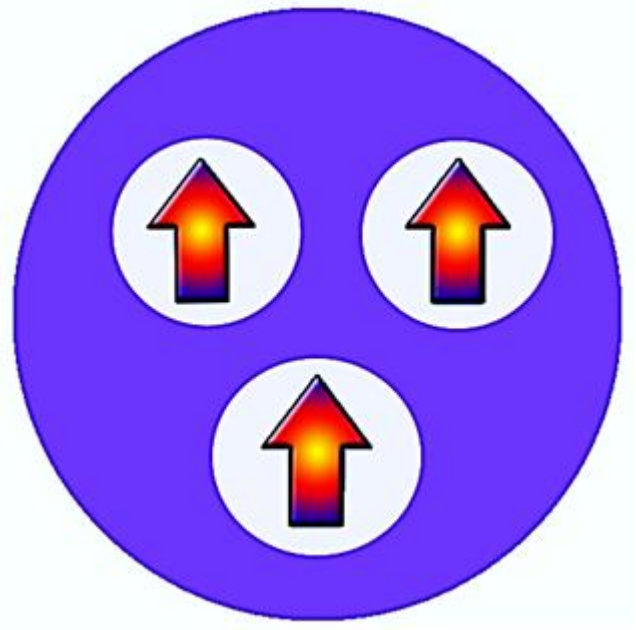
اصل انحصار پائولي گوياي اين واقعيت است كه هيچ دو فرميوني نمي‌توانند در يك دستگاه كوانتومي خاص اعداد كوانتومي يكساني داشته باشند. اما بعضي از ذرات كشف شدند كه بيش از دو كوارك يكسان را شامل مي شدند. به عنوان مثال، ذره تشديدي با دو بار مثبت و اسپين $\frac{3}{2}$، (Δ) بايد متشكل از سه

[1] Quantom Chorodynamics
[2] Fritzsch
[3] Heinrich Leutwyler
[4] Gell-Mann

فصل اول
الفباي ذرات بنيادي وQCD

كوارك يكسان بالا باشد كه اسپين هر سه مطابق شكل(۱-۱) در يك جهت است. به نظر مي‌رسد اين پديده با اصل انحصار پائولی در تضاد باشد.

يك راه حل كه برای خروج از اين بن بست پيشنهاد شد، آن بود كه كوارك‌ها ذاتاً فرميون نيستند. اما بزودي معلوم شد كه تنها كوارك هاي فرميوني مي‌توانند پاسخگوي اسپين هادرون‌هاي مشاهده شده باشند.



شكل(۱-۱): ذره دلتا با سه اسپين بالا

اين عبارت كه كه هيچ دو فرميوني در يك سيستم خاص نمي‌توانند داراي اعداد كوانتومي دقيقاً يكساني باشند، معادل اين گفته است كه تابع موج توصيف كننده هر دستگاه فرميوني بايد در تعويض هر دو جزء فرميوني پاد متقارن باشد. به‌عنوان مثال تابع موج توصيف كننده هر هادرون كه متشكل از سه كوارك مي‌باشد، دست كم مركب از سه عامل (عامل مشخص كننده موقعيت كوارك‌ها، عامل بيان كننده اسپين كوارك‌ها وعامل نشان دهنده طعم

كوارك ها) است. ضرب سه عامل مزبور تابع موج كلي را نتيجه مي‌دهد:

$$\Psi_{كل}=\Psi_{فضا}*\Psi_{اسپين}*\Psi_{طعم} \qquad (۱-۱)$$

در ذراتي مانند (Δ) تمامي كوارك‌ها داراي يك طعم هستند، بنابراين بديهي است كه عامل طعم در جايگزيني هر كوارك به جاي كوارك ديگر متقارن مي‌باشد. در مورد عامل اسپين نيز همين نكته صادق است زيرا تمامي كوارك ها داراي اسپين يكسان هستند، از آنجا كه اسپين كلي ذره از جمع اسپين كوارك‌هاي آن حاصل مي‌شود، مي‌توان چنين نتيجه گرفت كه سه كوارك مزبور داراي اندازه حركت زاويه‌اي مداري نيستند، اين امر نشان دهنده آن‌است كه كوارك‌ها بطور متقارن قرار گرفته‌اند، بنابراين عامل فضا در مورد جايگزيني هر كوارك بوسيله كوارکي ديگر متقارن است. بدين ترتيب با متقارن بودن تك تك عوامل، تابع موج كلي نيز متقارن خواهد بود و به نظر مي‌رسد كه اصل طرد پائولي نقض شده است.

درسال ۱۹۶۴ م. گرينبرگ[1] اين ايده را پيشنهاد كرد كه كوارك ها بايد حاوي عدد كوانتومي ديگري باشند كه ميان كوارك هايي كه از جهات ديگر يكسان هستند، اختلاف ايجاد كرده و مانع نقض اصل طرد پائولي شوند.

فيزيكدانان مزبور عدد كوانتومي جديد را رنگ ناميدند. گرچه بايد خاطرنشان كرد كه اين رنگ هيچ ارتباطي با مفهوم رايج رنگ ندارد و تنها يك عنوان است. بنابراين اينك بايد تابع موج كلي را در اين عامل رنگ جديد ضرب كرد:

[1] M.Greenberg

فصل اول
الفباي ذرات بنيادي وQCD

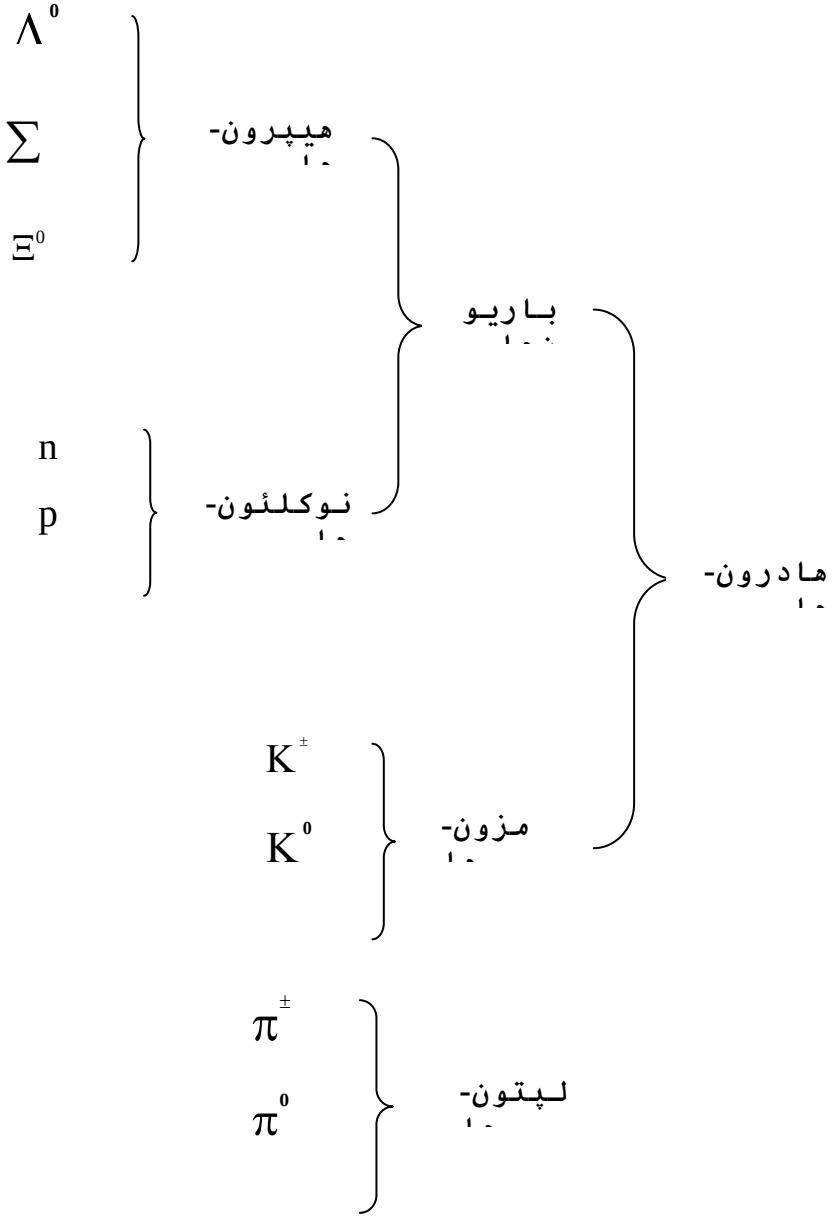
$$\Psi_{کل} = \Psi_{فضا} * \Psi_{اسپین} * \Psi_{طعم} * \Psi_{رنگ} \qquad (۲-۱)$$

۱-۳. رده بندي ذرات

۱-۳-۱. هادرون‌ها

مناسب است همه ذرات را به دو گروه رده بندي كرد، گروه اول شامل ذراتي است كه داراي برهم‌كنش قوي هستند به عنوان مثال:پروتون،نوترون و سه π مزون، اين نوع ذرات را، هادرون مي‌نامند كه تعداد زيادي از آن‌ها در پرتوهاي كيهاني و شتاب دهنده ها كشف شده اند.

هادرون ها بر دو نوع مزون ها و باريون ها تقسيم مي‌شوند. همانطور كه در شكل(۱-۲) ديده مي‌شود، مزون ها به سه دسته تقسيم مي شوند، مزون های π كه سبك‌ترين مزون‌ها هستند، مزون‌های K كه جرم آن‌ها در حدود نصف جرم پروتون است، مزون‌های ρ كه جرم آن‌ها تقريبا $\frac{3}{4}$جرم پروتون است. اسپين مزون π و K صفر و اسپين مزون ρ، يك است. اما مزون هاي ديگري با اسپين بالاترنيز وجود دارند و عموماً جرم مزون‌ها با افزايش عدد اسپين آن‌ها افزايش مي‌يابد. مشخصه همه مزون‌ها اينست كه همگي در نهايت به الكترون، پوزيترون، نوترينو و فوتون واپاشيده مي‌شوند.



شكل(۱-۲):طبقه‌بندي ذرات

رده دوم از هادرون‌ها، باريون‌ها هستند، كه پروتون ها، نوترونها و بسياري ذرات ديگر را تشكيل مي‌دهند. به عنوان نمونه ای از باريون ها مي توان از هيپرون‌ها (ذرات لاندا Λ، خي Ξ و سيگما Σ و ذرات دلتا (Δ)) نام برد.

باريون يك كلمه يوناني به معناي سنگين است، چون جرم اين ذرات از جرم پروتون بيشتر است به