بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده ی علوم

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته ی فیزیک - ذرات بنیادی

محاسبه ثابت جفت شدگی رأس مزونی $D_{s0}DK$ با استفاده از قانون جمع QCD سه- نقطه

به وسیله‌ی

سولماز جانی پور

استاد راهنما

دکتر نادر قهرمانی

آبان ماه ۱۳۹۰

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب سولماز جانی پور (۸۸۰۵۱۳) دانشجوی رشته ی فیزیک گرایش ذرات بنیادی دانشکده ی علوم اظهار می کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظهار می کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه ی مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: سولماز جانی پور
تاریخ و امضا: ۱۳۹۱/۵/۱۳

به نام خدا

محاسبه ثابت جفت شدگی رأس مزونی $D_{s0}DK$ با استفاده از قانون جمع QCD سه-نقطه

به کوشش:
سولماز جانی پور

پایان نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه
کارشناسی ارشد

در رشته ی:
فیزیک ذرات بنیادی

از دانشگاه شیراز

شیراز
جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته ی پایان نامه با درجه عالی
دکتر نادر قهرمانی، استاد بخش فیزیک (رییس کمیته).....
دکتر سید محمد زبرجد، دانشیار بخش فیزیک .....
دکتر فاطمه فلاحتی، استادیار بخش فیزیک .....

آبان ماه 1390

تقدیم به پدر و مادرم:

به نام مادر

بوسه ای باید زد

دست هایی را

که می شویند غبار خستگی روزگار را

و سیراب می کنند روح تشنه را

و

به نام پدر

بوسه ای باید زد

دست هایی را

که می تابانند

نیرو را

و محکم می کنند

استواری پایه های زیستن را

و تقدیم به:

همسرم، اسطوره ی زندگیم، پناه خستگیم و امید بودنم.

سپاسگزاری

اکنون که این رساله به پایان رسیده است لازم می دانم که از استاد ارجمند، جناب آقای دکتر نادر قهرمانی که همواره پشتیبان من بوده اند، و از جناب آقای دکتر خسروی به خاطر راهنمایی های ارزنده شان تشکر کنم.

چکیده

محاسبه ثابت جفت شدگی رأس مزونی $D_{s0}DK$
با استفاده از قانون جمع QCD سه-نقطه

به کوشش
سولماز جانی پور

در این رساله، ما ثابت جفت شدگی رأس مزونی $D_{s0}DK$ را با استفاده از قانون جمع QCD سه-نقطه، برای دو حالت D و off-shell K، بدست می آوریم. مزون D_{s0} پهنای واپاشی کمی دارد. پهنای کم این مزون تعجب آور نیست، زیرا جرم آن کمتر از جرم آستانه سیستم DK می باشد. داشتن ثابت جفت شدگی رأس $D_{s0}DK$ ، مهم است، به این دلیل که پهنای واپاشی در این کانال،که مهمترین کانال است، می تواند پهنای کلی حالت را به ما بدهد. بنابراین توجه زیادی در بدست آوردن آن شده است. در این کار، ما فاکتور ساخت را به صورت تابعی از ممنتم بدست می آوریم و مشاهده می کنیم برای دو حالت D و off-shell K دو نتیجه متفاوت خواهیم داشت، اما نتیجه بدست آمده برای ثابت جفت شدگی یکسان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مروری بر ذرات بنیادی و ویژگی های آن ها..... ۳

۱-۲ رنگ: عامل برهمکنش‌های قوی ۹

۱-۳ آزمایشگاه و اثبات حضور کوارک‌ها..... ۱۲

۱-۴ تغییر ثابت جفت‌شدگی در QCD..... ۱۶

۱-۵ معرفی عامل ساخت..... ۲۰

۱-۶ قانون جمع QCD..... ۲۳

فصل دوم: قانون جمع QCD سه - نقطه

۲-۱ تابع همبستگی سه- نقطه..... ۲۵

۲-۲ نظریه پایه‌ای قانون جمع QCD منسوب به شیفمن..... ۲۶

۲-۲-۱ مفهوم تابع همبستگی QCD..... ۲۶

۲-۲-۲ قضیه اپتیکی..... ۳۰

۲-۲-۳ قضیه اپتیکی برای نمودارهای فاینمن ۳۳

۲-۲-۴ قوانین کاتکسکی..... ۴۰

۲-۲-۵ تابع همبستگی در ناحیه زمان‌گونه ۴۱

۲-۳ رابطه پاشندگی ۴۶

عنوان **صفحه**

۲-۳-۱ محاسبه رابطه پاشندگی ۴۷

۲-۴ بکارگیری تبدیل بورل ۴۹

۲-۴-۱ ساختار تبدیل بورل ۵۱

۲-۵ چگالش‌های خلأ و بسط ضرب عملگر ۵۳

۲-۵-۱ تحلیل چگالش خلأ و ارتباط با QCD غیراختلالی ۵۵

۲-۵-۲ تحلیلی بر نظریه بسط ضرب عملگر ۵۸

فصل سوم: قانون جمع QCD- سه نقطه

۳-۱ تابع همبستگی سه-نقطه ۶۴

۳-۲ محاسبه قسمت فیزیکی تابع همبستگی ۶۵

۳-۳ محاسبه قسمت نظری تابع همبستگی ۶۸

۳-۳-۱ محاسبه قسمت اختلالی ۶۸

۳-۴ محاسبه قسمت غیر اختلالی ۷۸

۳-۴-۱ محاسبه سهم چگالش کوارک-کوارک ۷۹

۳-۵ محاسبه ثابت جفت شدگی ۸۲

فصل چهارم: محاسبات عددی و نتایج ۸۵

فهرست منابع ۹۰

پیوست

پیوست الف: محاسبه ضرایب A ، B ، $\overline{B}$ ، C_1 ، $\overline{C_1}$ و D ۹۳

پیوست ب: محاسبه ضریب ویلسون $C_3(q^2)$ ۹۵

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱: ویژگی های برخی از مزون ها ۷
جدول ۴-۱.مقدار جرم کوارک و مزون های مورد نیاز در محاسبه عددی
ثابت جفت شدگی ۸۵
جدول۴-۲. مقدار ثابت های واپاشی و چگالش کوارک-کوارک مورد نیاز
در محاسبه عددی ثابت جفت شدگی ۸۵

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: دو هشت گانه و یک ده گانه ۹

شکل ۱-۲: پوشش بار الکتریکی (a) و بار رنگ (b) در نظریه میدان کوانتومی ۱۱

شکل ۱-۳: فتون‌های مجازی با طول موج کوتاه (a). فتون‌های مجازی
که بوسیله برخورد الکترون - پوزیترون ایجاد می‌شوند به جفت‌های کوارک – پادکوارک
واپاشی می‌کنند (b). ۱۳

شکل ۱-۴: مسیرهای ذرات باردار ناشی از یک جفت کوارک - پادکوارک
متناسب با پتانسیل $\frac{1}{r}$. ۱۴

شکل ۱-۵: (a) میدان رنگ $q\bar{q}$ متناسب با پتانسیل r و (b) میدان کولمب e^+e^-
متناسب با پتانسیل $\frac{1}{r}$. ۱۵

شکل ۱-۶: تولید جفت وقتی یک کوارک و پادکوارک از هم جدا می‌شوند. ۱۵

شکل ۱-۷: ثابت واپاشی قوی به عنوان تابعی از انرژی. ۱۹

شکل ۲-۱: تولید و نابودی کوارک - پادکوارک به وسیله فتون مجازی در برخورد
الکترون - الکترون. ۲۷

شکل ۲-۲: نمایش تصویری قضیه اپتیکی: قسمت موهومی دامنه پراکندگی رو به جلو،
با جمع سهم‌های ناشی از همه ذرات میانی ممکن ایجاد می‌شود. ۳۲

شکل ۲-۳: نمودار برخورد و پراکندگی دو الکترون معروف به پراکندگی بابا. ۳۴

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۴: نمودار تک حلقه برخورد دو ذره با جرم یکسان و اندازه
حرکت متفاوت k_1 و k_2 ..... ۳۶
شکل ۲-۵: نمایش نمودارهای یک فرآیند دو ذره به دو ذره به سه روش. روش u،
روش t و روش s ۳۶
شکل ۲-۶: نمایش پل‌های انتگرال (۲-۲۰) در صفحه مختلط، بر حسب متغیر q^0 ..... ۳۷
شکل ۲-۷: نمایش پل‌های انتگرال (۲-۲۳) در صفحه مختلط، بر حسب متغیر E_q ۳۸
شکل ۲-۸: سهم‌های قضیه اپتیکی برای پراکندگی بابا ۴۰
شکل ۲-۹: نمایش پربند در صفحه متغیر مختلط $q^2 = z$. دایره – ضربدر
وضعیت $q^2 < 0$ را نشان می‌دهد که به ناحیه محاسبات QCD مربوط می‌شود.
موقعیت آستانه‌های هادرونی در $q^2 > 0$ به وسیله ضربدر نشان داده می‌شوند ۴۷
شکل ۲-۱۰: نمودارهای متناظر با شرکت چگالش گلوان (a,b,c) کوارک (d)
کوارک - گلوان (e) و چهار کوارک (f) در تابع همبستگی ۵۴
شکل ۲-۱۱: بسط ضرب عملگر برای نمودار تک حلقه اسکالر. ۵۹
شکل ۲-۱۲: بسط ضرب عملگر برای نمودارهای دو حلقه QCD ۶۲
شکل (۳-۱) : نمودار فاینمن چگالش کوارک کوارک روی خط s ۷۹

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار ۴-۱ نمودار $g^{(D)}_{D_{s0}DK}(Q^2=1)$ به صورت تابعی از مربع جرم بورل M^2 برای وقتی D *off-shell* باشد ۸۸

نمودار ۴-۲ نمودار $g^{(K)}_{D_{s0}DK}(Q^2=1)$ به صورت تابعی از مربع جرم بورل M^2 برای وقتی K *off-shell* باشد ۸۸

نمودار۴-۳ نمودار $g^{(K)}_{D_{s0}DK}(Q^2)$ و $g^{(D)}_{D_{s0}DK}(Q^2)$ به صورت تابعی از Q^2 ..... ۸۹

فصل اول

مقدمه

پاسخ به این سوال که آیا هرچه در طبیعت می بینیم از تعداد اندکی ذرات بنیادی تشکیل شده، به گران قیمت ترین تجهیزات آزمایشگاهی و خلاقانه ترین تئوری های ریاضی نیاز دارد. با ساخت شتابدهنده ها، تعداد ذرات مشاهده شده افزایش یافت و این تعداد با ساخت نسل های جدید شتابدهنده های ذرات و آشکارسازها، همچنان افزایش می یابد.

در این رساله، ما ثابت جفت شدگی رأس $D_{s0}DK$ را به دست می آوریم، که این ثابت جفت شدگی در شناخت بهتر مزون اسکالر D_{s0} به ما کمک می کند. به این منظور در فصل اول ابتدا مروری بر ذرات بنیادی و ویژگی های آن ها و هم چنین نیروهای بر هم کنش کننده بین آنها خواهیم داشت؛ سپس درباره چیستی فاکتور ساخت سخن خواهیم گفت و به معرفی تئوری قانون جمع QCD می پردازیم. در فصل دوم، اجزای اصلی این تئوری یعنی تابع همبستگی، نظریه بسط ضرب عملگر، رابطه پاشندگی، دوگانگی موضعی کوارک هادرون، قانون کاتکسکی، تبدیلات بورل را معرفی کرده و به تفصیل راجع به آنها توضیح خواهیم داد. در فصل سوم نحوه انجام محاسبات را می آوریم. در فصل آخر، نمودارهای به دست آمده رسم شده اند و نتیجه گیری و مقایسه ی داده های این روش با سایر روش ها ذکر شده است.

۱-۱- مروری بر ذرات بنیادی و ویژگی های آن ها

به نظر می رسد تمامی ماده ی جهان از کوارک ها و لپتون ها تشکیل شده باشد؛ ذراتی نقطه مانند (بدون ساختار) و با اسپین $\frac{1}{2}$. لپتون ها سه نسل دارند: e,υ_e و μ,υ_μ و τ,υ_τ . و کوارک ها هم سه نسل دارند: u,d و c,s و t,b.

به طور کلی ذرات مشاهده شده را می توان در دو گروه جای داد: ۱)لپتون ها که در بر هم کنش قوی شرکت نمی کنند و ۲) هادرون ها که ذرات شرکت کننده در بر هم کنش قوی هستند.

لپتون ها

e^-,υ_e : الکترون اولین لپتون و در حقیقت اولین ذره بنیادی بود که در سال ۱۸۹۵ توسط تامسون کشف شد. این ذره سبکترین ذره باردار است و به همین دلیل آن را لپتون به معنای ذره ی سبک نامیدند. الکترون ساختاری ندارد و اندازه ی تکانه ی زاویه ای آن $\frac{1}{2}$ است. الکترون در واپاشی β ساطع می شود و بنابراین تحت تاثیر نیروی هسته ای ضعیف قرار می گیرد. مثالی ساده از واپاشی β، واپاشی نوترون به الکترون و پروتون است. اگر الکترون و پروتون تنها محصولات واپاشی بودند، انرژی الکترون به دلیل اصل بقای ممنتم مقداری یکتا داشت،اما طیف انرژی مشاهده شده ی الکترون پیوسته است. پائولی برای توصیف این طیف پیوسته پیشنهاد داد که ذره ی خنثی و بدون جرمی با اسپین $\frac{1}{2}$ (پادنوترینو الکترون υ_e) نیز می بایست در واپاشی β تولید شود.

$$n \to p + e^- + \overline{\vartheta}_e. \qquad (۱-۱)$$

μ,υ_μ: میوان در سال ۱۹۳۷ توسط آندرسن و ندرمایر[1] در اتاقک ابری کشف شد. میوان ها جرمی ۲۰۰ برابر جرم الکترون دارند و بارشان مشابه e^- است. μ^- و μ^+ هر دو عمری معادل 2×10^{-6} دارند. عمر μ^- و μ^+ نشان می دهد که آن ها نمی توانند از طریق نیروی قوی هسته

[1] Neddermayer

ای برهم کنش کنند[1] و بنابراین نمی توانند آن چنان کـه پیشـتر تصـور مـی شـد ذرات یوکـاوا باشند. μ از طریق زیر واپاشی می کند:

از آن جا که واپاشی

$$\mu^- \to e^- + \gamma, \qquad (۲-۱)$$

هیچ گاه مشاهده نشده، واضح است که میوان، یـک الکتـرون سـنگین نیسـت. نوترینومیـوان در سال ۱۹۶۲ مشاهده شد.

واپاشی

$$\vartheta_\mu + n \to \mu^- + p, \qquad (۳-۱)$$

مشاهده شده، در حالی که واپاشی

$$\vartheta_\mu + n \to e^- + p, \qquad (۴-۱)$$

هیچ گاه رؤیت نشده است، بنابراین ϑ_μ متفاوت از ϑ_e است و به این دلیل است کـه قـوانین بقای متفاوتی برای امکان پذیر بودن یـک واپاشـی معرفـی مـی کنـیم: ۱) بقـای عـدد لپتـونی الکترونی(L_e) ۲) بقای عدد لپتونی میوانی (L_μ).

τ,υ_τ : تائون لپتونی سنگین تر است که در سال ۱۹۷۵ توسط مارتین پرل[2] در واپاشی

$$e^- + e^+ \to \tau^- + \tau^+ , \qquad (۵-۱)$$

که واپاشی های زیر را به دنبال داشت، کشف شد.

$$\tau^- \to e^- + \overline{\vartheta_e} + \vartheta_\tau ,$$
$$\tau^+ \to \mu^+ + \vartheta_\mu + \overline{\vartheta_\tau} . \qquad (۶-۱)$$

[1] مدت زمان بر هم کنش قوي در حدود 10^{-23} است.

[2] Martin perl

مشاهده نشدن واپاشی های

$$\tau^- \to \mu^- + \mu^+ + \mu^- ,$$
$$\tau^- \to e^- + e^+ + e^- , \qquad (۷-۱)$$

مدرکی است که نشان می دهد لپتون τ ذره ای متفاوت از e^- و μ است و به همین دلیل در یک واپاشی، بقای عدد لپتونی تائونی (L_τ) نیز ضروری است.

هادرون ها

پروتون و نوترون اعضای اولیه خانواده هادرون ها هستند و هر دو اسپین و پاریته یکسانی دارند. ($J^p = \frac{1}{2}^+$). همچنین برهم کنش های هسته ای آن ها مشابه است و جرم های تقریبا یکسانی دارند. از این رو در سال ۱۹۳۲ ، هایزنبرگ[۱] در مشابهت با اسپین، عددی کوانتومی دیگری به نام ایزواسپین (I) به آن ها نسبت داد. بنابراین p و n دو حالت متفاوت از یک ذره به نام نوکلئون اند. به نوکلئون ایزواسپین $\frac{1}{2}$ می دهیم و در نتیجه p و n را می توان با اندازه مؤلفه سوم ایزواسپین آن ها تشخیص داد. پروتون حالت بالای نوکلئون با $I_z = \frac{1}{2}$ و نوترون حالت پایین نوکلئون با $I_z = \frac{-1}{2}$ می باشد. هم چنین به کوارک بالا [۲] ، $I_z = \frac{1}{2}$ و به کوارک پایین[۳]، $I_z = \frac{-1}{2}$ نسبت می دهیم. برای باقی کوارک ها $I = 0$ است.

برخی از هادرون ها شگفت[۴]هستند به این معنا که از طریق بر هم کنش های قوی تولید شده و از طریق برهم کنش های قوی تولید شده و از طریق بر هم کنش های ضعیف واپاشی می کنند. به عنوان مثال Λ^0 و K^0 که در واپاشی زیر تولید می شوند:

$$\pi^- + p \to \Lambda^0 + K^0 , \qquad (۸-۱)$$

[1] Heisenberg
[2] up
[3] down
[4] strange

و از طریق واپاشی های زیر نابود می شوند:

$$K^0 \to \pi^+ + \pi^- \qquad (\tau = 0.89 \times 10^{-10}\text{s})\,,$$
$$\Lambda^0 \to p + \pi^- \qquad (\tau = 2.63 \times 10^{-10}\text{s}\ ), \qquad (۹-۱)$$

ذراتی شگفت اند. پارادوکس تفاوت قابل ملاحظه بین زمان تولید و واپاشی این ذرات با در نظر گرفتن عدد کوانتومی شگفتی که در بر هم کنش های قوی پایسته مانده ولی در واپاشی های ضعیف پایسته نیست، حل می شود. از آن جا که در واپاشی (۱-۹) شگفتی π^- و p صفر است، برای پایسته ماندن عدد شگفتی در این واپاشی (Λ^0) را مساوی 1- و ($S(K^0)$ را مساوی 1+ ردر نظر می گیریم.

عدد کوانتومی ابربار (γ) را نیز جمع اعداد کوانتومی شگفتی (S) و عدد کوانتومی باریونی (B)- این عدد را به باریون ها نسبت می دهیم. (B=+1 برای باریون ها، B=-1 برای پادباریون ها و برای مزون ها B=0)- تعریف می کنیم. بار هر هادرون با فرمول گلمن - نیشیجیما[1] داده می شود:

$$Q = I_3 + \frac{\gamma}{2}. \qquad (۱۰-۱)$$

هادرون ها خود شامل مزون ها و باریو ن ها می شوند. مزون ها، ذراتی با اسپین صحیح اند و ازآمار بوز-انیشتین پیروی می کنند در حالی که باریون ها اسپین نیم صحیح دارند و جزء فرمیون ها می باشند (آمار فرمی –دیراک). مزون ها به این دلیل که بوزون اند، از اصل طرد پائولی پیروی نمی کنند و به همین دلیل می توانند به عنوان ذرات واسطه ی نیرو در فواصل کوتاه عمل کنند و نقش مهمی در پروسه هایی همچون واکنش های هسته ای ایفا کنند. هیچ کدام از مزون ها پایدار نیستند؛ مزون هایی با جرم کمتر، پایدارتر از مزون های سنگین ترند و مشاهده آن ها ساده تر بوده و مطالعه شان در شتاب دهنده های ذرات و آزمایش های اشعه کیهانی ساده تر صورت می پذیرد. همچنین به این دلیل که مزون ها کم جرم تر از باریون ها هستند تولیدشان در آزمایش ها آسانتر است؛ به عنوان مثال کوارک چارم[2] اولین بار در مزون

[1] Gellmann-Nishijima
[2] charm

J/Psi در سال ۱۹۷۴ و کوارک باتم[1] در مزون γ در سال ۱۹۷۷ مشاهده شد.

در مدل کوارک[2] مزون ها حالت مقیدی از جفت های کوارک – پادکوارک $q\overline{q}$ می باشند، در حالی که باریون ها از سه کوارک و سه پادکوارک تشکیل شده اند (qqq) یا ($\overline{q}\ \overline{q}\ \overline{q}$). برخی آزمایش ها، نشانه هایی از وجود مزون های چهار کوارکی نامتعارف – مزون های شامل دو کوارک و دو پادکوارک – را آشکار کرده اند، اگرچه فیزیک ذرات تا به حال وجود آن ها را اثبات نکرده است. نام ویژگی های برخی از مزون های شناخته شده در جدول(۱-۲) آمده است.

جدول ۱-۱: ویژگی های برخی از مزون ها[۹]

جرم(GeV)	نام ذره	$\Upsilon = S$	I_z	I	جرم(GeV)	نام ذره
۰.۷۷۰	ρ^+	۰	+۱	۱	۰.۱۴۰	π^+
۰.۷۷۰	ρ^0	۰	۰	۱	۰.۱۳۵	π^0
۰.۷۷۰	ρ^-	۰	-۱	۱	۰.۱۴۰	π^-
۰.۸۹۲	K^{*+}	۱	$\frac{+۱}{۲}$	$\frac{۱}{۲}$	۰.۴۹۴	K^+
۰.۸۹۷	K^{*0}	۱	$\frac{-۱}{۲}$	$\frac{۱}{۲}$	۰.۴۹۸	K^0
۰.۸۹۷	K^{*0}	-۱	$\frac{+۱}{۲}$	$\frac{۱}{۲}$	۰.۴۹۸	$\bar{K}^0$
۰.۸۹۲	K^{*-}	-۱	$\frac{-۱}{۲}$	$\frac{۱}{۲}$	۰.۴۹۴	K^-
۰.۷۸۳	ω	۰	۰	۰	۰.۵۴۷	η
۱.۰۲۰	ϕ	۰	۰	۰	۰.۹۵۸	η'

چگونه می توان مزون ها و باریون ها را طبق الگویی خاص دسته بندی کرد؟ همان گونه که دیمیتری ایوانویچ مندلیف[3] جدول تناوبی عناصر شیمیایی را در سال ۱۸۶۹ کشف کرد، گلمن نیز توانست الگوی میان ذرات را بیابد. طبق این الگو، هشت مزون و یا باریون با اسپین مشابه را می توان به زیبایی در بسته هایی که به آن ها چندگانه می گوییم آراست – معادل ریاضی آن را می توان با گروه تقارنی SU(۳) توصیف کرد که به آن خواهیم پرداخت – گروه های هشت ذره ای، هشت گانه های اساسی را تشکیل می دهند. گلمن نام تئوری خود را راه هشت گانه[4]

[1] Bottom
[2] Quark Model
[3] Dmitri Ivanovich Mendeleev
[4] TheEightfold Way