



دانشگاه سمنان

دانشکده علوم پایه

((گروه فیزیک))

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

پراکندگی فاکتور کردن در تئوری موثر میدان

توسط:

اعظم کرم الدین

استاد راهنما

دکتر حسین مهربان

استاد مشاور

دکتر مهرداد قمی نژاد





دانشگاه سمنان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

تحت عنوان

پراکندگی فاکتور کردن در تئوری موثر میدان

ارائه شده توسط:

اعظم کرم الدین

در تاریخ ۸ دی ۱۳۸۸ 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 نصرت ا... جعفری | ۳- استاد داور داخلی |
| دکتر محمد رضا تنهائی | ۴- استاد مدعو       |

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم

که هستی ام از آنهاست

و خانواده ی مهربانم

## پراکندگی فاکتور کردن در تئوری موثر میدان

### چکیده

در این پایان نامه ما آهنگ واپاشی و نسبت شاخه ای را برای واپاشی های هادرونی  $\bar{B}^0 \rightarrow D^+\pi^-$  و  $\bar{B}^0 \rightarrow D^0\pi^0$  و  $\bar{B}^0 \rightarrow D^0\pi^-$  و  $\bar{B}_d \rightarrow D^+\rho^-$  با استفاده از تقریب فاکتوریزیشن محاسبه می کنیم. در محاسبات آهنگ واپاشی ما باید ضرایب واپاشی را تعیین کنیم. در اینجا این ضرایب را به پنج روش متفاوت محاسبه کرده ایم. نتایج ما توافق خوبی با داده های موجود دارند.

واژه های کلیدی: مزون B، هامیلتونی مؤثر ضعیف، فاکتوریزیشن QCD

## قدردانی

بار دیگر خداوند را سپاس گذارم که در این مرحله از کسب دانش یاریم کرد و از او استفاده صحیح از این علم که مرحمت فرموده را تمنا دارم. از او می خواهم تا در مراحل دیگر زندگی نیز دست از یاری و هدایتم برندارد و هیچ گاه مرا به حال خود وامگذارد. از تمامی کسانی که مرا در هدایت این پایان نامه یاری کرده اند به خصوص استاد گرامی جناب آقای دکتر مهربان متشکرم.

**اللهم صل علی محمد و آل محمد**

# فهرست مندرجات

## ۱ مفاهیم اساسی

- ۱-۱ مقدمه..... ۹
- ۲-۱ مدل استاندارد..... ۱۰
- ۳-۱ ماتریس CKM..... ۱۴
- ۱-۳-۱ پارامترگذاری عمومی..... ۱۴
- ۲-۳-۱ پارامتر گذاری استاندارد..... ۱۴
- ۳-۳-۱ پارامتر گذاری ولف اشتاین در مرتبه اول..... ۱۵
- ۴-۳-۱ اندازه گیری پارامترهای CKM..... ۱۷

## ۲ بررسی خواص و واپاشی های مزون B

- ۱-۲ مزون ها..... ۱۸

- ۲-۲ تاریخچه ..... ۱۹
- ۳-۲ لیست مزون ها ..... ۱۹
- ۴-۲ نمودارهای فاینمن (درختی و پنگوئنی) ..... ۲۲
- ۵-۲ کوارک های سنگین ..... ۲۳
- ۱-۵-۲ این همه علاقه در مورد کوارک **b** به چه خاطر است؟ ..... ۲۳
- ۲-۵-۲ واپاشی های کوارک **b** ..... ۲۴

## فصل سوم: فاکتوریزیشن

- ۱-۳ مفاهیم ..... ۲۸
- ۲-۳ QCD کوانتوم کرومودینامیک ..... ۲۹
- ۱-۲-۳ نیروی برهمکنش قوی ..... ۳۰
- ۲-۲-۳ مدل استاندارد و چهار نیروی بنیادی طبیعت ..... ۳۰
- ۳-۲-۳ برهمکنش الکترومغناطیسی سازنده نور  
و چسبندگی مواد ..... ۳۰
- ۴-۲-۳ برهمکنش های ضعیف و واپاشی رادیواکتیو ..... ۳۱
- ۵-۲-۳ آیا می توان نیروهای طبیعت را وحدت بخشید ..... ۳۴
- ۳-۳ فاکتوریزیشن ساده ..... ۳۴
- ۴-۳ فاکتوریزیشن QCD ..... ۴۰

- ۳-۴-۱ هامیلتونین موثر ضعیف برای واپاشی های هادرونی  $B$  ..... ۴۱
- ۳-۴-۲ دامنه های واپاشی در NLO در  $\alpha_s$  ..... ۴۳
- ۳-۴-۳ فرم فاکتورها ..... ۴۴
- ۳-۴-۴ ثابت واپاشی ..... ۴۵
- ۳-۴-۵ نکاتی در مورد کرنل سخت پراش  $\alpha_s$  ..... ۴۶
- ۳-۴-۶ فرآیند  $a_i$  در QCD ..... ۴۸
- ۳-۵-۵ آهنگ زمانی واپاشی و نسبت تناسبات ..... ۴۹
- ۳-۵-۱ پارامترهای ورودی ..... ۵۱
- ۳-۶-۶ محدودیت ها و شرط های فاکتوریزیشن QCD ..... ۵۲
- ۳-۷-۷ دیگر تقریب ها در واپاشی های غیرلپتونی ..... ۵۳
- ۳-۷-۱ تقریب های دینامیکی ..... ۵۳

## ۴ تحلیل های فاکتوریزیشن برای واپاشی های $B$ به $DX$

- ۴-۱ مقدمه ..... ۵۶
- ۴-۲ فرض های فاکتوریزیشن و هامیلتونین موثر ..... ۵۷
- ۴-۳ حالت های مختلف واپاشی  $B$  به  $D$  ..... ۵۸
- ۴-۳-۱ حالت  $B$  به  $DP$  ..... ۵۸
- ۴-۳-۲ حالت  $B$  به  $D^*P$  ..... ۶۰

- ۶۱..... حالت  $B$  به  $DV$  ۳-۳-۴
- ۶۲..... روش اول برای بررسی ضرایب ۴-۴
- ۶۳..... روش دوم برای محاسبه ضرایب ۵-۴
- ۶۵..... روش سوم برای محاسبه ضرایب ۶-۴
- ۷۱..... روش چهارم برای محاسبه ضرایب ۷-۴
- ۷۵..... روش پنجم برای محاسبه ضرایب ۸-۴
- ۷۵..... بهترسازی فاکتوریزشی ۱-۸-۴
- ۷۹..... واپاشی  $B \rightarrow D\pi$  در PQCD ۹-۴
- ۸۱..... واپاشی های لپتونی  $B$  ۱۰-۴
- ۸۱..... بررسی  $B^\pm \rightarrow l^\pm \nu$  ۱-۱۰-۴

## ۵ نتیجه گیری و تحلیل های عددی برای واپاشی های $B \rightarrow DX$

- ۸۵..... مقادیر عددی ضرایب ویلسون ۱-۵
- ۸۶.....  $\alpha_s(\mu)$  مقادیر عددی ۲-۵
- ۸۶..... محاسبه  $a_i$  ۳-۵
- ۸۶..... محاسبه  $a_i$  به روش اول ۱-۳-۵

- ۸۷.....۲-۳-۵ محاسبه  $a_i$  به روش دوم.
- ۸۸.....۳-۳-۵ محاسبه  $a_i$  به روش سوم.
- ۸۹.....۴-۳-۵ محاسبه  $a_i$  بروش چهارم.
- ۸۹.....۵-۳-۵ محاسبه  $a_i$  بروش پنجم.
- ۹۰.....۴-۵ محاسبه عددی دامنه ها و آهنگ های واپاشی نسبت تناسبات.
- ۹۱.....۱-۴-۵ روش اول محاسبه دامنه، آهنگ واپاشی، BR
- ۹۲.....۲-۴-۵ روش دوم محاسبه دامنه، آهنگ واپاشی، BR
- ۹۳.....۳-۴-۵ روش سوم محاسبه دامنه، آهنگ واپاشی، BR
- ۹۴.....۴-۴-۵ روش چهارم محاسبه دامنه، آهنگ واپاشی، BR
- ۹۶.....۵-۴-۵ روش پنجم محاسبه دامنه، آهنگ واپاشی، BR
- ۹۷.....۵-۵ نتیجه گیری و مقایسه با مقادیر آزمایشگاهی.
- ۹۸.....۶-۵ نتیجه گیری و مقایسه با مقادیر تجربی.
- ۹۹.....پیوست ۱: انواع مزون ها.
- ۱۰۰.....مراجع

## لیست اشکال

- شکل ۱-۱ نمودار فوتون به مانند حامل نیرو در نیروی الکترومغناطیس..... ۱۲
- شکل ۲-۱ تکنیک های متفاوت اندازه گیری..... ۱۷
- شکل ۱-۲ مثال هایی از واپاشی های لپتونی، نیمه لپتونی و هادرونی مزون  $B$ ..... ۲۰
- شکل ۲-۲ بیان واقعی تر واپاشی غیر لپتونی..... ۲۱
- شکل ۳-۲ انواع نمودارهای درختی با حالات مختلف واپاشی  $q=d,s$  و  $q=u,d,s$ ..... ۲۲
- شکل ۴-۲ نمودارهای پنگوئنی الکتروضعیف..... ۲۲
- شکل ۵-۲ برخی نمودارهای واپاشی های هادرونی..... ۲۷
- شکل ۱-۳ فاکتوریزیشن ساده..... ۳۶
- شکل ۲-۳ نمودار جریان - جریان..... ۴۳
- شکل ۳-۳ نمودار گرافیکی فرمول های فاکتوریزیشن..... ۴۴
- شکل ۴-۳  $T^{I,II}$  در مرتبه  $O(\alpha_s)$ ..... ۴۷
- شکل ۵-۳ سهم های نابودی..... ۴۷
- شکل ۱-۴ نمودار فاینمن در مرتبه LO برای واپاشی  $B_s^0 \rightarrow D^+ \pi^-$ ..... ۵۹
- شکل ۲-۴ نمودار فاینمن در مرتبه LO برای واپاشی  $B_s^0 \rightarrow D^- \pi^+$ ..... ۶۰
- شکل ۳-۴ نمودار واپاشی  $B^- \rightarrow \bar{D}^0 K^-$ ..... ۶۶
- شکل ۴-۴ نمودار های انتشار حالت های مجاز برای واپاشی های  $B \rightarrow D^{(*)} \pi$ ..... ۸۰
- شکل ۵-۴ نمودار های انتشار حالت رنگی فوق العاده برای واپاشی های  $B \rightarrow D^{(*)} \pi$ ..... ۸۰
- شکل ۶-۴ نمودار های نابودی برای واپاشی های  $B \rightarrow D^{(*)} \pi$ ..... ۸۰
- شکل ۷-۴ نمودار گرافیکی واپاشی لپتونی خالص..... ۸۲

# لیست جداول

جدول ۱-۱ ذرات و نیروهای مدل استاندارد.....	۱۳
جدول ۱-۳ مقیاس QCD و جرم کوارک ها بر حسب GeV.....	۵۱
جدول ۲-۳ پارامترهای CKM و طول عمر مزون B.....	۵۱
جدول ۳-۳ ثوابت واپاشی مزون های اسکالر.....	۵۱
جدول ۴-۳ ثابت های واپاشی مزون های برداری.....	۵۱
جدول ۵-۳ فرم فاکتورها برای مزون های اسکالر.....	۵۱
جدول ۶-۳ فرم فاکتورها برای مزون های برداری.....	۵۲
جدول ۱-۴ مقادیر متفاوت $c_i^{eff}$ در انتقال های مختلف b.....	۷۰
جدول ۲-۴ مقادیر مختلف $a_i^{eff}$ در مقیاس $\mu = m_b$ .....	۷۱
جدول ۱-۵ ضرایب ویلسون در مقیاس NDR و در مقیاس های متفاوت.....	۸۶
جدول ۲-۵ مقادیر عددی $\alpha_s(\mu)$ .....	۸۶
جدول ۳-۵ مقادیر $a_i$ در NDR در مقیاس های مختلف.....	۸۶
جدول ۴-۵ مقادیر $\bar{C}_{\pm}(\mu)$ در مقیاس های مختلف.....	۸۷
جدول ۵-۵ مقادیر عددی $B^{\pm}$ .....	۸۷
جدول ۶-۵ مقادیر عددی $C_{\pm}(\mu)$ در مقیاس های مختلف.....	۸۷
جدول ۷-۵ مقادیر عددی $C_8(\mu)$ در مقیاس های مختلف.....	۸۷
جدول ۸-۵ مقادیر $a_i(DL), a_i(D^*L)$ در مقیاس های متفاوت.....	۸۸
جدول ۹-۵ مقادیر $C_{1,2}^{eff}(\mu)$ در مقیاس NDR.....	۸۸
جدول ۱۰-۵ مقادیر $a_{1,2}$ در مقیاس های متفاوت.....	۸۹
جدول ۱۱-۵ مقادیر مختلف F در مقیاس های متفاوت.....	۸۹
جدول ۱۲-۵ مقادیر متفاوت $a_{\pm}$ در مقیاس های متفاوت.....	۸۹
جدول ۱۳-۵ مقادیر $F_{\pi}$ در مقیاس های مختلف.....	۹۰
جدول ۱۴-۵ مقادیر $a_{1,2}$ در مقیاس های متفاوت.....	۹۰
جدول ۱۵-۵ جرم های مزون های مختلف.....	۹۰
جدول ۱۶-۵ ثابت های واپاشی برای مزون های متفاوت.....	۹۰
جدول ۱۷-۵ فرم فاکتورهای اسکالر و برداری.....	۹۱
جدول ۱۸-۵ مقادیر مختلف دامنه بروش اول.....	۹۱

- جدول ۵-۱۹ مقادیر مختلف آهنگ واپاشی به روش اول..... ۹۲
- جدول ۵-۲۰ مقادیر مختلف BR به روش اول..... ۹۲
- جدول ۵-۲۱ مقادیر مختلف دامنه به روش دوم..... ۹۲
- جدول ۵-۲۲ مقادیر مختلف آهنگ واپاشی به روش دوم..... ۹۳
- جدول ۵-۲۳ مقادیر مختلف BR به روش دوم..... ۹۳
- جدول ۵-۲۴ مقادیر مختلف دامنه به روش سوم..... ۹۳
- جدول ۵-۲۵ مقادیر مختلف آهنگ واپاشی به روش سوم..... ۹۴
- جدول ۵-۲۶ مقادیر مختلف BR به روش سوم..... ۹۴
- جدول ۵-۲۷ مقادیر مختلف دامنه به روش چهارم..... ۹۴
- جدول ۵-۲۸ مقادیر مختلف آهنگ واپاشی به روش چهارم..... ۹۵
- جدول ۵-۲۹ مقادیر مختلف BR به روش چهارم..... ۹۵
- جدول ۵-۳۰ مقادیر مختلف دامنه به روش پنجم..... ۹۶
- جدول ۵-۳۱ مقادیر مختلف آهنگ واپاشی به روش پنجم..... ۹۶
- جدول ۵-۳۲ مقادیر مختلف BR به روش پنجم..... ۹۶
- جدول ۵-۳۳ مقادیر تجربی واپاشی های لپتونی..... ۹۸

## فصل اول

# مفاهیم اساسی

### ۱-۱ مقدمه

فیزیک ذرات مطالعه اجزای اصلی مواد است. این گونه کشف شده است که مواد از چندین ساختار تشکیل شده اند. مولکولها، اتمها، نوکلئونها، کوارکها و لپتونها. این اجزای متشکله، در طول قرنهای آزمایش کشف شدند. کوچکترین اجزاء که بسیار دیر مشاهده شدند، کوارکها و لپتونها هستند. اضافه بر این ذرات نیروهایی کشف شدند که بر برهمکنش این ذرات حکومت می کردند. گرانش، نیروی الکترومغناطیس، نیروی قوی و نیروی ضعیف. کوارکها و لپتونها و نیروهایی که به برهمکنش های شناخته شده حکومت می کنند به جز گرانش به وسیله مدل استاندارد فیزیک ذرات توضیح داده می شوند. این مدل به صورت فوق العاده ای موفق بوده است. این مدل در طول ۳۰ ساله گذشته به روشهای متفاوت امتحان شده است و به طور فوق العاده ای پیشگویانه و صحیح است. آزمایشات فیزیک ذرات بر روی امتحان پیش گویی های مدل استاندارد و تحقیق برای اثرهای ناشناخته این مدل است. دو پارامتر مهم مدل استاندارد  $V_{cb}$  و  $V_{ub}$  است. شبیه بار الکترومغناطیسی الکترون اینها خواص اساسی کوارکها هستند. اینها از طریق مدل استاندارد پیش بینی نمی شوند و فقط از طریق آزمایش می توان آنها را تعیین کرد. اگر چه مدل استاندارد نسبتی بین

دو پارامتر و چندین پارامتر دیگر را پیش گویی می کند. یکی از اهداف اندازه گیری ما، شرکت دادن این پیش گویی ها در آزمایشات است. همچنین این مدل، ساختار مزون **B** را اندازه گیری می کند که مرکب از ذراتی با یک کوارک **b** و یک کوارک بالا (**u**) یا پایین (**d**) است. اسم کلی این ذرات ترکیب شده از کوارکها، هادرون ها است. ساختار هادرون ها به وسیله برهمکنشهای کوارک ها از طریق نیروی قوی، کنترل می شود. برای مطالعه برهمکنشهای ضعیف کوارکها و ساختار هادرون ها، از واپاشی هسته ای و واپاشی های نیمه لپتونی استفاده می شود. در مدت قرن گذشته برای بررسی ساختار هادرون ها که شامل کوارک های **u** و **d** و **c** و **s** و **b** و **t** بودند استفاده می شد.

در این فصل مطالعه کوتاهی بر مدل استاندارد داریم و روی ماتریس کابیو-کوبایاشی-ماسکوا که  $V_{ub}$  و  $V_{cb}$  المان های آن هستند، بحث کوچکی می کنیم. همچنین در این فصل یک معرفی بر واپاشی مزون **B** داریم. اثر نیروهای قوی نقش مهمی را در واپاشی های مزون **B** بازی می کنند. اما این اثرها به طور قابل اعتمادی قابل محاسبه نیستند. این خاصیت این مشکل را ایجاد می کند که ارتباط خواص واپاشی مزون **B** که در آزمایشگاه تولید شده است با پارامترهای مدل استاندارد یعنی  $V_{ub}$  و  $V_{cb}$  مشکل شود. ما در اینجا سعی می کنیم خواصی از مزون **B** را بررسی کنیم که بتوان آن ها را با این پارامترها مربوط ساخت.

## ۱-۲ مدل استاندارد

مدل استاندارد اجزای متشکله مواد را توضیح می دهد. این اجزای سازنده "ذرات بنیادی" با یکدیگر در اشیاء بزرگ و بزرگتر ترکیب می شوند تا مواد اطراف ما شکل بگیرند. قسمت عمده مواد از اتم ها تشکیل شده است که آن ها نیز از الکترون ها و نوکلئون ها تشکیل یافته است. این زنجیره ی ساختار تا نوکلئونها که شامل پروتون ها و نوترون ها است، و همه اینها متشکل از کوارک هستند ادامه پیدا می کند.

کوارک ها و الکترون ها بعضی از ذرات ابتدایی هستند که بوسیله مدل استاندارد توضیح داده می شوند. در این زمان هیچ شواهدی مبنی بر اینکه پیشنهاد کند که ذرات در مدل استاندارد دارای ساختار هستند وجود ندارد. این ذرات ممکن است آخرین مرحله ی این زنجیره باشند. این ذرات از آزمایشات امروزه ما بسیار دور هستند. در حقیقت ذرات زیادی در مدل استاندارد وجود دارند که یک اثر غیر مستقیم بر خواص حجم کلی ماده<sup>۱</sup> و زندگی روزمره می گذارد.

در مدل استاندارد شش نوع کوارک وجود دارد که در سه گروه کلی می توانند دسته بندی شوند

دسته اول: کوارک **up** (بالا) یا **u** و کوارک **down** (پایین) یا **d**.

دسته دوم: کوارک **strange** (عجیب) یا **s** و کوارک **charmed** (افسون) یا **c**.

<sup>۱</sup>. bulk matter

دسته سوم: کوارک bottom (پایین) یا b و کوارک top (بالا) یا t.

کوارک های t و b همچنین با عنوان های truth و beauty نیز بیان می شوند. به عنوان مثال پروتون از دو کوارک u و یک کوارک d که با یکدیگر مقید شده اند تشکیل شده است. به طور مشابه نوترون از دو کوارک d و یک کوارک u تشکیل شده است.

کوارک ها بوسیله نیرویی که نیروی قوی است یکدیگر را نگه می دارند. همان طور که این نیرو پروتونها و نوترون ها را در هسته اتم نگه می دارد. نیروی قوی یکی از سه نیرویی است که توسط مدل استاندارد شرح داده می شود. دو نیروی دیگر نیروی الکترومغناطیس و ضعیف هستند. مدل استاندارد گرانش را توضیح نمی دهد. نیروی الکترومغناطیسی نقش مهمی را در حجم کلی ماده بازی می کند. این نیرو الکترون ها و نوکلئون های اتم ها را به یکدیگر نگه می دارد. این نیرو همچنین اتم ها را در کنار یکدیگر قرار می دهد. نیروی ضعیف نقش زیادی در آزمایشات امروزه ما بازی نمی کند. اما در فرآیند احتراق و سوختن هسته ای در خورشید در میان چیزهای دیگر مهم است. این تنها نیرویی است که می تواند یک نوع کوارک را به نوع دیگر تبدیل کند.

یکی از موارد مهم در مدل استاندارد ماتریس CKM است که دو عضو آن برای ما اهمیت بیشتری دارد.  $V_{ub}$  که بر تبدیل کوارک b به کوارک u دلالت می کند و  $V_{cb}$  که به تبدیل کوارک b به کوارک c دلالت دارد. در قسمت های آینده توضیحات بیشتری را در مورد ماتریس CKM ارائه می دهیم.

گروه دیگر از ذرات در مدل استاندارد، لپتون ها هستند. بر خلاف کوارک ها، لپتون ها با نیروهای قوی اثر نمی پذیرند، بلکه با نیروهای ضعیف و الکترومغناطیس سروکار دارند. شش نوع لپتون وجود دارد که در سه جفت ظاهر می شوند. در هر یک از این جفت ها یک لپتون باردار که از هر دو نیروی ضعیف و الکترومغناطیس اثر می پذیرد و یک نوترینو که فقط از نیروی ضعیف اثر می پذیرد وجود دارد. نوترینوها به خاطر اینکه از نیروی ضعیف متاثر می شوند می توانند در میان حجم کلی ماده عبور کنند و به ندرت اثر می پذیرند.

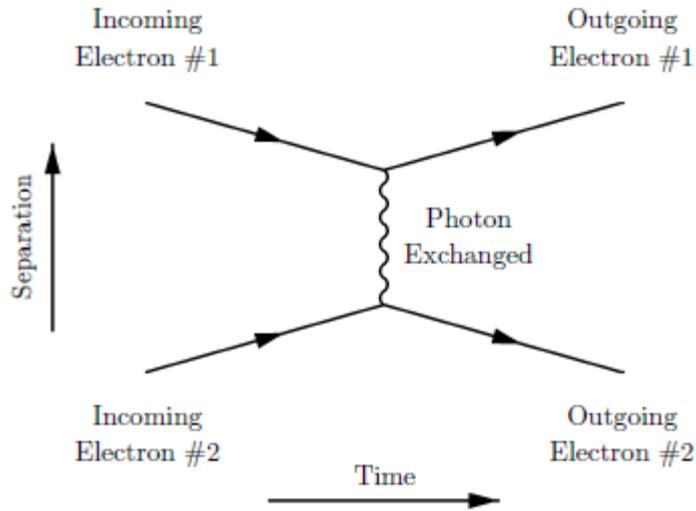
سه جفت لپتون ها شامل:

۱- الکترون (e)      نوترینو الکترون ( $\nu_e$ )

۲- میون ( $\mu$ )      نوترینو میون ( $\nu_\mu$ )

۳- تاو ( $\tau$ )      نوترینو تاو ( $\nu_\tau$ )

نیروها همچنین می توانند بر حسب ذراتی که ذرات میانی این نیرو نامیده می شوند، شرح داده شوند. فوتون ذره میانی نیروی الکترومغناطیس است. وقتی دو الکترون همدیگر را دفع می کنند، آن ها یک فوتون را مبادله می کنند. فوتون انرژی و ممتوم را از یکی از الکترون ها به سوی دیگری به صورت ضربه مبادله می کند. شکل ۱-۱ را ببینید.



شکل ۱-۱: نمودار فوتون به مانند حامل نیرو در نیروی الکترومغناطیس

به طور مشابه نیروی قوی به وسیله ی هشت ذره مختلف که گلوئون ها نامیده می شوند شرح داده می شوند. و نیروی ضعیف به وسیله ی سه ذره که بوزون های  $Z^0, W^+, W^-$  هستند شرح داده می شوند.

		EM Charge	Strong	Weak	Spin	Mass (GeV/c <sup>2</sup> )
Quarks:						
Up	$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$	$\frac{2}{3}$	•	•	$\frac{1}{2}$	0.0015 to 0.0045
Down	$\begin{pmatrix} d \\ s \end{pmatrix}$	$-\frac{1}{3}$	•	•	$\frac{1}{2}$	0.005 to 0.0085
Charm	$\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}$	$\frac{2}{3}$	•	•	$\frac{1}{2}$	1.0 to 1.4
Strange	$\begin{pmatrix} s \\ b \end{pmatrix}$	$-\frac{1}{3}$	•	•	$\frac{1}{2}$	0.080 to 0.155
Top	$\begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$	$\frac{2}{3}$	•	•	$\frac{1}{2}$	$174.3 \pm 5.1$
Bottom	$\begin{pmatrix} b \\ t \end{pmatrix}$	$-\frac{1}{3}$	•	•	$\frac{1}{2}$	4.0 to 4.5
Leptons:						
Electron	$\begin{pmatrix} e \\ \nu_e \end{pmatrix}$	-1		•	$\frac{1}{2}$	0.000510
Electron Neutrino	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}$	0		•	$\frac{1}{2}$	$< 3 \times 10^{-9}$
Muon	$\begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix}$	-1		•	$\frac{1}{2}$	0.105
Muon Neutrino	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}$	0		•	$\frac{1}{2}$	$< 3 \times 10^{-9}$
Tau	$\begin{pmatrix} \tau \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$	-1		•	$\frac{1}{2}$	1.777
Tau Neutrino	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$	0		•	$\frac{1}{2}$	$< 3 \times 10^{-9}$
Higgs	H	0		•	0	$> 114.3$
Force Mediators:						
Electromagnetic	$\gamma$	0			1	0
Strong	$g$	0	•		1	0
Weak	$W^+$	+1		•	1	80.423
	$W^-$	-1		•	1	80.423
	$Z$	0		•	1	91.188

جدول ۱-۱: ذرات و نیروهای مدل استاندارد

جرم های نشان داده شده از PDG، [۱] است. عدم قطعیت در جرم ها فقط برای کوارک ها نشان داده شده است که قابل ارزیابی هستند.

نیروی قوی بزرگ ترین جفت شدگی که  $\alpha_s$  نامیده می شود را دارد. جفت شدگی الکترومغناطیس  $\alpha_{EM}$ ، صدها برابر کوچکتر است و جفت شدگی نیروی ضعیف  $G_F$  هزاران برابر کوچکتر است.

ذره دیگری هم که در مدل استاندارد وجود دارد، هیگز است. میدان هیگز که با ذره هیگز همراه است با کوارک ها، لپتون ها و بوزون های ضعیف برهمکنش می کند تا به آن ها جرم دهد. جفت شدگی هیگز تنها چیزی است که از سه گروه کوارک ها و لپتون ها متمایز است. ذرات هیگز تنها ذراتی هستند که در مدل استاندارد توسط آزمایشات مشاهده نشدند.

ذره ای که دارای جرم است می تواند واپاشیده شود. واپاشی فرآیندی است که ذره مادر زندگی اش پایان می پذیرد و جرم آن به صورت جرم یا انرژی به دو یا بیشتر ذره که در فرآیند واپاشی تولید شده اند منتقل می شود.

واپاشی ذره ای به طور عادی بیشترین موضوع برای مطالعه ی فیزیک ذرات است. نمودارهای یک واپاشی می تواند اطلاعاتی در مورد ذرات درگیر به ما بدهد. آهنگی که ذره واپاشیده می شود به وسیله جفت شدگی کنترل می شود مثلاً آهنگی که کوارک  $b$  به یک کوارک  $u$  واپاشیده می شود به وسیله  $G_F, |V_{ub}|$  کنترل می شود [۲].

## ۳-۱ ماتریس CKM

### ۱-۳-۱ پارامترگذاری عمومی

ماتریس یونیتاری CKM به ویژه حالت های ضعیف  $(d', s', b')$  و ویژه حالت های جرم مربوطه  $d, s, b$  ارتباط داده می شود.

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix} \quad (1-1)$$

بیشتر پارامترهای این ماتریس در مقالات یافت می شوند. دو نوع پارامترگذاری برای این ماتریس بیان می شود که شامل پارامترگذاری استاندارد با استفاده از گروه اطلاعاتی ذرات  $^2$  و پارامترگذاری ولف اشتاین  $^3$  می باشد.

### ۲-۳-۱ پارامترگذاری استاندارد

در ابتدا مقادیر  $S_{ij} = \sin \theta_{ij}$  و  $C_{ij} = \cos \theta_{ij}$  را با اندیسهای  $i$  و  $j$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ) تعریف می کنیم

<sup>2</sup> Particle data group

<sup>3</sup> Wolfenstein