



پایان نامه دکتری در رشته فیزیک ذرات بنیادی

واپاشی مزون B در مدل استاندارد و ورای مدل استاندارد

توسط
فاطمه فلاحتی

استاد راهنما:
دکتر سید محمد زبرجد
دکتر محمد رضا احمدی

شهریور ماه ۱۳۸۸

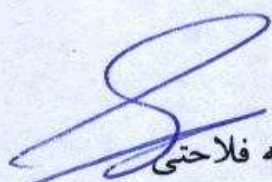
بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

اظهار نامه

اینجانب فاطمه فلاحتی (۸۳۲۸۸۹)، دانشجوی رشته‌ی فیزیک گرایش فیزیک ذرات بنیادی دانشکده علوم اظهار می‌نمایم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم.

کلیه‌ی حقوق این اثر مطابق با آئین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.



فاطمه فلاحتی

۸۸/۸/۱

به نام خدا

واپاشی مزون B در مدل استاندارد و ورای مدل استاندارد

به وسیله‌ی:

فاطمه فلاحتی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از
فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه دکتری

در رشته‌ی:

فیزیک ذرات بنیادی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر سید محمد زبرجد، دانشیار بخش فیزیک (رئیس کمیته)
دکتر محمد رضا احمدی، استاد بخش فیزیک دانشگاه مانت الیسون کانادا (رئیس کمیته)

دکتر نادر قهرمانی، استاد بخش فیزیک

دکتر نعمت اله ریاضی، استاد بخش فیزیک

دکتر غلامحسین بردبار، استاد بخش فیزیک

دکتر عزیز اله عزیزی، استادیار بخش فیزیک

دکتر منصور حقیقت، دانشیار بخش فیزیک دانشگاه صنعتی اصفهان (استاد مدعو)

شهریور ماه ۱۳۸۸

تقدیم به:

تمام عزیزانی

که همواره حامی و مشوق من بوده‌اند

سپاسگزاری

اینک که به لطف پروردگار این رساله به پایان رسیده از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر سید محمد زبرجد و دکتر محمد رضا احمدی (اساتید راهنمای این رساله)، دکتر والی بشیری و دکتر کاظم عزیزی به خاطر تمام راهنمایی‌های خوب و ارزنده کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از اعضای محترم کمیته دفاع پایان نامه، جناب آقای دکتر نادر قهرمانی، دکتر نعمت‌اله ریاضی، دکتر غلامحسین بردبار، دکتر عزیزاله عزیزی، دکتر منصور حقیقت (استاد مدعو) و نماینده محترم تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاعیه، جناب آقای دکتر محمود حسینی فرزاد تشکر می‌نمایم. در پایان بر خود واجب می‌دانم که از خانواده عزیزم به خاطر تمام دل‌گرمی‌ها و تحمل زحمت‌هایم در تمام دوران تحصیل، قدردانی نمایم.

چکیده

واپاشی مزون B در مدل استاندارد و ورای مدل استاندارد

بوسیله‌ی:

فاطمه فلاحتی

در این رساله دو نظریه وریای مدل استاندارد که شامل کوارک برداری و کوارک نسل چهارم می‌شوند، به وسیله واپاشی‌های مزون B که در آینده نزدیک در LHC مشاهده خواهند شد، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. بدین ترتیب امکان تحقیق در درستی هر یک از این نظریه‌ها به زودی میسر خواهد شد. برای این منظور در ابتدا اثر کوارک برداری را در محدوده مجاز پارامترهای آن، بر روی واپاشی‌های هادرونی B_s مورد بررسی قرار می‌دهیم. این واپاشی‌ها تمام گذارهای $B_s \rightarrow PP$ ، $B_s \rightarrow PV$ و $B_s \rightarrow VV$ را شامل می‌شوند. تحقیق ما نشان می‌دهد که مقدار نسبت شاخه‌ای در واپاشی‌های $B_s \rightarrow \phi\pi^0$ ، $B_s \rightarrow \pi\eta$ و $B_s \rightarrow \pi\eta'$ و نقض مستقیم CP در واپاشی‌های $B_s \rightarrow \phi\phi$ و $B_s \rightarrow \phi\eta'$ بیشترین حساسیت را به وجود کوارک برداری پایین دارند؛ به طوری که این واپاشی‌ها در LHC می‌توانند برای کشف فیزیک جدید مورد توجه بیشتری قرار بگیرند. همچنین اثر کوارک نسل چهارم را در محدوده مجاز پارامترهای آن، بر روی نامتقارنی‌های قطبیدگی دو لپتون در واپاشی $B_s \rightarrow \phi\ell^+\ell^-$ بررسی

می‌کنیم. این تحقیق نشان می‌دهد که تعداد قابل توجهی از این نامتقارنی‌ها به پارامترهای کوآرک نسل چهارم وابستگی زیادی را نشان می‌دهند؛ به طوری که در LHC می‌توانند قابل اندازه‌گیری باشند.

فهرست

صفحه	عنوان
۱	۱ مقدمه
۷	۲ نظریه‌ی موثر در SM
۸	۱-۲ نگاهی کلی بر روی نظریه‌ی موثر در SM
۱۲	۲-۲ تنظیم ابعادی
۱۳	۳-۲ بازبهنجارش
۱۶	۴-۲ معادلات گروه بازبهنجارش
۱۸	۵-۲ حرکت ضریب جفتیدگی
۱۹	۶-۲ حرکت جرم کوارک
۲۰	۷-۲ نظریه‌ی اختلالی بهترشده‌ی گروه بازبهنجارش
۲۱	۸-۲ بسط حاصل ضرب عملگر در برهم‌کنش ضعیف
۲۲	۹-۲ بسط حاصل ضرب عملگر و اثرات فواصل کوتاه QCD
۲۸	۱۰-۲ معادلات گروه بازبهنجارش برای ضرایب ویلسون
۳۷	۱۱-۲ محاسبه‌ی ابعاد غیر عادی
۳۹	۱۲-۲ محاسبه‌ی ماتریس ابعادی غیر عادی تک حلقه‌ای 2×2

۴۵	پنگوئن‌های QCD	۱۳-۲
۵۱	محاسبه‌ی ماتریس ابعادی غیرعادی تک حلقه‌ای 6×6	۱۴-۲
۶۵	پنگوئن‌های الکتروضعیف	۱۵-۲
۶۹	پنگوئن‌های مغناطیسی	۱۶-۲
۷۶	عملگرهای شبه لپتونی	۱۷-۲
۸۴	محاسبه دامنه واپاشی برای واپاشی‌های هادرونی مزون B	۳
۸۵	ساختار بندی ابتدایی (Naive Factorization)	۱-۳
۹۵	ساختار بندی کلی (Generalized Factorization)	۲-۳
۱۰۰	ساختار بندی QCD (QCD Factorization)	۳-۳
۱۰۳	دامنه توزیع مخروط نوری (LCDA)	۱-۳-۳
۱۰۶	نمودارهای پنگوئنی QCD	۲-۳-۳
۱۱۴	نمودار درختی مغناطیسی QCD	۳-۳-۳
۱۲۱	مدل کوارک‌های برداری (VQM)	۴
۱۲۲	معرفی VQM	۱-۴
۱۳۰	اثر VDQM بر روی گذار $b \rightarrow sq\bar{q}$	۲-۴
۱۳۸	محدودیت بر روی پارامترهای VDQM و $Br(B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-)$	۳-۴
۱۳۹	نحوه اندازه گیری $Br(B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-)$ در آزمایشگاه	۱-۳-۴
۱۴۰	SM در $Br(B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-)$	۲-۳-۴
۱۴۱	VQM در $Br(B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-)$	۳-۳-۴
۱۴۵	واپاشی‌های هادرونی B_s به دو مزون بدون کوارک c در VQM	۵

۱۴۶.	۱-۵	بررسی اثر VQD بر روی واپاشی‌های هادرونی مزون B_s
۱۵۰.	۲-۵	تجزیه و تحلیل
۱۵۳.	۳-۵	نتیجه‌گیری
۱۶۱	۶	نامتقارنی قطبیدگی دو لپتون در واپاشی $B_s \rightarrow \phi l^+ l^-$ در SM4
۱۶۲.	۱-۶	محاسبه دامنه واپاشی $B_s \rightarrow \phi l^+ l^-$ در SM
۱۶۶.	۲-۶	محاسبه دامنه واپاشی $B_s \rightarrow \phi l^+ l^-$ در SM4
۱۶۸.	۳-۶	عدم تقارن در قطبیدگی دو لپتون
۱۷۷.	۴-۶	تجزیه و تحلیل
۱۸۳.	۵-۶	نتیجه‌گیری
۱۹۲	۷	مروری بر نتایج
۱۹۵		پیوست
۲۰۱		منابع و ماخذ

فهرست شکلها

- ۱-۲ واپاشی β در سطح کوارکی در نظریه‌ی کامل (a) و در نظریه‌ی موثر (b). ۹
- ۲-۲ نمودارهای درختی تک حلقه‌ای در نظریه‌ی کامل. ۲۳
- ۳-۲ نمودارهای درختی در نظریه‌ی موثر مربوط به نمودارهای (۲-۲). ۲۴
- ۴-۲ نمودارهای تک حلقه‌ای پنگوئنی و جعبه‌ای در نظریه‌ی کامل. ۴۶
- ۵-۲ نمودار تک حلقه‌ای پنگوئنی در نظریه‌ی موثر. ۵۱
- ۶-۲ نمودار درختی در نظریه‌ی موثر مربوط به نمودار پنگوئنی (۴-۲). ۵۲
- ۷-۲ نمودار درختی در نظریه‌ی موثر مربوط به نمودار پنگوئنی دو حلقه‌ای. ۵۳
- ۸-۲ چگونگی تولید شدن نمودار (۲-۵a) از نظریه‌ی کامل. ۵۴
- ۹-۲ چگونگی تولید شدن نمودار (۲-۵a) و (۲-۵b) از نظریه‌ی کامل. ۵۴
- ۱۰-۲ نمودارهای نظریه‌ی موثر مولد عملگر مغناطیسی گلوانی و فتونی. ۶۹
- ۱۱-۲ چگونگی تولید شدن نمودار (۲-۱۰a) از نظریه‌ی کامل. ۷۰
- ۱۲-۲ چگونگی تولید شدن نمودار (۲-۱۰b) از نظریه‌ی کامل. ۷۰
- ۱۳-۲ چگونگی تولید شدن نمودار (۲-۱۰b) و (۲-۱۰c) از نظریه‌ی کامل. ۷۱
- ۱۴-۲ نمودارهای تک حلقه‌ای پنگوئنی و جعبه‌ای در نظریه‌ی کامل. ۷۶
- ۱۵-۲ نمودارهای نظریه‌ی موثر مولد عملگرهای شبه لپتون. ۷۷

۱۶-۲	چگونگی تولید شدن نمودار (۲-۱۵a) از نظریه‌ی کامل.	۷۷
۱۷-۲	اضافه شدن تصحیحات QED به نمودار (۲-۱۶)	۷۸
۱۸-۲	چگونگی تولید شدن نمودار (۲-۱۵b) از نظریه‌ی کامل.	۷۹
۱۹-۲	چگونگی تولید شدن نمودار (۲-۱۵b) و (۲-۱۵c) از نظریه‌ی کامل.	۷۹
۱-۳	تصحیحات مرتبه α_s برای هسته‌های $T_{M,i}^I$ و $T_{M,i}^{II}$	۱۰۱
۲-۳	نمودارهای نابودی مرتبه α_s .	۱۰۲
۳-۳	نمودار درختی مغناطیسی.	۱۱۴
۱-۴	نمودارهای درختی که در VQM از طریق FCNC اتفاق می‌افتند.	۱۲۷
۲-۴	ناحیه مجاز پارامترهای VDQM.	۱۴۳
۱-۵	وابستگی Br به پارامترهای VDQM در $B_s \rightarrow \phi\pi$	۱۵۶
۲-۵	وابستگی Br به پارامترهای VDQM در $B_s \rightarrow \rho\phi$	۱۵۸
۳-۵	وابستگی Br به پارامترهای VDQM در $B_s \rightarrow \eta\pi$ و $B_s \rightarrow \eta'\pi$	۱۵۹
۴-۵	وابستگی ACP به پارامترهای VDQM در $B_s \rightarrow \phi\eta'$	۱۵۹
۵-۵	وابستگی ACP به پارامترهای VDQM در $B_s \rightarrow \phi\phi$	۱۶۰
۱-۶	وابستگی $\langle P_{LL} \rangle$ به پارامترهای SM4 در $B_s \rightarrow \phi\ell^+\ell^-$	۱۸۵
۲-۶	وابستگی $\langle P_{LN} \rangle$ به پارامترهای SM4 در $B_s \rightarrow \phi\ell^+\ell^-$	۱۸۶
۳-۶	وابستگی $\langle P_{LT} \rangle$ به پارامترهای SM4 در $B_s \rightarrow \phi\ell^+\ell^-$	۱۸۷
۴-۶	وابستگی $\langle P_{TL} \rangle$ به پارامترهای SM4 در $B_s \rightarrow \phi\ell^+\ell^-$	۱۸۸
۵-۶	وابستگی $\langle P_{TN} \rangle$ به پارامترهای SM4 در $B_s \rightarrow \phi\ell^+\ell^-$	۱۸۹

۱۹۰ وابستگی $\langle P_{NN} \rangle$ به پارامترهای SM4 در $B_s \rightarrow \phi \ell^+ \ell^-$ ۶-۶

۱۹۱ وابستگی $\langle P_{TT} \rangle$ به پارامترهای SM4 در $B_s \rightarrow \phi \ell^+ \ell^-$ ۷-۶

فهرست جدولها

۱۵۴.	مقادیر پارامترهای ورودی.	۱-۵
۱۵۴.	توابع ساختار گذارهای $B_s \rightarrow (V, P)$ در $q^2 = 0$.	۲-۵
۱۵۵.	مقدار Br با حضور VDQ در گذار $B_s \rightarrow PV$.	۳-۵
۱۵۵.	مقدار Br با حضور VDQ در گذار $B_s \rightarrow VV$.	۴-۵
۱۵۶.	مقدار Br با حضور VDQ در گذار $B_s \rightarrow PP$.	۵-۵
۱۵۷.	مقدار ACP با حضور VDQ در گذار $B_s \rightarrow PV$.	۶-۵
۱۵۷.	مقدار ACP با حضور VDQ در گذار $B_s \rightarrow VV$.	۷-۵
۱۵۸.	مقدار ACP با حضور VDQ در گذار $B_s \rightarrow PP$.	۸-۵
۱۶۴.	پارامترهای توابع ساختار گذار $B_s \rightarrow \phi$.	۱-۶

فصل ۱

مقدمه

مقدمه

در دهه‌ی اخیر آزمایشگاه‌های B ^۱ موفقیت خوبی را در تولید جفت مزون‌های $B\bar{B}$ و بررسی واپاشی‌های حاصل از آنها را داشته‌اند؛ به طوری که گروه‌های $BELLE$ ^۲ و $BABAR$ توانسته‌اند بیش از یک میلیارد رویداد^۳ را برای $B\bar{B}$ تولید کنند و واپاشی‌های آنها را به خوبی تجزیه و تحلیل نمایند. LHC ^۴ نیز می‌تواند سه تا پنج سال آینده صد تا هزار برابر، تعداد رویداد $B\bar{B}$ را افزایش دهد و کمیت‌های فیزیکی مربوط به آنها (نسبت شاخه‌ای، نقض مستقیم CP و غیره) را با دقت خیلی زیاد اندازه‌گیری نماید [۱]. این اعداد می‌توانند راه خوبی را برای آزمودن مدل استاندارد (SM) و یا یافتن شاهدهای تجربی برای فیزیک فراتراز مدل استاندارد، فراهم سازند. بنابراین لازم می‌شود تا مقادیر کمیت‌های فیزیکی که قبلاً آنها را ذکر کردیم از طریق SM و مدل‌های فراتراز SM با دقت زیادی محاسبه گردند.

مزون B می‌تواند دارای سه نوع واپاشی لپتونی، شبه لپتونی و هادرونی باشد که ما در این رساله واپاشی‌های شبه لپتونی و هادرونی را مورد مطالعه قرار خواهیم داد. برای بررسی کمیت‌های فیزیکی مربوط به این واپاشی‌ها لازم است که در ابتدا دامنه‌ی واپاشی آنها نوشته شود. از آنجا که در انجام این واپاشی‌ها هم برهم‌کنش الکتروضعیف^۵ و هم برهم‌کنش قوی^۶ شرکت دارند و برهم‌کنش قوی در انرژی‌های پایین ماهیتی غیراختلالی^۷ و در انرژی‌های

^۱ B-factory
^۲ Collaboration
^۳ event
^۴ Large Hadron Collider
^۵ electroweak
^۶ strong
^۷ non-perturbative

بالا ماهیتی اختلالی^۸ دارد، دامنه‌ی واپاشی در نظریه موثر^۹ نوشته می‌شود که در آن از ابزار نظری مناسبی مانند بسط حاصل ضرب عملگر^{۱۰} (OPE) و نظریه گروه بازبهنجارش^{۱۱} استفاده می‌شود [۴۹، ۴۸، ۳۵]. از مزایای مهم OPE جدا سازی دامنه‌ی واپاشی به دو قسمت سهم‌های کوتاه برد^{۱۲} و بلند برد^{۱۳} می‌باشد. سهم‌های فیزیکی کوتاه برد، مربوط به انرژی‌های بالاتر از مقیاس μ ^{۱۴} می‌باشند که در ضرایب ویلسون^{۱۵}، $C_i(\mu)$ ، قرار می‌گیرند. ضرایب $C_i(\mu)$ که قسمت اختلالی دامنه واپاشی را می‌سازند، با استفاده از نظریه گروه بازبهنجارش محاسبه می‌گردند. سهم‌های فیزیکی بلند برد نیز به عملگرهای چهار فرمیونی و یا دو فرمیونی ناشی شونده از نمودارهای فاینمن موجود در نظریه موثر^{۱۶} برمی‌گردند که بین مزون‌های اولیه و نهایی قرار گرفته‌اند. این گونه سهم‌ها مربوط به انرژی‌های کمتر از μ می‌باشند و قسمت غیر اختلالی دامنه‌ی واپاشی را می‌سازند. از مجموع بحث بالا به طور ضمنی این نتیجه به دست می‌آید که برای به دست آوردن دامنه‌ی واپاشی می‌توان از هامیلتونی موثر، \mathcal{H}_{eff} ، استفاده نمود و با قرار دادن آن بین مزون‌های اولیه و نهایی دامنه‌ی واپاشی را به طور کامل محاسبه کرد. هامیلتونی موثر، دامنه‌ی واپاشی برای گذار کوارکی است که شامل عملگرهای چهار فرمیونی و یا دو فرمیونی مناسب و ضرایب ویلسون مربوط به آنها می‌شود. نظریه‌ی موثر در SM به تفصیل در فصل (۲) مورد مطالعه قرار گرفته است.

همان طور که گفته شد قسمت غیر اختلالی به عملگرهای چهار فرمیونی و یا دو فرمیونی قرار گرفته بین مزون‌های اولیه و نهایی که عناصر ماتریسی خوانده می‌شوند، ارتباط دارد. در محاسبه این عناصر ماتریسی توابع ساختار گذار ظاهر می‌شوند که مربوط به گذار مزون

^۸ perturbative
^۹ effective theory
^{۱۰} Operator Product Expansion
^{۱۱} Renormalization Group
^{۱۲} short distance
^{۱۳} long distance
^{۱۴} scale
^{۱۵} Wilson coefficient
^{۱۶} در این نمودارها اثری از ذرات سنگین و یا پرنرژی نیست.

B به یک مزون دیگر است که با هم در یک کوآرک ناظر اشتراک داشته باشند. در توابع ساختار اطلاعاتی راجع به ساختار درونی این مزون‌ها و مبادله‌ی گلوان بین آنها وجود دارد. این توابع از طریق روش‌های QCD غیر اختلالی محاسبه می‌گردند. از جمله‌ی این مدل‌ها 3PSR^{17} [۳، ۲]، LCSR^{18} [۵، ۴] و LQCD^{19} [۷] می‌باشند. به طور مثال ما توابع ساختار گذار را با استفاده از مدل 3PSR ، برای واپاشی‌های شبه لپتونی $B_c \rightarrow D_{s,d}^* \ell^+ \ell^-$ [۲۴] و $B_q \rightarrow D_q(D_q^*)V$ و $B_q \rightarrow D_q(D_q^*)P$ [۲۵] و یا واپاشی‌های هادرونی $B_c \rightarrow D_{1s} \ell^+ \ell^- (\nu \bar{\nu})$ [۲۶] به دست آورده‌ایم، سپس با استفاده از آنها مقدار Br را در مدل استاندارد حساب کرده‌ایم. در عناصر ماتریسی واپاشی‌های هادرونی مزون B که شامل دو مزون خارجی می‌شوند علاوه بر توابع ساختار گذار، دسته‌ای دیگر از تصحیحات QCD وارد می‌شوند که مربوط به مبادله‌ی گلوان بین خط‌های کوآرکی است که در ایجاد توابع ساختار نقشی نداشته‌اند.^{۲۰} برای محاسبه‌ی آنها می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده کرد. مهم‌ترین این روش‌ها عبارتند از: GF^{21} [۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲]، QCDF^{22} [۱۴، ۱۵، ۱۶]، PQCD^{23} [۱۸، ۱۹، ۲۰] و SCET^{24} [۲۱، ۲۲، ۲۳]. ما به طور مثال روش NF^{25} را برای محاسبه نسبت شاخه‌ای در واپاشی‌های $B_q \rightarrow D_q(D_q^*)V$ و $B_q \rightarrow D_q(D_q^*)P$ [۲۶]، روش GF را برای به دست آوردن مقدار اثر کوآرک برداری در واپاشی‌های هادرونی B_s [۲۷] و روش QCDF را برای حل معمای قطبیدگی در واپاشی $B \rightarrow \phi K^*$ [۲۸] به کار برده‌ایم. روش‌های NF، GF و QCDF در فصل (۳) با جزئیات کامل مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

در واپاشی مزون B گذار $b \rightarrow s(d)q\bar{q}$ یا $b \rightarrow s(d)\ell\bar{\ell}$ که شامل FCNC^{۲۶}

3 Points QCD Sum Rules	^{۱۷}
Light Cone QCD Sum Rules	^{۱۸}
Lattice QCD	^{۱۹}
Factorization (Naive)	^{۲۰}
Generelalized Factorization	^{۲۱}
QCD Factorization	^{۲۲}
Perturbative QCD	^{۲۳}
Soft Collinear Effective Theory	^{۲۴}
Naive Factorization	^{۲۵}
Falavor Changing Neutral Current	^{۲۶}