



دانشگاه سمنان

دانشکده علوم پایه

((گروه فیزیک))

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

واپاشی های  $B \rightarrow PV$  در مدل کوآرک های سنگین

توسط:

اکرم سادات موسی کاظمی

استاد راهنما:

دکتر حسین مهربان

استاد مشاور:

دکتر مهرداد قمی نژاد

۱۳۸۹



دانشگاه سمنان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

تحت عنوان

واپاشی های  $PV \rightarrow B$  در مدل کوآرک های سنگین

ارائه شده توسط:

اکرم سادات موسی کاظمی

در تاریخ دی ۱۳۸۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت:

- |                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| دکتر حسین مهربان     | ۱- استاد راهنما     |
| دکتر مهرداد قمی نژاد | ۲- استاد مشاور      |
| دکتر حسین غفارنژاد   | ۳- استاد داور داخلی |
| دکتر حسن حسن آبادی   | ۴- استاد مدعو       |

## واپاشی های $B \rightarrow PV$ در مدل کوارک های سنگین

### چکیده

در این پژوهش واپاشی های  $B \rightarrow PV$  با استفاده از روش فاکتور کردن QCD مورد بررسی قرار گرفته اند ، که  $(P)$  یک مزون شبه نرده ای و  $(V)$  یک مزون برداری است. روش فاکتور کردن QCD عمومی ترین روش برای بررسی واپاشی های مزون  $B$  است. در این روش دامنه واپاشی به ضرب دو عنصر ماتریسی تبدیل می شود. سپس این دو ماتریس بصورت حاصلضرب فرم فاکتور در ثابت واپاشی بیان می شود. با وارد کردن تصحیحات توانی نابودی پنگوئنی ضعیف و تصحیحات توانی ضریب محدود رنگ دامنه، نسبت تناسب و عدم تقارن CP واپاشی  $B \rightarrow \pi\rho$  در حد ۳-پیشگی را بدست آورده ایم. سپس مقایسه ای بین نتایج حاصل و سایر کارها صورت گرفته است. همانطور که دیده می شود، نتایج بدست آمده نسبت به سایر کارهایی که تا کنون در این زمینه انجام شده است مطابقت خوبی با تجربه دارد.

واژه های کلیدی: مزون  $B$ ، هامیلتونی مؤثر ضعیف، روش فاکتوری کردن QCD

# **$B \rightarrow PV$ Decays in heavy quark model**

In this thesis we study  $B \rightarrow PV$  decays by using the QCD factorization approach, involving the light pseudoscalar (P) and vector (V) mesons in the standard model. QCD factorization is most general of the methods for study B decays. the hadronic matrix elements for B decays can also be factorized into two matrix elements. These matrix elements can then be expressed in terms of a form factor and decay constant. Including power corrections to the weak penguin annihilation and the color-suppressed amplitude, We calculated the branching fractions and direct  $CP$  asymmetries for  $B \rightarrow \pi\rho$  decays in twist- $\bar{\nu}$  amplitudes. Then, the predictions of this work and other works are included for comparison. In general, our QCDF predictions for the branching fractions and direct  $CP$  have good agreements with experiments.

الحمد لله  
البرحمين



semnan university

faculty of science

((Physics Department))

Master of science

Subject:

**$B \rightarrow PV$  Decays in heavy quark model**

By:

**Akram Sadat Mousa kazemi**

Supervisor:

**Dr. H. Mehraban**

Advisor:

**Dr.M.Ghominezhad**

Dec ۲۰۱۰

## تشکر و قدردانی

در اینجا لازم می دانم از کلیه افرادی که مرا در انجام این پروژه یاری رساندن خصوصا استاد گرامی آقای دکتر حسین مهربان که در تمام مراحل با مساعدت ها و راهنمایی های خود مرا یاری نمودند، تشکر کنم.

تقديم به

پدر و مادر عزيزم

و همسر مهربانم



# فهرست مندرجات

## ۱ مفاهیم فیزیک مزون B

۹	۱-۱ مزون B
۱۳	۱-۱-۱ ماتریس CKM
۱۴	۲-۱-۱ پارامترگذاری استاندارد
۱۴	۳-۱-۱ پارامترگذاری ولف اشتاین
۱۷	۲-۱ مثلث یکانی ماتریس CKM
۱۹	۳-۱ واپاشی های دو جسمی

۴-۱ خلاصه ای از واپاشی های مزون B ..... ۲۲

## ۲ مفهوم فاکتور کردن

۱-۲ بسط ضربی عملگری ..... ۲۵

۲-۲ فاکتوری کردن QCD ..... ۲۹

۱-۲-۲ تصویر فیزیکی ..... ۲۹

۲-۲-۲ ضرایب ویلسون ..... ۳۳

۳-۲ پارامتر های غیر اختلالی ..... ۳۷

۱-۳-۲ فرم فاکتور ..... ۳۷

۲-۳-۲ دامنه های توزیع مخروط نوری (LCDAS) ..... ۴۰

۴-۲ نقض CP ..... ۴۵

۱-۴-۲ C و P و گذار CP ..... ۴۵

۲-۴-۲ بی تقارنی CP مستقیم و واپاشی های ضعیف ..... ۴۶

۳-۴-۲ نقض CP مستقیم ..... ۴۷

## ۳ واپاشی مزون B به روش فاکتور کردن

۴۹	۱-۳ واپاشی های دو جسمی مزون B.....
۴۹	۱-۱-۳ هامیلتونی مؤثر.....
۵۴	۲-۱-۳ هسته های پراکندگی.....
۵۵	۲-۳ دامنه واپاشی های دو جسمی.....
۵۵	۱-۲-۳ عملگرهای طعم.....
۵۹	۲-۲-۳ عملگرها.....
۵۹	۳-۳ نمودار های توپولوژیکی.....
۶۲	۴-۳ نتایج صریح برای دامنه های واپاشی.....

#### ۴ تحلیل های فاکتور کردن QCD برای واپاشی $B \rightarrow \pi\rho$

۶۵	۱-۴ عملگرهای A.....
۶۷	۱-۱-۴ سهم های مرتبه LO.....
۶۸	۲-۱-۴ جملات رأس.....
۶۸	۳-۱-۴ سهم های پنگونی.....
۷۰	۴-۱-۴ جملات ناظر سخت.....
۷۲	۲-۴ عملگرهای B نابودی ضعیف.....

۷۵. .... دامنه کلی برای واپاشی  $B \rightarrow \pi\rho$  ..... ۳-۴
۷۷. .... نسبت‌های تناسب و بی تقارن CP مستقیم در واپاشی مزون B ..... ۴-۴
۷۹. .... محاسبه ضرایب  $\alpha_i^p, \beta_i^p$  ..... ۵-۴

## ۵ بحث و نتیجه گیری

۸۸. .... محاسبات عددی ..... ۱-۵
۸۸. .... داده های ورودی ..... ۱-۱-۵
۸۹. .... مقادیر عددی ماتریس CKM ..... ۲-۱-۵
۹۰. .... ضرائب ویلسون ..... ۲-۵
۹۱. .... بررسی واپاشی  $B \rightarrow \pi\rho$  در فاکتوری کردن QCD ..... ۳-۵
۹۱. .... مقادیر عددی ضرائب  $\alpha_i, \beta_i$  ..... ۱-۳-۵
۹۳. .... نسبت تناسب های واپاشی  $B \rightarrow \pi\rho$  ..... ۲-۳-۵
۹۶. .... نسبت آهنگ های واپاشی ..... ۴-۳-۵
۹۷. .... عدم تقارن CP ..... ۴-۵
۹۷. .... نتیجه گیری ..... ۵-۵

# لیست اشکال

- ۱-۱ ترکیب  $K^0 - \bar{K}^0$  ..... ۱۰
- ۲-۱ مثلث یکانی ماتریس CKM در صفحه مختلط  $\bar{\rho}, \bar{\eta}$  ..... ۱۸
- ۳-۱ نمودار فایمن واپاشی  $B_d \rightarrow \pi^- \pi^+$  ..... ۲۰
- ۱-۲ اثرات QCD در واپاشی های ضعیف ..... ۲۵
- ۲-۲ نمایش OPE در واپاشی های ضعیف ..... ۲۶
- ۳-۲ محاسبه ضرایب ویلسون OPE ..... ۲۸
- ۴-۲ نمایش تصویری فرمول فاکتوری کردن ..... ۳۸
- ۵-۲ دامنه های پنگوئنی برای برخی از واپاشی های مزون B دامنه درختی ممنوع ..... ۴۸
- ۶-۲ نمودار های پنگوئنی در واپاشی های تابشی ..... ۴۸
- ۷-۲ نمودار های دامنه درختی و پنگوئنی برای واپاشی های  $\bar{B} \rightarrow \pi\pi$  ..... ۴۸

۵۲	۱-۳ نمودار های درختی و تصحیحات $O(\alpha_s)$ .....
۵۳	۲-۳ نمودار های پنگوئنی الکتروضعیف و گلئونی .....
۵۳	۳-۳ نمودار های پنگوئنی الکترومغناطیس و کرومومغناطیس .....
۵۵	۴-۳ تصحیحات مرتبه $\alpha_s$ برای هسته پراکندگی سخت .....
۶۰	۵-۳ دامنه های طعم $\alpha_i^p$ .....
۶۱	۶-۳ عملگر های پنگوئنی، عملگر پنگوئنی مغناطیسی و عملگر های پنگوئنی الکتروضعیف .....
۶۱	۷-۳ سهم های عملگر دوقطبی کرومومغناطیس دربردارنده گذار $b \rightarrow Dg^*g^*$ .....
۶۷	۱-۴ سهم های مرتبه عمده برای ضرایب $a_i^p$ .....
۶۸	۲-۴ سهم های راس مرتبه NLO برای ضرایب $a_i^p$ .....
۷۰	۳-۴ سهم های پنگوئنی برای ضرایب $a_i^p$ .....
۷۲	۴-۴ سهم های پراکندگی ناظر سخت برای برای ضرایب $a_i^p$ .....
۷۴	۵-۴ نمودار های نابودی ضعیف از مرتبه $\alpha_s$ .....
۷۵	۶-۴ سهم های نابودی ضعیف .....

# لیست جداول

۱-۲ مقادیر عددی ضرایب ویلسون مؤثر برای گذارهای  $b \rightarrow d$ ،  $b \rightarrow s$ ،  $\bar{b} \rightarrow \bar{s}$ ،  $\bar{b} \rightarrow \bar{d}$  و  $\bar{b} \rightarrow \bar{d}$  محاسبه

۳۵ ..... شده در  $m_f = m_b, k^2 = m_b^2/2$

۳۹ ..... فرم فاکتورها در گذار تکانه صفر برای گذار  $B \rightarrow P$  و  $B \rightarrow V$

۱-۴ ضریب جفتشدگی  $\alpha_s$ ، محاسبه شده در:  $\Lambda_{QCD} = 225 \text{Mev}$ ،  $n_f = 5$ ،  $N_c = 3$ ،  $m_b = 4.2 \text{Gev}$

۸۰ .....

۲-۴ پارامترهای نابودی پنگوئنی  $\rho_A, \varphi_A$  ..... ۸۷

۱-۵ جدول ۱-۵: ضرایب ویلسون  $C_i$  در کمترین مرتبه (LO) و مرتبه دوم (NLO) در سه مقیاس

۹۰ .....  $\mu = 2m_b, \mu = m_b/2, \mu = m_b$

۲-۵ نتیجه NLO برای ضرایب  $a_i(\pi\rho), a_i(\rho\pi)$  ..... ۹۱

۳-۵ نتیجه NLO برای ضرایب واپاشی ضعیف  $b_i(\pi\rho), b_i(\rho\pi)$  ..... ۹۲

۴-۵ نتیجه NLO برای ضرایب  $\alpha_i(\pi\rho), \alpha_i(\rho\pi)$  ..... ۹۳

- ۵-۵ نتیجه NLO برای ضرایب واپاشی ضعیف  $\beta_i(\pi\rho), \beta_i(\rho\pi)$  ..... ۹۳
- ۵-۶ دامنه های واپاشی  $B \rightarrow \pi\rho$ ، در حالت  $b \rightarrow d$  ( $\Delta s = 0$ ) ..... ۹۴
- ۵-۷ نسبت های انشعاب واپاشی های  $B \rightarrow \pi\rho/\pi^+\pi^-$  در بردارنده گذار  $b \rightarrow d$  ( $\Delta s = 0$ ) ..... ۹۵
- ۵-۸ نسبت های تناسب در طرح ۱ و طرح ۲ ..... ۹۵
- ۵-۹ نسبت آهنگ های واپاشی ..... ۹۷
- ۵-۱۰ عدم تقارن CP برای واپاشی  $B \rightarrow \pi\rho$  در بردارنده گذار  $b \rightarrow d$  ( $\Delta s = 0$ ) ..... ۹۷



## مفاهیم فیزیک مزون B

### ۱-۱ مزون B

امروزه مطالعات اختصاصی کوارک های طعم b توسعه یافته است و به یکی از فعالترین و امید بخش ترین حوزه فیزیک انرژی بالای تجربی تبدیل شده است. با بررسی واپاشی های طعم b در مزون B و برخورد دهنده های هادرون ها، کوارکهای فیزیک طعم با دقت بی سابقه بررسی می شوند. استفاده از چارچوب هامیلتونی موثر یکی از قدیمی ترین و عمومی ترین روش ها است که تاریخ پیدایش آن به آغاز مدل استاندارد باز می گردد. نظریه موثر کوارک سنگین<sup>۱</sup> (HQET) و بسط کوارک سنگین<sup>۲</sup> (HQE) از جمله پیشرفت های بعدی بودند که در نیمه دوم دهه هشتاد و اوایل دهه نود پایه گذاری شدند.

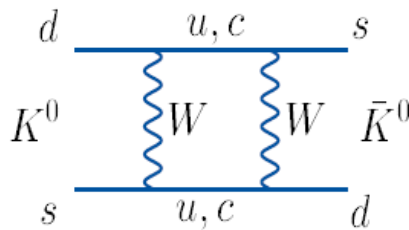
---

<sup>۱</sup>heavy-quark effective theory  
<sup>۲</sup>heavy-quark expansion

در بین موارد مذکور فاکتوری کردن کرومودینامیک کوانتومی (QCD)<sup>۱</sup> در واپاشی های B از پیشرفت های اخیر می باشد که مطالعات آن هنوز هم ادامه دارد. حال به شرح مختصری از چگونگی شکل گیری آن می پردازیم که برای بدست آوردن اطلاعات بیشتر در مباحث مختلف مربوط به محتوای پژوهش حاضر مفید است. تحقیق در فیزیک طعم پیچیده ترین بخش دربرهم کنش های بنیادی است .

برای موضوع مورد بحث ، مثال بسیار مناسب ترکیب ذره- پاد ذره کائون خنثی به شرح زیر می باشد. ویژه حالت های برهم کنش قوی  $K^0(\bar{s}d)$  و  $\bar{K}^0(d\bar{s})$  می توانند بواسطه برهم کنش های ضعیف مرتبه دوم به یکدیگر تبدیل شوند که منجر به ورود  $M_{1,2}$  غیر قطری در ماتریس جرم می شود.

$$\begin{bmatrix} M & M_{12} \\ M_{12} & M \end{bmatrix} \begin{matrix} K^0 \\ \bar{K}^0 \end{matrix} \quad K_{L,S} = \frac{K^0 \pm \bar{K}^0}{\sqrt{2}} \quad (1-1)$$



شکل ۱-۱: ترکیب  $K^0 - \bar{K}^0$

که در آن  $K_{L,S} = (K^0 \pm \bar{K}^0)/\sqrt{2}$  ویژه حالت ها می باشند و اختلاف جرم آنها بوسیله  $2|M_{1,2}|$  داده می شود و بصورت زیر بیان می شود.

$$\frac{\Delta m_K}{m_K} \approx \frac{G_F^2 f_K^2 B_K}{6\pi^2} |V_{cs} V_{cd}|^2 m_c^2 = 7.10^{-15} \quad (2-1)$$

که در رابطه اخیر عدد سمت راست مقداری تجربی است. در یک تقریب مجاز برای  $\Delta m_K$ ، از تولید سومین کوآرک در نقض CP<sup>۲</sup> صرف نظر می شود. عامل  $f_K^2 B_K$  (به منظور نخستین تقریب) برای محصور

<sup>۱</sup>QCD factorization  
<sup>۲</sup>CP violation

کردن کورکها در جرمشان محاسبه می شود. در سمت چپ رابطه بالا سهمی متناسب با  $m_c^2$  وجود دارد و سهم کوارک بالا ناچیز است. به عبارت دیگر  $m_u \gg \Lambda_{QCD} \gg m_c$  می باشد. این موضوع به گیلارد<sup>۱</sup> و لی<sup>۲</sup> اجازه داد تا در سال ۱۹۷۴ جرم کوارک افسون را  $m_c \approx 1.5 \text{ GeV}$  تخمین بزنند، در آن زمان کوارک افسون هنوز کشف نشده بود و سرانجام در پایان همان سال کشف شد. با روشی مشابه به کشف ترکیب  $B_d - \bar{B}_d$  توسط همکاری آرگوس<sup>۳</sup> انجامید که مرحله مهم دیگری را در فیزیک طعم ایجاد کرد، همانند ترکیب  $K - \bar{K}$  داریم:

$$\frac{\Delta m_B}{m_B} \approx \frac{G_F^2 f_B^2 B_B}{6\pi^2} |V_{tb} V_{td}|^2 M_W^2 S\left(\frac{m_t^2}{M_W^2}\right) = 6.10^{-14} \quad (۳-۱)$$

که در آن سهم کوارک  $t$  کاملاً غالب شده است. آرگوس بطور غیر منتظره ای مقدار بسیار بزرگی را برای سهم کوارک  $t$  مشاهده کرد که گواهی بر جرم سنگین کوارک  $t$ ،  $m_{t,pole} \approx 179 \text{ GeV}$ ، در مقایسه با مقیاس ضعیف بود که جرم آن بسیار سنگین تر از پیشگویی ها در آن زمان بود.

مثال های بالا به خوبی اهمیت فیزیک طعم را نشان می دهند. مشاهدات دقیق آزمایش هایی با حساسیت بالا منجر به بصیرتی عالی برای ساختار بر هم کنش های ضعیف می شود. بطور همزمان می بینیم اثرات هادرونی در کمیت هایی مانند  $f_B$  آشکار می شود و برهمکنش های قوی کوارک های شرکت کننده به طور عمده نقش مهمی بازی می کنند و فهم آنها برای آشکار ساختن دینامیک طعم بسیار ضروری است و موضوع اصلی نظریه کوارک سنگین می باشد.

از مثال ها بالا آشکارا معلوم می شود که خواص کلیدی بسیار ناچیزی از هادرون های  $b$ ، توانایی ما را در فیزیک مزون  $B$  تجربی و نظری به طور قابل ملاحظه ای بالا می برد. برای مثال مقدار کوچک  $V_{cb} = 0.04$  منجر به نیمه عمر بزرگ  $\tau_B \approx 1.6 \text{ ps}$  شد.

---

<sup>۱</sup>Gaillard  
<sup>۲</sup>Lee  
<sup>۳</sup>ARGUS

همچنین می دانیم جرم کوارک **b** در مقایسه با مقیاس بر همکنش قوی  $\Lambda_{QCD}$  بزرگ است ، یعنی  $\Lambda_{QCD} \approx 0.3 GeV \ll m_b$  لازم به ذکر است ، مقدار دقیق  $m_b$  وابسته به تعریف می باشد. یعنی در  $\overline{MS}$  ،  $\bar{m}_b(\bar{m}_b) = 4.2 \pm 0.1 GeV$  و جرم قطبی  $m_{b,pole} = 4.8 GeV$  است. کوچک بودن  $\Lambda_{QCD} / m_b$  پارامتر بسط بسیار مفیدی را فراهم می کند، علاوه بر این خواص آزادی مجانبی QCD و  $\alpha_s(m_b) \ll 1$  امکان استفاده از تقریب مجاز در کاربردهای مختلف ، نظریه کوارک سنگین به وجود می آورد.

نتیجه آنکه واپاشی های **B** ، بی تقارنی CP ، واکنش های مبتنی بر حلقه ، ترکیب  $B_d - \bar{B}_d$  و دیگر هادرن های طعم اهمیت زیادی دارند و توسط آزمایش ها پیگیری می شوند. از جمله مهمترین معماهای غیر قابل حل فیزیک ذرات مدرن نقض تقارن CP است. مطالعات نقض CP بسیار مهم است به این دلیل که این مطالعات روزنه ای فراسوی مدل استاندارد (SM) را به روی ما خواهند گشود. راه های زیادی برای تحقیق نقض CP وجود دارند. برای مثال تمام واپاشی های مزون **D** و یا **K** نایاب را می توان نام برد. اما پیش بینی های نظری مدل استاندارد در محاسبه نقض CP در واپاشی های مزون **B** با آزمایش مطابقت قابل توجهی دارند و این امر برای آزمایش مدل استاندارد بسیار امید بخش بوده است [۱].

در سال ۱۹۹۸ اولین آزمایش به منظور تلاش برای اندازه گیری نقض CP در واپاشی مزون **B** انجام گرفت. نتایج جدیدتر که شامل جزئیات بیشتری بود در سال ۱۹۹۹ گزارش شد. امروزه واپاشی های مزون **B** توسط دو آزمایش بابار<sup>۱</sup> و بل<sup>۲</sup> در دنیا پیگیری می شوند.

کلمه مزون برای ذره ای بکار برده می شود که از یک کوارک و یک پاد کوارک تشکیل شده است. این کوارک و پاد کوارک بطور عمده با نیروهای قوی مقید می شوند. مزون های **B** از ترکیب کوارک های معین ساخته می شوند. مزون **B** ای که شامل پاد کوارک **b** و یکی از دو کوارک **d** یا **u** است (که هر دو کوارک های سبکی اند) به ترتیب مزون  $B^0$  و  $B^+$  را تشکیل می دهند مزون  $B_s$  نیز از ترکیب  $s\bar{b}$  تولید می شود که همگی مزون های **B** شبه نرده ای اند. پاد ذره مزون **B** که پاد مزون **B** یا  $\bar{B}$  نامیده می شود از یک کوارک **b** و پاد کوارک های **d** یا **u** ساخته می شود معمولاً مزون های **B** و  $\bar{B}$  تحت عنوان کلی مزون **B**