دانشکده فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

عنوان:

محاسبه‌ی فرم فاکتورهای مزون B به مزون‌های برداری به روش قاعده جمع مخروط نوری

نگارش:

سیده فاطمه علوی

استاد راهنما:

دکتر حسین مهربان

استاد مشاور:

دکتر مهرداد قمی‌نژاد

دانشگاه سمنان

پاییز ۱۳۹۱

دانشکده فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

عنوان:

محاسبه‌ی فرم فاکتورهای مزون B به مزون‌های برداری به روش قاعده جمع مخروط نوری

نگارش:

سیده فاطمه علوی

در تاریخ ۱۳۹۱/۷/۳ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت:

۱-استاد راهنما	**دکترحسین مهربان**
۲-استاد مشاور	**دکترمهرداد قمی‌نژاد**
۳-استاد داور داخلی	**دکتر داود ثانوی خشنود**
٤-استاد مدعو	**دکتر حسین غفارنژاد**

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیر و تشکر

حمد سزاوار خداوندی است که نابخشیدن، بر دارایی‌اش نیفزاید و اگر بخشش کند، بینوا نشود. زیرا هر بخشنده ای جز خدای تعالی اگر ببخشد از دارایی‌اش کاسته گردد و هر کس، جز او از بخشش دست باز دارد، نکوهشش کنند.

مولای متقیان حضرت علی (ع)

خطبه ی ۹۱

سپاس و درود فراوان بر کلیه ی کسانی که در طی این مسیر همراهیم نمودند، و با کمک های بی دریغ خود همواره سختی ها را برایم آسان نمودند؛

لازم می دانم که درودهای بیکران خود را نثار پدر عزیز و مادر مهربانم نمایم که همواره مشوق من در کسب علم و اخلاق متعالی بوده اند؛

با تشکر فراوان از استاد گرانقدر خود، جناب آقای دکتر مهربان، که علاوه بر هدایت اینجانب با نیکویی اخلاق ایشان علم زندگی آموختم؛

و با سپاس از سرکار خانم سیاحی که با راهنمایی های ارزشمند خود، کمک شایان توجهی در انجام این امر نمودند؛

همچنین از جناب آقای دکتر قمی نژاد و آقای محمدی بخاطر راهنمایی هایشان کمال تشکر را دارم؛

از خداوند متعال بهترین ها را برای یکایک این عزیزان آرزومندم.

با تشکر فراوان

سیده فاطمه علوی

تقدیم به:

تقدیم به روح پدر عزیز و مهربانم که همواره راهنمایهای ارزشمندشان، هدایتگر راه زندگیم می باشد

و مسیر پیشرفت را برایم زیبا می نماید

تقدیم به مادر عزیزتر از جانم که همواره با صبوری خود

در نبود پدر، امید بخش لحظه لحظه ی زندگیم می باشد

تقدیم به تمام کسانی که یاریم نمودند.

در این بازار اگر سودیست با درویش خرسند است

خدایا منعمم گردان به درویشی و خرسندی

محاسبه‌ی فرم فاکتورهای مزون B به مزون‌های برداری به روش قاعده جمع مخروط نوری

چکیده

در این پایان نامه، به تحلیل فرم فاکتورهای مزون B با استفاده از قاعده‌ی جمع مخروط نوری پرداختیم. دامنه‌ی توزیع مزون، فرم فاکتور، ثابت واپاشی، تبدیل بُرل، همزادی کوارک–هادرون و... که برای تحلیل قاعده‌ی جمع مخروط نوری مورد نیاز هستند را معرفی می‌کنیم. با توجه به اینکه، عمومی‌ترین روش برای بررسی خواص واپاشی‌های مزون B روش فاکتوری کردن می‌باشد، و در این روش به فرم فاکتورها نیاز داریم، ما به توصیف روش جدیدی به نام قاعده‌ی جمع مخروط نوری برای یافتن فرم فاکتورها می‌پردازیم. در این تحقیق، واپاشی‌های نیمه‌لپتونی و پنگوئنی مزون B یعنی $B \to Vl\bar{\nu}_l$ و $B \to V\gamma(l^+l^-)$ در چارچوب تئوری مؤثر کوارک سنگین تجزیه و تحلیل شده است. همچنین عناصر ماتریسی واپاشی‌های مزون سنگین به مزون سبک برداری به وسیله‌ی یک گروه از توابع موج عمومی مستقل از طعم مزون سنگین در مرتبه‌ی اول بسط تئوری مؤثر پارامتری شده است. فرم فاکتورهای نوع نیمه‌لپتونی و پنگوئنی برای واپاشی‌های مورد نظر با استفاده از قاعده‌ی جمع مخروط نوری در مرتبه‌ی اول بسط $1/m_Q$ محاسبه گردیدند، و در نهایت چهار نوع رابطه‌ی کامل بین دو نوع از فرم فاکتورها بدست آمده است. نتایج عددی بدست آمده از این روش را برای مقیاس $\mu = 1GeV$ در جدول‌هایی ارائه کردیم که این نتایج توافق خوبی با روش‌ها و مقیاس‌های دیگر محاسبه‌ی فرم فاکتورهای این گروه (مزون‌های سنگین به مزون‌های سبک برداری) دارد.

کلمات کلیدی: فرم فاکتور، قاعده‌ی‌جمع مخروط نوری، تئوری میدان مؤثر، تبدیل بُرل، همزادی کوارک–هادرون

فهرست مندرجات

لیست اشکال ----------۵

لیست جدول‌ها ----------۶

مقدمه ۷

۱-۱ فیزیک ذرات ---- ----------۷

۱-۲ مدل استاندارد ----------۸

۱-۲-۱ لپتون‌ها ----------۹

۱-۲-۲ کوارک‌ها ----------۱۰

۱-۲-۳ واسطه‌ها ----------۱۰

۱-۲-٤ بوزون‌ها و فرمیون‌ها ----------۱۱

۱-۳ قاعده جمع QCD ----------۱۲

۱-٤ شبکه QCD----------۱۲

مفاهیم اساسی ۱٤

۲-۱ ماتریس CKM-- ----------۱٤

۲-۱-۱ پارامترگذاری استاندارد----------۱٦

۲-۱-۲ پارامترگذاری ولفن‌اشتاین ----------۱۷

۲-۲ مزون B-------۱۸

۲-۲-۱ مدل کوارکی ---------- ۱۹
۲-۲-۲ واپاشی‌های مزون B ---------- ۲۰
۲-۲-۳ نمودارهای فاینمن درختی و پنگوئنی ---------- ۲۳
۲-۳ فاکتوری کردن ---------- ۲٤
۲-۳-۱ فاکتوری کردن ساده ---------- ۲۵
۲-۳-۲ فاکتوری کردن QCD ---------- ۲۷
۲-۳-۳ هامیلتونی مؤثر ---------- ۲۸
۲-۳-٤ فرم فاکتورها و ثابت‌های واپاشی ---------- ۳۰
۲-٤ تابع دونقطه‌ایی و سه‌نقطه‌ایی ---------- ۳۲
۲-۵ تابع همبستگی مخروط نوری استاندارد و معکوس ---------- ۳۵
۲-٦ تقریب بُرل ---------- ۳٦
۲-۷ همزادی کوارک–هادرون ---------- ۳۷
۲-۸ انتشارگر کوارک آزاد و میدان کوارک موثر b ---------- ۳۹
محاسبه‌ی فرم فاکتورهای مزون سنگین به مزون سبک در چارچوب قاعده‌ی جمع مخروط نوری ٤۱
۳-۱ عناصر ماتریسی و فرم فاکتورها ---------- ٤۳
۳-۱-۱ عناصر ماتریسی گروه نیمه‌لپتونی ---------- ٤۳
۳-۱-۲ عناصر ماتریسی گروه پنگوئنی ---------- ٤٤
۳-۲ توابع موج در HQEFT ---------- ٤۵
۳-۳ فرمول‌بندی به وسیله‌ی قاعده‌ی جمع مخروط نوری در HQEFT ---------- ٤۹
۳-٤ تابع همبستگی دونقطه‌ای ---------- ۵۲
۳-۵ بسط حول مخروط نوری و دامنه‌های توزیع مزون ---------- ۵۵

۳-۵-۱ دامنه‌های توزیع دوذره‌ایی مزون‌های شبه‌نرده‌ایی ---------- ۵۶
۳-۵-۲ دامنه‌های توزیع دوذره‌ایی مزون‌های برداری ---------- ۵۷
۳-۵-۳ سهم مرتبه‌ی ۲-پیچشی ---------- ۵۹
۳-۵-۴ سهم مرتبه‌ی ۳ و ٤-پیچشی ---------- ۶۰
۳-۶ توابع موج کلی ---------- ۶۳
نتیجه‌گیری و بررسی عددی فرم فاکتورها ۶۶
٤-۱ جمع بندی ---------- ۶۶
٤-۲ تحلیل واپاشی پنگوئنی $B \to K^*(l\bar{l})$ و $B \to K^*\gamma$ ---------- ۶۷
٤-۳ پارامترهای ورودی برای واپاشی $B \to K^*$ ---------- ۶۹
٤-۳-۱ پارامترهای وابسته به مقیاس ---------- ۶۹
٤-۳-۲ پارامترهای وابسته به K^* ---------- ۶۹
٤-۴ فرم فاکتورهای K^* ---------- ۶۹
٤-۵ پارامترهای مورد نیاز برای واپاشی‌های دیگر ---------- ۷۲
٤-۵-۱ پارامترهای وابسته به مقیاس ---------- ۷۲
٤-۵-۱-۱ پارامترهای ورودی مربوط به مزون‌های شبه‌نرده‌ایی ---------- ۷۲
٤-۵-۱-۲ پارامترهای ورودی مربوط به مزون‌های برداری ---------- ۷۲
٤-۵-۲ پارامترهای ورودی وابسته به مزون ---------- ۷٤
٤-۵-۲-۱ پارامترهای مزون‌های شبه‌نرده‌ایی ---------- ۷٤
٤-۵-۲-۲ پارامترهای مزون‌های برداری ---------- ۷٤
٤-۶ نتایج عددی فرم فاکتورها ---------- ۷۶
٤-۷ نتیجه‌گیری ---------- ۸۰

پیوست ۱ ---------- ۸۱
پیوست ۲ ---------- ۸۳
مراجع ---------- ۸٦

لیست اشکال

شکل ۱-۱ ذرات بنیادی ---------- ۱۱

شکل ۲-۱ انواع مثلث‌های یکانی ---------- ۱۵

شکل ۲-۲ مثلث یکانی bd ---------- ۱۵

شکل ۲-۳ نمونه‌هایی از واپاشی ($B^- \to \bar{\tau}\bar{\nu}_\tau$)، واپاشی نیمه‌لپتونی $(\bar{B}^0 \to D^+ e^- \bar{\nu}_e)$

و واپاشی هادرونی $(\bar{B}^0 \to \pi^- D^+)$ ---------- ۲۲

شکل ۲-٤ تصویر واقعی‌تر از واپاشی غیرلپتونی ---------- ۲۲

شکل ۲-۵ نمودارهای فاینمن درختی و پنگوئنی ---------- ۲۳

شکل ۲-٦ فرآیندهای واپاشی نایاب B و سطح درختی---------- ۲٤

شکل ۲-۷ تجزیه‌ی عنصر ماتریسی به فرم فاکتور و ثابت واپاشی ---------- ۳۱

شکل ۲-۸ نمودار حاصل ازOPE، شامل دامنه‌ی توزیع سه‌ذره‌ایی، مرتبه‌ی اول (LO) ---------- ۳٤

شکل ۲-۹ نمودار حاصل ازOPE، شامل مراتب بالاتر (NLO) ---------- ۳۵

شکل ۲-۱۰ مخروط نوری استاندارد---------- ۳۵

شکل ۲-۱۱ مخروط نوری معکوس ---------- ۳٦

شکل ۲-۱۲ همزادی کوارک–هادرون ---------- ۳۷

شکل ۲-۱۳ سهم مراتب بالاتر ---------- ۳۹

شکل ۳-۱ نمایشی از واپاشی‌های نیمه‌لپتونی سنگین به سبک ---------- ٤۳

شکل ۳-۲ نمودارهای وابسته به سهم‌های دوذره ایی (a) و سه‌ذره ایی (b,c) ---------- ۵۲

شکل ٤-۱ حلقه‌ی c (چارم) در واپاشی $B \to K^* l^+ l^-$ ---------- ٦۸

شکل ٤-۲ نمودار فرم فاکتورهای واپاشی $B \to K^*$ تابعی از T برای s_0 های متفاوت در $q^2 = 0$-------- ۷۱

شکل ٤-۳ نمودار فرم فاکتورهای واپاشی $B \to K^*$تابعی از q^2 ---------- ۷۱

لیست جدول‌ها

جدول ۲–۱ فهرست نیروها در طبیعت و تئوری مربوط به آن‌ها----------۲۰

جدول ۲–۲ واپاشی‌های مزون B ----------۲۱

جدول ۳–۱: کانال‌های واپاشی بعضی از مزون‌ها تحت گذار کوارکی برای شناسایی $\bar{q}$ ----------٤٥

جدول ٤–۱: فرم فاکتورهای $B \to K^*$ به روش LCSR در مقیاس $\mu = 1GeV$ و [۱۹]: در مقیاس $\mu = 2.4GeV$ —۷۰

جدول ٤–۲ پارامترهای دامنه‌ی توزیع کایرال زوج----------۷۳

جدول ٤–۳ پارامترهای دامنه‌ی توزیع کایرال فرد----------۷۳

جدول ٤–٤ پارامترهای مربوط به دامنه‌ی توزیع مزون‌های شبه‌نرده‌ایی ----------۷٤

جدول ٤–٥ پارامترهای دامنه‌ی توزیع مزون‌ها در مقیاس $\mu_c = 1.3\text{GeV}$----------۷٤

جدول ٤–٦ پارامترهای دامنه‌ی توزیع مزون‌ها در سه مقیاس ----------۷٥

جدول ٤–۷ فرم فاکتورهای $B\,(D) \to P$ ----------۷٦

جدول ٤–۸ فرم فاکتورهای گروه نیمه‌لپتونی واپاشی‌های $B \to V$----------۷۷

جدول ٤–۹ فرم فاکتورهای گروه پنگوئنی واپاشی $B \to V$ ----------۷۸

جدول ٤–۱۰ فرم فاکتورهای $D \to V$ -- ----------۷۹

فصل اول

مقدمه

در این فصل به ذکر مقدمه‌ی کوتاهی در مورد فیزیک ذرات و مدل استاندارد و نیز قاعده‌ی جمع QCD و شبکه‌ی QCD خواهیم پرداخت.

۱-۱ فیزیک ذرات

فیزیک ذرات، مطالعه‌ی اجزای اصلی مواد است. در طی قرن‌ها، دانشمندان به وسیله‌ی آزمایش‌های گوناگون کشف کردند که مواد از مولکول‌ها، و مولکول‌ها از اتم‌ها، و اتم‌ها از الکترون‌ها و نوکلئون‌ها (پروتون و نوترون) تشکیل یافته‌اند.

اما سوال اساسی این است که: نوکلئون‌ها از چه تشکیل شده‌اند و نیروی حاکم بر آن‌ها چیست؟ این ذرات، ذرات بنیادی به معنی ذرات غیر قابل تجزیه نام دارند، با فرض این که تجزیه‌ی بیشتر آن‌ها باعث می‌شود به ذرات دیگری تبدیل شوند. علاوه بر ذرات، نیروی بین آن‌ها به صورت: گرانش، نیروی الکترومغناطیس،

نیروی قوی، و نیروی ضعیف کشف و تقسیم‌بندی شد. آزمایش‌های فیزیک ذرات، برای امتحان پیشگویی-های مدل استاندارد و تحقیق بر روی اثرهای ناشناخته‌ی این مدل است.

دو پارامتر مهم مدل استاندارد V_{ub} وV_{cb} است (مشابه بار الکتریکی الکترون) که این پارامترها، خواص اساسی کوارک‌ها را مشخص می‌کنند، و از طریق مدل استاندارد پیش‌بینی نمی‌شوند، بلکه فقط می‌توان آن‌ها را از طریق آزمایش تعیین کرد. اگرچه مدل استاندارد نسبتی بین دو پارامتر و چندین پارامتر دیگر را پیش‌بینی می-کند. فیزیک ذرات بنیادی، فیزیک انرژی‌های بالا نامیده می‌شود. در واپاشی ذرات، اغلب به گونه‌ی جدید ذرات علاقه‌مندیم. انرژی لازم برای ساخت ذرات از انرژی جنبشی اجزای واکنش (اغلب ذره‌ی فرودی) تامین می‌شود و چون این انرژی غالباً زیاد است، این نوع پژوهش‌ها را اغلب اوقات فیزیک انرژی‌های بالا می‌گویند، و به همین دلیل از معادلات نسبیتی برای انرژی و تکانه استفاده می‌شود.

فیزیک ذرات بنیادی به مطالعه‌ی ذرات اصلی و تشکیل دهنده‌ی مواد و نیروهای بین آنها می‌پردازد. در فیزیک ذرات، با برهمکنش‌های بین ذرات در اساسی‌ترین سطح آن سروکار داریم. هدف از این علم درک قوانین بنیادی حاکم بر تشکیل مواد و جهان مادی است. همچنین این علم یکی از شاخه‌های اصلی مطالعات علمی بر سر فهم سرچشمه‌ی دنیاست. فیزیک ذرات موضوعی جدید است و بیشتر کشف‌های مربوط به آن از آغاز قرن بیستم به بعد انجام شده است و اساساً با هر ذره بنیادی‌تر از اتم که مواد پایدار را تشکیل می‌دهند و می‌توانیم آنها را ببینیم و همچنین موادی که در انرژی‌های بالا و یا در پیدایش اولیه جهان وجود داشته‌اند، سروکار دارد [۱].

۱-۲ مدل استاندارد[1]

امروزه فیزیکدانان ذرات بر این باورند که بتوانند رفتار تمام ذرات زیراتمی شناخته‌شده را با یک قالب تئوری ساده به نام مدل استاندارد توصیف کنند. مدل استاندارد که یکی از دستاوردهای مهم قرن بیستم محسوب می‌شود سرآغازی برای توصیف کامل‌ترین نیروهای طبیعت است. این مدل یک نظریه‌ی موفق و جامع در مورد برهمکنش ذرات در زمان کنونی می‌باشد.

مدل استاندارد از متحد شدن نظریه‌های نیروهای الکتروضعیف و قوی بر پایه‌ی تئوری پیمانه‌ای بوجود آمده است، که آن را می‌توان بوسیله یک لاگرانژی بنیادی توصیف کرد. این لاگرانژی توسط سهم‌های سه بخش، کوانتوم دینامیک رنگ‌ها (QCD)، برهمکنش‌های الکتروضعیف و بخش هیگز ساخته شده است. ساختار پیمانه‌ای مدل استاندارد به شکل $SU(3)_C \otimes SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ است.

[1] Standard Model

بخش اول این مدل، نظریه‌ی QCD برای برهمکنش‌های قوی است که توصیف برهمکنش‌های بین کوارک‌ها و گلوئون‌ها[1] می باشد. فعالیت این نیروها با «بار رنگ» و بر پایه‌ی گروه پیمانه‌ای $SU(3)_C$ استوار است. می-دانیم که کوارک‌ها شامل سه رنگِ قرمز، آبی، و سبز هستند که رنگ‌ها فقط برای نام‌گذاری می‌باشند و کوارک‌ها هیچ تابشی ندارند که فرکانس آن، شبیه فرکانس نور آبی، قرمز یا سبز باشد و در چشم، این رنگ‌ها را تداعی کنند. همان‌طور که بار الکتریکی دو وجه مثبت و منفی دارد رنگ هم سه وجه دارد. رنگ یک مقدار منتسب به کوارک‌هاست که کوارک‌های یکسان دیگر با همان طعم را از آن متمایز می‌کند. این سه رنگ، نُه حالت ایجاد می‌کنند، از طرفی می‌دانیم هادرون‌ها که شامل مزون‌ها $(q\bar{q})$ و باریون‌ها $(qqq\,,\bar{q}\bar{q}\bar{q})$ هستند باید بی‌رنگ باشند، بنابراین حالت‌هایی مجاز هستند که از این قانون پیروی کنند.

بخش بعدی مدل استاندارد آن قسمتی از برهمکنش‌های الکتروضعیف است که به وسیله گلاشو–سلام–واینبرگ [۲] و [۳] توصیف شده‌است که بر پایه‌ی پیمانه‌ی گروهِ $SU(2)_L\otimes U(1)_Y$ استوار است. این نظریه یک رفتار متحد از برهمکنش‌های ضعیف و الکترومغناطیسی می‌باشد که در آن یک فوتون به عنوان انتشارگر نقش ایفا می‌کند. برهمکنش ضعیف تمام واپاشی‌های ذرات را که نمی‌توانند به وسیله‌ی برهمکنش‌های قوی یا الکترومغناطیسی پیش بروند، کنترل می‌کند. در مدل استاندرد، تمام مواد از سه نوع ذره‌ی بنیادی ساخته شده اند: لپتون‌ها، کوارک‌ها، و واسطه‌ها. در بخش‌های بعد به طور مختصر درباره‌ی آن‌ها توضیح می‌دهیم.

۱-۲-۱ لپتون‌ها

شش لپتون که بر حسب بار (Q) خود، عدد الکترونی (L_e)، عدد میونی (L_μ) و عدد تاو (L_τ) از یکدیگر متمایز می‌شوند، در سه نسل قرار می‌گیرند، این لپتون‌ها شش پادذره نیز دارند که تمام علامت‌های آن‌ها عوض می-شوند، بنابراین در کل ۱۲ لپتون داریم.

نسل اول شامل الکترون و نوترینوی الکترون، دارای عدد الکترونی یک می‌باشد، نسل دوم شامل میون و نوترینوی میون دارای عدد میونی یک و نسل سوم شامل تاو و نوترینوی تاو با عدد تاو یک هستند. بار الکتریکی e,μ,τ برابر یک می باشد و $\vartheta_e\,,\vartheta_\mu\,,\vartheta_\tau$ بدون بار هستند.

$$\begin{matrix} L_e=1 \\ \downarrow \\ \begin{pmatrix} e \\ \vartheta_e \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \text{و} \quad \begin{matrix} L_\mu=1 \\ \downarrow \\ \begin{pmatrix} \mu \\ \vartheta_\mu \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \text{و} \quad \begin{matrix} L_\tau=1 \\ \downarrow \\ \begin{pmatrix} \tau \\ \vartheta_\tau \end{pmatrix} \end{matrix}$$

[1] gluon

۱-۲-۲ کوارک‌ها

شش طعم کوارک وجود دارد که با توجه به بار (Q)، بالا (u)، پایین (d)، شگفتی[۱] (s)، افسون[۲] (c)، زیبایی[۳] (b) و حقیقت[۴] (t) در سه نسل رده‌بندی شده‌اند.

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \quad , \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \quad , \quad \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix} \qquad \begin{matrix} \leftarrow \ Q = \ 2/3 \\ \leftarrow \ Q = -1/3 \end{matrix}$$

هر طعم کوارک به سه رنگ یافت می‌شود، که هر کدام هم یک پادذره با علامت‌های مخالف دارند، بنابراین در مجموع ۳۶ کوارک داریم. کوارک‌های u ،s و d را کوارک‌های سبک می‌نامند. کوارک‌های بالا و پایین دارای کمترین وزن در بین کوارک‌ها هستند و در تشکیل مواد پایدار معمولی نقش مهمی دارند. کوارک‌های سنگین‌تر در طی یک فرآیند واپاشی به کوارک‌های بالا و پایین تبدیل می‌شوند.

قسمت عمده‌ای از اطلاعاتمان در مورد نیروهای قوی، از بررسی کوارک‌های سبک‌تر حاصل شده‌است، اما امکان دارد با بررسی کوارک سنگین‌تر اطلاعات جدیدی کسب شود. نظریه‌ی بنیادی ساختار کوارک، وجود کوارک‌های آزاد را ممنوع می‌کند. جرم کوارک‌ها را نمی‌توان به طور مستقیم تعیین کرد زیرا تاکنون کوارک آزادی مشاهده نشده است. کوارک‌ها فقط درون هادرون‌ها وجود دارند، زیرا به وسیله‌ی میدان نیروی کنش قوی (بار رنگی) محدود شده‌اند. نیروی پرقدرت کوارک (نیروی رنگ) از جدا شدن بیش از حد کوارک‌های داخل هسته از یکدیگر و یا حتی از پرت شدن آنها به خارج جلوگیری می‌کند. بنابراین نمی‌توانیم با منزوی کردن کوارک‌ها جرم آنها را اندازه‌گیری کنیم.

۱-۲-۳ واسطه‌ها

هر اندرکنشی برای اینکه اتفاق افتد، نیازمند واسطه‌ی مخصوص است. این واسطه‌ها را در سه گروه می‌توانیم قرار دهیم:

الف) فوتون (γ)، واسطه برای نیروی الکترومغناطیسی

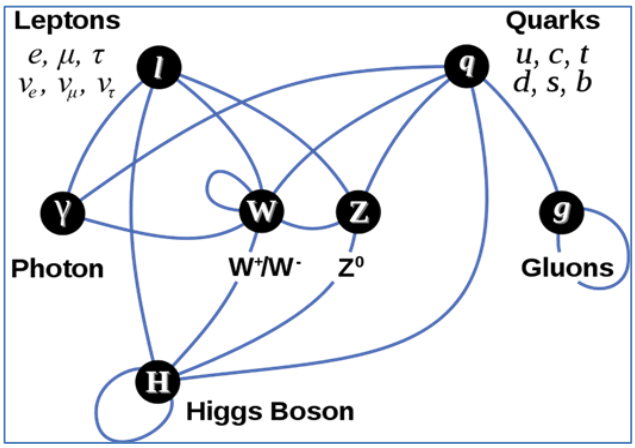
ب) بوزون‌های برداری $W^{\pm}$ و Z^{0}، واسطه برای نیروهای ضعیف

پ) هشت گلوئون (g)، واسطه‌ی نیروی قوی.

---

۱ strange
۲ charmed
۳ Beauty or bottom
۴ Truth or top

تئوری گلاشو–واینبرگ–سلام، یک ذره‌ی هیگز[1] را نیز پیش‌بینی می‌کند. بنابراین روی هم‌رفته، در مدل استاندارد، ٦١ ذره‌ی بنیادی وجود دارد. لازم به ذکر است که گراویتون، واسطه‌ی نیروی جاذبه، در مدل استاندارد در نظر گرفته نمی‌شود، چون این مدل، اصلاً جاذبه را بررسی نمی‌کند.



شکل ۱–۱ ذرات بنیادی

۱–۲–٤ بوزون‌ها وفرمیون‌ها

در یک نوع تقسیم‌بندی بر اساس اسپین، ذرات بنیادی را در دو گروه اصلی طبقه بندی می‌کنند: بوزون‌ها و فرمیون‌ها (مشابه این تقسیم‌بندی برای کل ذرات نیز وجود دارد):

الف) بوزون‌ها: به نام فیزیکدان هندی، ساتیندرنات بوز[2]، ذرات بنیادی با اسپین صحیح را بوزون می‌نامند. از گروه بوزون‌ها می‌توان به فوتون، گلوئون، $W^{\pm}$ و Z^0 اشاره کرد. بوزون‌ها ذراتی هستند که نیرو حمل می‌کنند. این ذرات از معادلات بوز–اینشتین پیروی می‌کنند.

ب) فرمیون‌ها: به نام فیزیکدان ایتالیایی، انریکو فرمی[3]، ذرات بنیادی با اسپین نیمه‌صحیح را، فرمیون می‌نامند. همه‌ی مواد در جهان، از ترکیب فرمیون‌ها تشکیل یافته‌اند. این ذرات از معادلات فرمی–دیراک پیروی می‌کنند. فرمیون‌های بنیادی به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند: لپتون‌ها و کوارک‌ها، که در دو بخش قبل به توضیح آن‌ها پرداختیم.

[1] Higgs boson
[2] Satiendranat Bose
[3] Enrico Fermi

۱-۳ قاعده جمع QCD

این روش در اصل برای محاسبه‌ی مشخصه‌های ساده‌ای از هادرون‌ها، نظیر جرم‌ها، به کار می‌رود. در محاسبه‌ی خیلی از پارامترهای پیچیده مانند فرم فاکتور و یا توابع موج هادرونی نیز کارآیی دارد. قاعده‌ی جمع برای محاسبه‌ی اثرات غیر اختلال[1] (منظم) کرمودینامیک کوانتومی (QCD)[2] مورد استفاده قرار می‌گیرد. هادرون‌ها توسط جریان‌های کوارک ارائه می‌شوند، که در قالب توابع بستگی شکل می‌گیرند. آن‌ها در یک بسط ضربی عملگری برای جداکردن سهم‌های طول کوتاه و بلند از سهم‌های برهمکنش‌های کوارک-گلوئون قرار داده می‌شوند. قسمت‌های طول کوتاه دوباره قابل محاسبه در اختلال طبیعی QCD هستند. سهم‌های طول بلند توسط حالت خلاء یا بوسیله‌ی دامنه‌های توزیع هسته‌ی سبک فرمول‌بندی می‌شوند. نتیجه‌ی این محاسبات از طریق روابط انتشار با جمع حالت‌های هادرونی مطابقت داده می‌شود، این روش، قاعده‌ی جمع را به ما می‌دهد که به ما اجازه می‌دهد تا مقادیر ویژه‌حالت‌های پایه‌ی هادرونی را محاسبه نمائیم. این کار بعلاوه‌ی اطلاعات تجربی، می‌تواند برای تعیین جرم کوارک‌ها و پارامترهای غیراختلال عمومی به کار رود.

در این قاعده محدودیت‌هائی نیز وجود دارد که برآمده از تقریب‌زدن توابع همبستگی می‌باشد. در ضمن خطاهای تقریب‌زدن برای انتگرال‌های انتشار نیز وجود دارند که این انتگرال‌ها یا پیچیده هستند یا ساختار آن-ها ناشناخته‌اند. با این وجود این قاعده بسیار موفق عمل می‌کند و می‌توان از خطاهای گفته‌شده صرف‌نظر کرد. قاعده‌ی جمع کلاسیک بر پایه‌ی همبستگی دو نقطه استوار است. ملحق شدن روش‌های قاعده‌ی جمع به بسط هسته‌ی سبک روش خیلی موفق جدیدی به نام قاعده جمع هسته‌ی سبک را می‌دهد.

۱-۴ شبکه QCD

می‌خواهیم قادر به تخمین پارامترهای بنیادی QCD باشیم. برای این کار نیاز داریم که دو جنبه‌ی QCD اعم از اختلال وغیراختلال را مورد بررسی قرار دهیم. شبیه‌سازی‌های عددی از شبکه[3]ی QCD قادر به انجام چنین کاری می‌باشند. پارامترهایی که به وسیله روش های شبکه می‌توانند توصیف شوند ثابت‌های واپاشی، فرم فاکتورها و عناصر ماتریس هادرونی هستند. در این راستا اغلب اوقات به قاعده‌ی جمع QCD تکیه می-کنیم. این خیلی مهم است که بدانیم چه محدودیت‌هایی در نتایج شبکه‌ای که ما به کار می‌بریم وجود دارند. QCD، می‌تواند توسط انتگرال مسیر فاینمن بیان شود. محاسبه‌ی این انتگرال‌ها خیلی سخت است. ولی می-

[1] Non-perturbative
[2] chromodynamics
[3] Lattic

توان یک تخمین با گسسته کردن چهار بعد مکان-زمان در شبکه 4D به کار برد. بدین گونه که لاگرانژی شامل میدان‌ها و مشتقات میدان‌ها، با جایگزین کردن میدان‌های پیوسته با میدان‌های موجود در شبکه، گسسته می‌شود. انتگرال مسیر چهار بعدی میدان به انتگرال یک بعدی که روی مقادیر میدان‌ها در شبکه عمل می کند تبدیل می‌شود. برای مثال استفاده از شبیه‌سازی مونته-کارلو را می‌توان نام برد. این کار پایه‌ی اصلی شبکه QCD می‌باشد. بخش گلوئونی QCD به طور کامل در شبکه قابل توصیف است، اما برای طبیعت فرمیونی کوارک‌ها پیچیده‌تر است، با این وجود اعدادی برای مدل‌های متفاوتی که شامل کوارک‌ها در شبکه هستند وجود دارند، مانند کوارک‌های ویلسون[1] یا کوارک‌های شطرنجی[2]. کوارک‌های سنگین مانند کوارک b می توانند در یک قاعده‌ی کلی مانند کوارک‌های سبک رفتار کنند. رفتار غیرنسبیتی کوارک b کارآیی خیلی زیادی را به اثبات رسانده است. استفاده از محدوده‌ی کوارک‌های سنگین، که در آن جرم کوارک b، بی‌نهایت در نظر گرفته می‌شود، یک فرمول‌بندی غیرنسبیتی مناسب برای QCD می‌باشد.

[1] Wilson quarks
[2] Staggered quarks

فصل دوم

مفاهیم اساسی

در این فصل مفاهیم اولیه و مربوط به مزون B و همچنین مفاهیم اصلی و مورد نیاز برای تحلیل قاعده‌ی جمع مخروط نوری را در چند بخش توضیح خواهیم داد. این مفاهیم را در فصل ۳ و٤ بکار خواهیم برد.

۲-۱ ماتریس CKM

ماتریس یکانی کابیبو–کوبایاشی–ماسکاوا[1] CKM، نسل‌های کوارکی برهمکنش ضعیف را با حالت‌های کوارکی فیزیکی، ارتباط می‌دهد. این ماتریس نُه عضو دارد، که همگی آن‌ها مستقل نیستند، و می‌تواند به فرم-های متفاوت نوشته شود، شکل عمومی که بخش هایی از کوارک‌های دارای بار $e\,(۲/۳)$ را به هم جفت می-کند، به شکل زیر است (این فرم برای فیزیکدانان مفیدتر است).

$$\begin{pmatrix} \acute{d} \\ \acute{s} \\ \acute{b} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix} \qquad (۱-۲)$$

[1] Cabibo-Kobayashi-Maskawa