بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

موضوع

محاسبه گشتاور دوقطبی مغناطیسی دوترون بر اساس مدل کوارکی

نگارش:

مریم پیری

استاد راهنما:

پرفسور علی اکبر رجبی

استاد مشاور:

دکتر محمد رضا شجاعی

بهمن ۱۳۸۸

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس پروردگار یکتا را که لطف و کرم بی کرانش اینجانب را نیز در بر گرفت تا به وسع تـوان خویش گامی کوچک در گستره علم و معرفت بردارم و میسر گشت تا از خرمن دانش و تجربه بزرگان و نیک اندیشان خوشه چینی کرده باشم.

اکنون به یاری خداوند متعال، این دوره پر خاطره از دوران تحصیلم را به پایان رسانده‌ام هر چند واژه-ها را یارای آن نیست که لطف و محبت و بزرگواریشان را که در تمـام دوران زنـدگی ام جرعـه نـوش دریای مهر و محبتشان بوده ام به تصویر بکشم، اما به رسم ادب و احترام بوسه بر دستانشان زده و بـر خود واجب می‌دانم زحمات پدر و مادر مهربانم که هواره راه گشای مشکلاتم در تمام مراحـل زنـدگی بوده اند ارج نهاده و مراتب تشکر قلبی و باطنی خویش را از الطـاف و مهربـانی هـای آنهـا ابـراز دارم.

همچنین لازم می‌دارم که از زحمات فراوان استاد توانمندم جناب آقای پرفسور علی اکبر رجبی که بـا راهنمایی ها و نظرات ارزنده و صبر و حوصله فراوان، نقش مهمی در به ثمر رساندن این کار داشته اند صمیمانه تقدیر و تشکر نمایم، بی تردید انجام این پایان نامه بدون همکاری و راهنمایی ایـشان هرگـز ممکن نبود. از استاد بزرگوارم آقای دکتر محمد رضا شجاعی که مشاوره این پروژه را به عهده داشتند، کمال تشکر را دارم. همچنین از دوستان بزرگوارم که مایه دلگرمی این جانب بوده و محتمل زحمـات زیادی شدند نهایت سپاسگذاری و امتنان را دارم.

چکیده:

در فیزیک هسته‌ای، دوترون به صورت سیستم دو ذره‌ای در نظر گرفته شده است که از حل معادله‌ی شرودینگر برای این سیستم، ویژگی‌های استاتیکی آنها از جمله گشتاور دوقطبی مغناطیسی را بررسی نموده‌اند. اما در این کار، دوترون را که شامل کوارکهای u و d می‌باشد به عنوان یک سیستم نسبیتی در نظر می‌گیریم و روشی ریاضی برای حل معادله‌ی دیراک سیستم ارائه می‌کنیم. در این روش که با هارمونیک‌های فوق کروی سر و کار دارد فرض شده است که پتانسیل فوق مرکزی، فقط به شعاع فوق کره بستگی دارد. با استفاده از پتانسیل $u(x) = ax^2 + bx - \frac{c}{x}$ و حل تحلیلی معادله‌ی دیراک، برای سیستم شش ذره‌ای دوترون، تابع موج و در نهایت گشتاور دوقطبی مغناطیسی را به‌دست می‌آوریم.

کلمات کلیدی: دوترون، معادله‌ی دیراک، مختصات فوق کروی، مختصات ژاکوبی، گشتاور دوقطبی مغناطیسی

فهرست مطالب

عنوان ..... ب
تقدیم اثر ..... ج
تقدیر و تشکر ..... د
چکیده ..... ه
فهرست مطالب ..... و
فهرست جداول ..... ح
فهرست شکل‌ها ..... ط

فصل اول (فیزیک ذرات بنیادی)

۱-۱- باریونها ۳
۱-۲-کوارکها ۳
۱-۲-۱-مدل کوارکی ۸
۱-۲-۲-کوارکهای رنگی ۱۰
۱-۳-نیروهای چهارگانه ۱۱
۱-۳-۱-الکترودینامیک کوانتومی (QED) ۱۲
۱-۳-۲-کرومودینامیک کوانتومی (QCD) ۱۴
۱-۳-۳-برهم‌کنشهای ضعیف ۱۶
۱-۴-واکنشها و قوانین پایستگی ۱۸

فصل دوم (دوترون و برهم‌کنش نوکلئون-نوکلئون)

۲-۱-مقدمه ۲۶
۲-۲-دوترون ۲۶
۲-۲-۱-خواص دوترون ۲۷
۲-۲-۲-برهم‌کنش نوکلئون-نوکلئون در دوترون ۳۰
۲-۲-۳-اثرهای اصل طرد پاولی ۳۱
۲-۳-خواص نیروی نوکلئون-نوکلئون ۳۵
۲-۴-نظریه‌ی مزونی ۳۸
۲-۵-نظریه‌ی یوکاوا ۴۰

فصل سوم (معادله‌ی دیراک)

۳-۱-معادله‌ی دیراک برای ذره‌ی آزاد ۴۷
۳-۲-معادلات دیراک با پتانسیل‌های اسکالر و برداری ۵۱
۳-۳-معادلات شعاعی دیراک ۵۳

فصل چهارم (محاسبه‌ی گشتاور دوقطبی مغناطیسی دوترون)

۴-۱-هماهنگ‌های فوق کروی ۵۵
۴-۲-پتانسیل پیشنهادی ۵۸
۴-۳-حل معادله‌ی دیراک با پتانسیل پیشنهادی ۵۹
۴-۴-گشتاور دوقطبی مغناطیسی دوترون ۶۵
۴-۵-بحث و نتیجه‌گیری ۶۸

پیوست ۶۹
منابع ۷۳

فهرست جداول

۱-۱-ده‌گانه‌ی باریون ۸
۱-۲-نه‌گانه‌ی مزون ۹
۱-۴-محاسبه‌ی گشتاور دو قطبی مغناطیسی دوترون به ازای مقادیر مختلف a_1، b_1، m ۶۷

فهرست شکل‌ها

۱-۱-هشت‌گانه‌ی باریون و مزون ۵
۱-۲-ده‌گانه‌ی باریون ۶
۱-۳-کوارکها و پاد کوارکها ۷
۱-۴-گره بنیادی برهم‌کنش الکترومغناطیسی ۱۲
۱-۵-نمودار فاینمن برهم‌کنش دو الکترون یا یک الکترون و یک پوزیترون ۱۳
۱-۶--نمودار فاینمن برهم‌کنش دو الکترون با چهار گره ۱۴
۱-۷-گره بنیادی برهم‌کنش قوی ۱۴
۱-۸-نمودار فاینمن برهم‌کنش دو کوارک ۱۵
۱-۹-نمودار فاینمن برهم‌کنش گلوئونها ۱۵
۱-۱۰-گره باردار بنیادی برهم‌کنش ضعیف ۱۶
۱-۱۱-نمودار فاینمن برهم‌کنش $\mu^- + \nu_e \to e^- + \nu_\mu$ ۱۶
۱-۱۲-گره خنثی بنیادی برهم‌کنش ضعیف ۱۷
۱-۱۳-نمودار فاینمن واکنش $\nu_\mu + e^- \to \nu_\mu + e^-$ ۱۷
۱-۱۴-نمودار فاینمن برهم‌کنش دو الکترون از دو طریق ضعیف و الکترومغناطیسی ۱۸
۲-۱-نمودار فاینمن برهم‌کنش نوکلئونها بر اساس مبادله‌ی مزونها

مقدمه

با استفاده از مدل کوارکی می‌توان به بررسی ویژگی‌های هادرونها پرداخت، در واقع مدل کوارکی نقش بسیار مهمی در این زمینه دارد. ما در این پایان‌نامه، گشتاور دوقطبی مغناطیسی دوترون را براساس این مدل بررسی خواهیم کرد.

فیزیک ذرات بنیادی به بررسی این پرسش می‌پردازد که ماده از چه ساخته شده است؟ آن هم در بنیادی‌ترین سطح، یعنی کوچکترین مقیاس اندازه‌گیری. این یک واقعیت شایان توجه است که ماده در سطح زیر اتمی از ذرات بسیار کوچک تشکیل شده بنابراین در فصل اول به معرفی ذرات تشکیل دهنده‌ی دوترون یعنی کوارکها و نیز باریونها پرداخته و علت پیدایش مدل کوارکی را شرح می‌دهیم. همچنین در این فصل به این مطلب خواهیم پرداخت که اندرکنش این ذرات با یکدیگر چگونه است و در ادامه به قوانین حاکم بر برهم‌کنش‌هایی که این ذرات در آنها شرکت دارند می‌پردازیم.

در فصل دوم به معرفی دوترون و خواص آن خواهیم پرداخت و از آنجائیکه دوترون نقش بسیار مهمی در مطالعه‌ی برهم‌کنش نوکلئون-نوکلئون دارد خواص این نیرو را بیان می‌کنیم و سرانجام به نظریه‌های مربوط به نیروی نوکلئون-نوکلئون یعنی نظریه‌های مزونی و یوکاوا خواهیم پرداخت.

در فصل سوم به معرفی معادله‌ی کلاین-گوردون خواهیم پرداخت و سپس به معادله‌ی دیراک برای ذره‌ی آزاد و نیز در حضور پتانسیل‌های مرکزی اسکالر و برداری می‌پردازیم. و معادلات شعاعی دیراک را بدست می‌آوریم.

در فصل چهارم، در ابتدا به هماهنگ‌های فوق کروی پرداخته سپس دوترون را به عنوان یک سیستم شش ذره‌ای در نظر گرفته و به معرفی پتانسیل‌های پیشنهادی برای این سیستم خواهیم پرداخت و معادله‌ی دیراک را در حضور این پتانسیل‌ها حل کرده و تابع موج دوترون را بدست می‌آوریم. به کمک تابع موج بدست آمده گشتاور دوقطبی مغناطیسی دوترون را بدست می‌آوریم و مقدار بدست آمده را با مقدار تجربی مقایسه خواهیم کرد.

فصل اول

فیزیک ذرات بنیادی

- باریونها
- کوارکها
- نیروهای چهارگانه
- واکنشها و قوانین پایستگی

۱-۱-باریونها[1]

دسته‌ای از هادرونها که اسپین نیمه درست دارند، باریون نامیده می شوند. پروتون (p)، نوترون (n)، ذرات Λ^0، Σ^+، Σ^0، Σ^-، Δ^{++}، Δ^+، Δ^0، Δ^- و... و پاد ذرات آنها، خانواده‌ی باریونها را تشکیل می‌دهند. سبکترین باریون، پروتون است که جرم آن $938Mev/c^2$ و بار آن e+ است. به طور کلی هادرونها ذرات بنیادی واقعی نیستند بلکه از ذرات بنیادی‌تر به نام کوارک ساخته شده‌اند.

۱-۲-کوارکها[2]

در قرون وسطی مردم براین عقیده بودند که جهان از چهار عنصر هوا، خاک، آتش و آب تشکیل شده است. در قرن هفدهم، با پیشرفت علوم به خصوص علم شیمی، دانشمندان دریافتند که بسیاری از اجسام، ترکیباتی ازچند عنصر اصلی، مانند سدیم، کلر، اکسیژن و غیره‌اند. دالتون پیشنهاد کرد که هر عنصری متشکل از اتمهاست. اتمهای سدیم، سدیم را و اتمهای کلر، کلر را می‌سازند و اتمهای سدیم و کلر با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا کلروسدیم (نمک معمولی) را به وجود آورند. در اوائل قرن گذشته، دانشمندان انواع گوناگون اتمها را می‌شناختند و امروزه در حدود ۱۰۰ عنصر، از هیدروژن، هلیم، لیتیم گرفته تا اورانیوم و غیره را جدا ساخته‌اند.

بنابراین اگر در قرن نوزدهم، نام و تعداد اجزا ساختمانی بنیادی را می‌پرسیدید، در جواب گفته می-شد که اتمها هستند و فهرستی طولانی از آنها در اختیارتان گذاشته می‌شد. از اینکه طبیعت، این همه اجزای ساختمانی بنیادی را به کار گرفته است، ممکن بود احساس ناراحتی کنید. احتمالا شما نیز مانند دمیتری مندلیف ممکن بود از روی بصیرت دریابید که برخی از عناصر خواص شیمیایی و فیزیکی بسیار مشابهی دارند و کاملا مستقل از یکدیگر به نظر نمی‌آیند. به علاوه اگر عناصر را به

[1] Baryons
[2] Quarks

ترتیب افزایش جرم فهرست می‌کردید، متوجه می‌شدید که خواص مشابه به طور تناوبی ظاهر می‌گردند این موضوع بعدها با کشف اینکه اتمها براستی بنیادی نیستند، بلکه خود از الکترونهایی که به دور هسته می‌گردند ساخته شده‌اند، توضیح داده شد.

سپس دانشمندان پی بردند که هسته‌ها نیز از پروتونها و نوترونهایی ساخته شده‌اند که نیرویی به نام نیروی قوی آنها را به یکدیگر می‌پیوندد. بار الکتریکی پروتونها مثبت است و الکترونها بار منفی دارند و نوترونها بدون بار هستند. تنها تفاوت میان یک اتم و اتم دیگر در تعداد الکترونها و پروتونهای آنهاست. هیدروژن یک پروتون و یک الکترون دارد، اکسیژن دارای هشت الکترون است که به دور هشت پروتون می‌گردند و غیره. در سالهای دهه ۱۹۳۰، الکترون، پروتون و نوترون را ذرات بنیادی می‌دانستند.

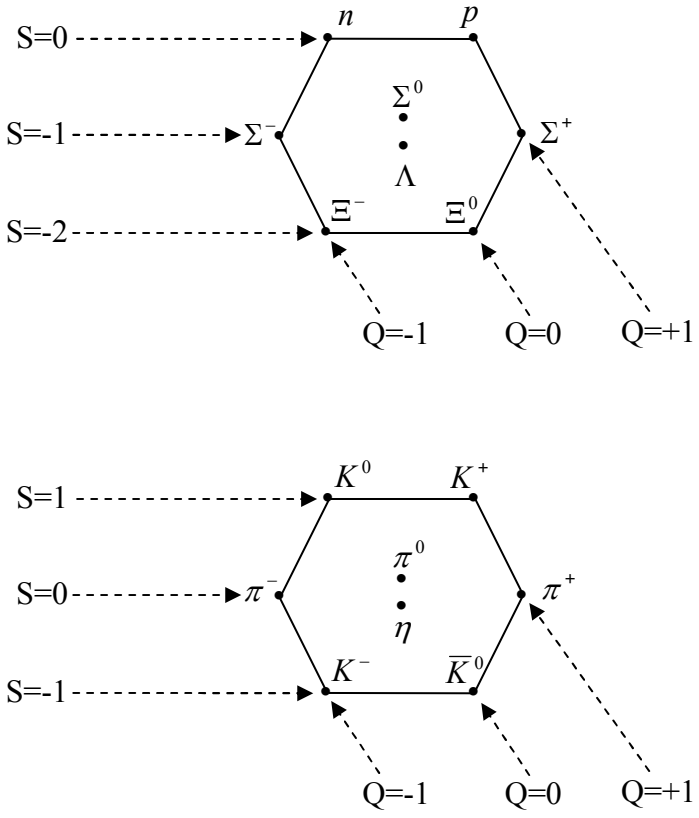
دیری نگذشت که تلاشی بتا کشف شد. دانشمندان دریافتند که تلاشی نوترون، ذره‌ی دیگری را نیز، همراه با الکترون ایجاد می‌کند. این ذره را نوترینو نام نهادند. همانطور که نوترون ظاهرا برادر بی‌بار پروتون است، نوترینو نیز همچون برادر بی بار الکترون به نظر می‌رسد.

بنابراین در سالهای دهه‌ی ۱۹۳۰ تصویر نسبتا متقارنی از ذرات بنیادی پدید آمده بود. مجموعا چهار ذره‌ی بنیادی در دو خانواده‌ی دوتایی وجود داشت. الکترون و نوترینو که جفتی به نام لپتونها را تشکیل می‌دادند و پروتون و نوترون که جفتی به نام هادرونها را به وجود می‌آوردند. از سال ۱۹۴۵ تا ۱۹۷۴ فیزیکدانان بیش از ۱۰۰ نوع ذره یافتند که از کنش متقابل قوی متاثر می‌شدند و هادرون نامیده می‌شدند، درحالیکه فقط دو نمونه‌ی جدید لپتون یعنی میون و نوترینوی میون را کشف کردند. پیدا کردن بیش از ۱۰۰ هادرون، نگران کننده بود. در نتیجه فیزیکدانان، توجه خود را بر روی نیروی قوی و هادرونها متمرکز کردند تا بفهمند چرا تعداد هادرونها اینقدر زیاد است. در جریان مطالعه‌ی نیروی قوی، الگوهایی منظم در میان هادرونها پدیدار شد که به راه هشت‌گانه معروفند.

مورای گلمن که مندلیف ذرات بنیادی بود اصطلاح راه هشت‌گانه‌ی خود را در سال ۱۹۶۱ ارائه

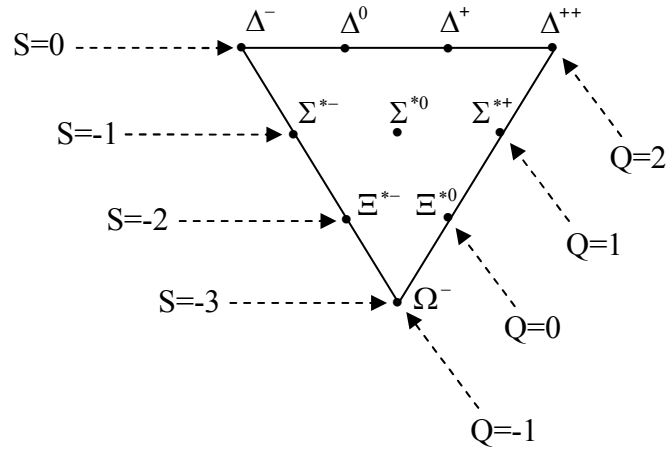
کرد. در راه هشت‌گانه، باریون‌ها و مزون‌ها بسته به بار الکتریکی و شگفتی خود به شکل‌های هندسی مرتب می‌شوند [2].

در شکل (۱-۱) هشت باریون سبکتر در یک آرایه شش ضلعی قرار گرفته و دو ذره در مرکز واقع می‌شود. این گروه را هشت‌تایی باریونی می‌نامند. توجه داشته باشید که ذراتی که دارای بار مشابه‌اند در طول خط قطری با شیب به سمت پایین قرار می‌گیرند: برای پروتون و Σ^+ با Q=+1 (در واحد بار پروتون) و برای نوترون، Λ, Σ^0 و Ξ^0، Q= 0 و برای Σ^- و Ξ^-، Q=-1 می‌باشد. خطوط افقی مربوط به ذراتی است که دارای شگفتی برابر با S=0 برای پروتون و نوترون، S=-1 برای خط وسط و S=-2 برای دو Ξ ها.



شکل (۱-۱) هشت‌گانه‌ی باریون و مزون [2]

هشت مزون سبکتر، یک شش ضلعی مشابه را پر می‌کنند و هشت‌تایی مزونی را تشکیل مـی‌دهنـد. دوباره خطوط قطری مورب، بار الکتریکی و خطوط افقی، شگفتی را مشخص می‌کند. اما این بار، خـط بالایی S=1 را دارد، خط میانی S=0 و خط پایینی S=-1. شش ضلعی‌ها تنها شکل‌های مجاز برای راه هشت‌گانه نبودند، برای مثال، یک آرایه‌ی مثلثی وجود داشت که ۱۰ باریون سنگین‌تر را در بـر مـی-گرفت- یعنی ده‌گانه‌ی باریون (شکل(۱-۲)).

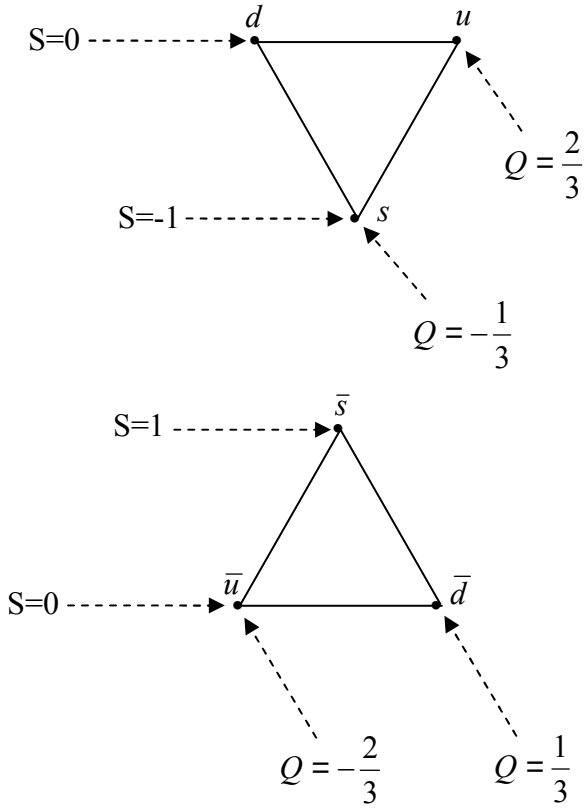


شکل (۱-۲) ده‌گانه‌ی باریون [2]

گلمن هنگامی که این ذرات را در ده‌گانه جا می‌داد، چیز جالبی روی داد ۹ عدد از ذرات با آزمایش شناخته شده بودند، ولی در آن زمان ذره‌ی دهم که در پایین واقع می‌شد و بـار آن ۱- و شـگفتی آن ۳- بود، گم شده بود. هیچ ذره‌ای با این ویژگی‌ها در آزمایشگاه شناخته نشده بود. گلمـن بـا شـجاعت پیش‌بینی کرده بود که چنین ذره‌ای پیدا شدنی است و به آزمایشگران گفته بود که دقیقا آنرا چگونـه تولید کنند از این گذشته، او جرم و عمر آن را محاسبه کرده بود و در سال ۱۹۶۴ ذره‌ی یاد شده، امگا منفی، دقیقا به همان صورت که گلمن پیش‌بینی کرده بود کشف شد.

از هنگام کشف امگا منفی، هیچ کس به طور جدی درباره‌ی درست بودن راه هشت‌گانه شک نکـرده است. در ده سال پس از آن، هر هادرون جدید جایگاهی در یکی از ابرچندگانه‌های راه هشت‌گانه پیـدا کرد.

افزون بر هشت و ده‌تایی باریون، و غیره، یک هشت و ده‌تایی پاد باریون، و غیره نیز با بار و شگفتی مخالف وجود دارد. اما در مورد مزون‌ها، پادذرات در همان ابر چندگانه قرار دارند. اما خود راه هشت-گانه این پرسش را بر می‌انگیزد: چرا هادرون‌ها در این الگوهای شگفت‌آور جای می‌گیرند؟ درک راه هشت‌گانه در سال ۱۹۶۴ بدست آمد. گلمن و شوایگ مستقلا پیشنهاد کردند که تمام هادرون‌ها در واقع از ذرات بنیادی‌تر به نام کوارک تشکیل شده‌اند. کوارک‌ها بر سه نوع (یا سه طعم) هستند که یک الگوی راه هشت‌گانه‌ی مثلثی را تشکیل می‌دهند که در شکل (۱-۳) نشان داده شده است.



شکل (۱-۳) کوارکها و پادکوارکها [2]

کوارک u دارای بار $\frac{2}{3}$ و شگفتی صفر است، کوارک d دارای بار $-\frac{1}{3}$ و شگفتی صفر است و کوارک s دارای بار $-\frac{1}{3}$ و شگفتی ۱- است. به ازای هر کوارک (q) یک پاد کوارک ($\bar{q}$) با بار مخالف و شگفتی مخالف وجود دارد.

۱-۲-۱-مدل کوارکی

بنابر مدل کوارکی، هر باریون از سه کوارک (و هر پاد باریون از سه پاد کوارک) تشکیل شده است و هر مزون از یک کوارک و یک پاد کوارک تشکیل شده است. بنابراین برای نمونه، می‌توان ده‌تایی باریون و هشت‌تایی مزون را ساخت. کافی است ترکیب‌های سه کوارک یا زوج کوارک-پاد کوارک را فهرست کرده و بارها و شگفتیهای آنها را با هم جمع کنیم.

جدول (۱-۱) ده‌گانه‌ی باریون [2]

qqq	Q	S	Baryon
uuu	2	0	Δ^{++}
uud	1	0	Δ^{+}
udd	0	0	Δ^{0}
ddd	-1	0	Δ^{-}
uus	1	-1	Σ^{*+}
uds	0	-1	Σ^{*0}
dds	-1	-1	Σ^{*-}
uus	0	-1	Ξ^{*0}
dss	-1	-2	Ξ^{*-}
sss	-1	-3	Ω^{-}

در جدول (۱-۱) ۱۰ ترکیب از ۳ کوارک وجود دارد. برای مثال، سه u هر یک در $Q=\frac{2}{3}$ بار کل ۲+ را تشکیل می‌دهند و شگفتی آنها صفر است. این ذره Δ^{++} است. همین طور تا پایین جدول ادامه می-دهیم و تمام اعضای ده‌تایی را پیدا می‌کنیم. (آخرین آنها Ω^{-} می‌باشد که از سه کوارک s تشکیل شده است).

شمارش مشابهی از ترکیبهای کوارک-پاد کوارک، جدول (۱-۲) را تشکیل می‌دهد.

جدول (۱-۲) نه‌گانه‌ی مزون [2]

$q\bar{q}$	Q	S	Meson
$u\bar{u}$	0	0	π^0
$u\bar{d}$	1	0	π^+
$d\bar{u}$	-1	0	π^-
$d\bar{d}$	0	0	η
$u\bar{s}$	1	1	K^+
$d\bar{s}$	0	1	K^0
$s\bar{u}$	-1	-1	K^-
$s\bar{d}$	0	-1	$\bar{K}^0$
$s\bar{s}$	0	0	??

در اینجا نه ترکیب و فقط هشت ذره در هشت‌تایی مزون وجود دارد. مدل کوارک مستلزم آن است که یک مزون سوم (علاوه بر π^0 و η) با S= 0 و Q=0 وجود داشته باشد. معلوم شد که این ذره در آزمایش پیدا شده و η' است. بنابر مدل کوارک، این، همراه با هشت مزون دیگر، یک نه تایی مزون را تشکیل می‌دهد. پاد مزون‌ها خود به خود در همان ابر چندگانه جای می‌گیرند که مزون‌ها هستند. در اینجا، دیگر صحبتی از هشت‌تایی باریون نکرده‌ام. در واقع تمام ابر چندگانه‌ها به صورت طبیعی از مدل کوارک نتیجه می‌شوند.

۱-۲-۲-کوارکهای رنگی

کوارکها اسپین $\frac{1}{2}$ دارند، بنابراین از اصل طرد پائولی طبعیت می‌کنند. به عبارت دیگر هیچ دو کوارک یکسانی را نمی‌توان در حالت کوانتومی یکسان یافت. سه باریونی که در گوشه‌های نمودار مثلثی شکل (۱-۲) هستند را در نظر بگیرید. پیکر بندی کوارکی آنها به صورت uuu,ddd,sss است. در اینجا به نظر می‌رسد که سیستمهایی متشکل از سه کوارک یکسان که در یک تراز فرض شده‌اند داریم که در ظاهر با اصل طرد پائولی جور در نمی‌آید. در سال ۱۹۶۴، گرینبرگ راهی برای حل این معما یافت. وی می‌گفت که کوارک‌ها نه تنها سه طعم (s,d,u) دارند بلکه هر طعم نیز به سه رنگ گوناگون (قرمز، سبز و آبی) ظاهر می‌شود. برای ساختن یک باریون، کافی است از هر رنگ یک کوارک برداریم. در این صورت، سه u در Δ^{++} دیگر یکسان نیستند (یکی قرمز است، یکی سبز و دیگری آبی) بنابراین این اشکال (نقض اصل طرد پائولی) برطرف می‌شود. بسیاری از افراد فرضیه‌ی رنگ را آخرین چاره‌ی مدل کوارک می‌دانستند. قرمزی، آبی بودن و سبز بودن، سه اسم است و برای نامیدن سه ویژگی به کار رفته که کوارک‌ها افزون بر بار الکتریکی و شگفتی، آنها را دارا می‌باشند. کوارک قرمز، یک واحد قرمزی، هیچ واحد آبی بودن و هیچ واحد سبز بودن دارد و غیره. می‌شد نام‌های دیگری بر این ویژگی‌ها گذاشت، ولی نتیجه، تفاوتی نمی‌کرد تمام ذرات طبیعی بی رنگ هستند. منظورم از بی-رنگی این است که یا مقدار کل هر رنگ صفر است یا هر سه رنگ به مقدار مساوی موجودند.

به همین دلیل است که نمی‌توان یک ذره را از دو کوارک یا چهار کوارک ساخت و دلیل اینکه کوارک‌ها در طبیعت به صورت جداگانه ظاهر نمی‌شوند، همین است. تنها ترکیبات بی‌رنگی که می-توانید تشکیل دهید، $q\bar{q}$ (مزون‌ها)، qqq (باریون‌ها) و $\overline{qqq}$ (پاد باریون‌ها) هستند. (البته می-توانستید شش کوارک داشته باشید ولی آنگاه آنرا به عنوان حالت مقید دو باریون در نظر می‌گرفتیم).

۱-۳-نیروهای چهارگانه

همه‌ی ما می‌دانیم که چهار نیروی اصلی در طبیعت وجود دارد قوی، الکترومغناطیس، ضعیف وگرانش.

به هر یک از این نیروها یک تئوری فیزیکی تعلق می‌گیرد. البته تئوری کلاسیکی غیر نسبیتی گرانش، قانون‌های جاذبه‌ی نیوتون است. نتیجه‌ی تعمیم نسبیتی آن، تئوری نسبیت عام انشتین است. برای دستیابی به یک تئوری کوانتومی گرانش، باید هنوز کار کرد، ولی فعلا بیشتر مردم فرض می کنند که گرانش چون خیلی ضعیف است، بنابراین نقش مهمی در فیزیک ذرات بنیادی ندارد.

تئوری فیزیکی که نیروهای الکترومغناطیس را توصیف می‌کند، الکترودینامیک نامیده می‌شود. فرمول کلاسیک الکترودینامیک صدها سال پیش بوسیله‌ی ماکسول کشف شد. تئوری ماکسول و تئوری نسبیت خاص با هم سازگاری داشتند. تئوری کوانتومی الکترومغناطیس در سال ۱۹۴۰ بوسیله‌ی توماناگا و فاینمن و شوینگر تکمیل شد.

نیروهای ضعیفی که نحوه‌ی واپاشی هسته‌ای بتا را توصیف می‌کنند برای فیزیک کلاسیک امری ناشناخته محسوب می‌شدند و توصیف تئوریک آنها از همان ابتدا فرمول کوانتوم نسبیتی را ارائه داد. نخستین تئوری نیروهای ضعیف در سال ۱۹۳۳ بوسیله‌ی فرمی ارائه شد این تئوری در دهه‌ی ۵۰ بوسیله‌ی لی[۱] ویانگ[۲]، فاینمن[۳] و گلمن[۴] و دیگران مورد بازنگری و اصلاح قرار گرفت و در دهه‌ی ۶۰ بوسیله‌ی گلاشو، واینبرگ و سلام بصورت کنونی خود ارائه شد. در برخی موردها از تئوری‌های واکنش ضعیف به عنوان دینامیک طعم یاد می‌شود که آنرا تئوری گلاشو واینبرگ و سلام (GWS) نیز می-نامند. مدل GWS واکنش‌های ضعیف و الکترومغناطیس را به عنوان جلوه‌های متفاوت یک نیروی واحد الکتروضعیف به شمار می‌آورد و بدین ترتیب چهار نیروی یاد شده به سه نیرو کاهش می‌یابد.

هر کدام از این نیروها ذرات واسط را بین خود متبادل می‌کنند واسطه‌ی نیروی گرانش گراویتون[۵] نامیده می‌شود و نیروهای الکترومغناطیس با کمک فوتون‌ها، نیروهای قوی با کمک گلوئون و نیروهای ضعیف با ذرات واسط Z^0 و $W^{\pm}$ منتقل می‌شوند. این واسطه‌ها نیروی موجود بین یک کوارک و لپتون

[1] Lee
[2] Yang
[3] Feynman
[4] Gellman
[5] Gravition