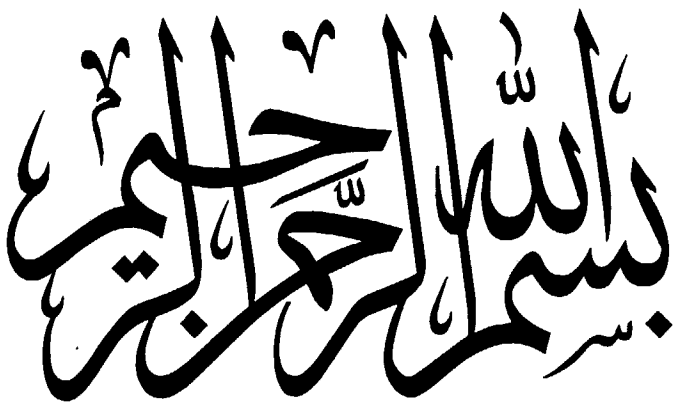

٣٤٥٤١

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده فیزیک

مطالعه و بررسی رویدادهای دوفواره‌ای و سه‌فواره‌ای حاصل از نابودی e^-e^+

پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک

۱۳۸۰ /۱/ ۱۰

روح‌الله باباجانپور

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

استاد راهنما:

دکتر محمدحسن علامت‌ساز

۱۳۷۹

۳۴۵۶۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده فیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشتهٔ فیزیک

تحت عنوان

مطالعه و بررسی رویدادهای دوفواره‌ای و سه‌فواره‌ای حاصل از نابودی e^-e^+

011773

در تاریخ ۷۹/۷/۱۳ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی وتصویب نهائی قرار گرفت.

۱–استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر محمد حسن علامت‌ساز
۲– استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر منصور حقیقت
۳–استاد مدعو	دکتر محمد تقی فلاحی مروست
٤–سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر منصور حقیقت

تشکر و قدردانی

به میمنت سال **امام علی(ع)**، امیر یگانه اقلیم لفظ ومعنی که درود جاوید خدای بر او خاندان پاکش باد. از خداوند منان می‌خواهم که ما را در شناخت صحیح امیر مؤمنان و شخصیت والایی آن حضرت توفیقی عنایت فرمایید.

اینک که با التفات خداوند بلند مرتبه پایان‌نامه را به پایان رساندم وظیفه خود می‌دانم که نهایت سپاس و تقدیر خالصانه خود را از جناب آقای **دکتر محمد حسن علامت‌ساز** استاد راهنمای پایان‌نامه هم به‌خاطر راهنماییهای علمی اززشمند وگرانبهایشان و هم به‌خاطر اخلاق نیکو و گشاده‌رویی‌شان به عمل بیاورم و امیدوارم خداوند توفیقی بدهد که زحمتشان را جبران نماییم.

از جناب آقای **دکتر منصور حقیقت** به‌عنوان استاد مشاور و مسئول تحصیلات تکمیلی به‌خاطر بازخوانی و ویرایش پایان‌نامه کمال تشکر را دارم. همچنین از جناب آقای **دکتر محمد تقی فلاحی** استاد مدعو قبول زحمت فرمودند و ویرایش نهائی پایان‌نامه و حضور در جلسه دفاعیه را برعهده گرفتند تشکر می کنم.

از تمام دوستان و به‌خصوص آقای مجتبی حنائی که در این مدت ما را یاری داده‌اند سپاسگزارم.

روح‌الله باباجانپور

مهر ۷۹

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است

یاعلی(ع)

تقدیم به

پدر و مادر عزیزتر ازجانم

و

همسر فداکارم

و

برادران وخواهران گرامیم

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه ۲

فصل دوم: شتابدهنده‌ها

مقدمه ٦

۲-۱ شتابدهنده‌ها ۷

۲-۱-۱ خواص شتابدهنده‌ها ۷

۲-۱-۲ انواع شتابدهنده‌ها ۹

۲-۲ تولید و نابودی e^-e^+ ۱۱

۲-۳ نیروهای موجود در بین ذرات ۱۲

۲-۳-۱ کوارکها و رنگ ۱۲

۲-۳-۲ گواه رنگ ۱٤

فصل سوم: مدلهای QCD-ترکش

مقدمه ۲۲

۳-۱ فواره ۲۲

۳-۲ مدلهای QCD-ترکش ۲۳

فصل چهارم: آنالیز رویدادهای دوفواره‌ای و سه‌فواره‌ای

مقدمه ۲۹

٤-۱ آنالیزرویدادهای دوفواره‌ای ۳۰

٤-۱-۱ کرویت ۳۲

٤-۱-۲ پیش‌ران ۳۷

عنوان | صفحه

٤-٢ روشهای آنالیز رویدادهای سه‌فواره‌ای..... ٣٩
٤-٢-١ روش وو-زبرنیگ..... ٤٦
٤-٣ خواص گلئون..... ٥١
٤-٣-١ اسپین گلئون..... ٥١
٤-٣-٢ اختلاف بین فواره‌های کوارکی و گلئونی..... ٥٣

فصل پنجم: توضیح ساختار برنامه و نتایج به‌دست آمده

مقدمه..... ٥٤
٥-١ ساختار و توضیح برنامه..... ٥٥
٥-٢ نتایج به دست آمده..... ٥٩
نتیجه‌گیری..... ٧٦
پیشنهادات..... ٧٧
پیوست..... ٧٨
مراجع..... ٩٦

چکیده

در این پایان‌نامه روشهای آنالیز رویدادهای دوفواره‌ای و سه‌فواره‌ای تولید شده از نابودی e^-e^+ را بررسی کردیم. ابتدا با برش روی کمیت کرویت و غیرصفحه‌ای دوفواره‌ایها و سه‌فواره‌ایها را از هم جدا کرده و با کمک کمیت کرویت و پیش‌ران به طور مجزا محور رویدادهای دوفواره‌ای را تعیین کردیم و بعد با توزیع زاویه‌ای محور فواره‌ها نوع اسپین کوارک را تعیین کردیم. در آنالیز سه‌فواره‌ایها روشهای زیادی وجود دارد که ما در این پایان‌نامه روش وو- زبرنیگ یعنی کرویت تعمیم‌یافته را برای تفکیک سه‌فوارهٔ رویدادهای سه‌فواره‌ای به‌کار بردیم. سپس با توجه به انرژی فواره‌ها، فواره گلئونی از فواره کوارکی تشخیص داده می‌شود. در ادامه با توجه به انتظارات داده‌های تجربی و یا تئوری QCD (مانند چندگانگی و اندازه‌حرکت عرضی فواره‌ها) دوفواره گلئونی و کوارکی با هم مقایسه و مورد بررسی قرار می‌گیرند. چون تعداد رویدادهای که ما در دسترس داریم کم می‌باشد به طور دقیق نمی‌توان بعضی نتایج را مورد بررسی قرار داد، مثلاً در تعیین نوع اسپین گلئون. در کل در این پایان‌نامه به نتایج جالب و قابل قبولی دست یافتیم. برنامه‌ای رایانه‌ای که برای آنالیز نوشته شد کلی می‌باشد و اگر داده‌های بیشتری در دسترس باشد می‌توان برای آنالیز استفاده کرد.

فصل اول
مقدمه

در دهه شصت اعتقاد بر این بود که برهم‌کنشهای قوی بین هادرونها با روش اختلال نظریه میدان کوانتومی تشریح نمی‌شود. تا اینکه در سال ۱۹۷۳ توسط آقایان Gross و Polizer نظریه کوانتومی دینامیکی رنگ(QCD) پیشنهاد شد [۱]. ایده اساسی این نظریه استفاده ازبار رنگ به‌عنوان منشاء نیروی بین‌کوارکها با واسطه گلئونهای برداری است. با استفاده از این ایده پیش‌بینیهایی در مورد برهم‌کنش بین ذرات بنیادی رنگی یعنی پارتونها انجام داده‌اند. برای نمونه، تشخیص نوع اسپین کوارک و اسپین گلئون، فرایند ترکش با مدلهای مختلف و غیره.

پیش‌بینی‌های QCD حس کنجکاوی تجربی کارها را برانگیخت. از آن به بعد فیزیکدانان با کارتجربی و روشهای دیگر درصدد آزمون QCD برآمدند. آزمون تجربی QCD را می‌توان با هادرونهای تولید شده از نابودی e^-e^+ در انرژیهای بالا در کنار روش اختلال انجام داد. در برهم‌کنش $e^- + e^+ \to q + \bar{q}$ کوارک(q) و پادکوارک($\bar{q}$) هر کدام تبدیل به هادرونهایی شده که تشکیل‌دهنده دو فواره هادرونی هستند. در انرژی‌های پایین این دوفواره هادرونی پشت به پشت خواهند شد. در انرژیهای بالا q یا $\bar{q}$ می‌تواند یک گلئون(g) تابش کند و به رویداد سه فواره‌ای منجرشود. هادرونهای تشکیل‌دهنده فواره از مسیر گلئون و یا کوارک پیروی می‌کنند. توزیع زاویه‌ای فواره‌ها برای رویدادهای دوفواره‌ای و توزیع زاویه‌ای دوفواره از سه فواره با انرژی کمتر

در چارچوب مرکزجرم دوفواره فوق برای رویدادهای سه‌فواره‌ای به ترتیب آزمونی برای اسپین کوارک و اسپین گلئون خواهد شد.

درQCD گلئون بار رنگی بزرگتری نسبت به کوارک حمل می‌کند. بنابراین انتظار می‌رود پهنای زاویه فواره و چندگانگی[۱] در فواره گلئون نسبت به فواره کوارک در انرژی یکسان بزرگتر باشد. فواره گلئونی به طور متوسط انرژی کمتری نسبت به فواره کوارکی دارد [٤،۲]. تعیین جهت g و $\bar{q}$ و qدر رویدادهای دوفواره‌ای و سه‌فواره‌ای حائز اهمیت است. برای همین منظور از هادرونهای آشکارشده کمک گرفته می‌شود و با انتخاب یک جهت به عنوان محور فواره و تعریف کمیتهایی مانند کرویت (اسفریسیتی) و پیش‌ران (تراست) جهت اولیه فواره‌ها را می توان تعیین‌کرد (که‌درزیرذکرشده‌اند) و این جهتها آزمونی را برای (QCD) تدارک می‌بینند.

تعریف کمیت پیش‌ران

$$T = max \frac{\sum_i \left|\vec{P}_i . \vec{n}\right|}{\sum_i \left|\vec{P}_i\right|}$$

تعریف کمیت کرویت

$$S = min \frac{\sum_i \left(P_{Ti}\right)^2}{\sum_i P_i^2}$$

برای تعیین محورهای سه فواره‌ای روشهای مختلفی از قبیل روشهای [۳] :

۱) وو- زبرنیگ
۲) برانت- داهمن
۳) آنالیز خوشه‌ای
٤) شار انرژی
۵) الیس- کارلاینر

وجود دارند که از کمیتهای کرویت و پیش‌ران تعمیم یافته برای مشخص‌کردن محور فواره‌ها استفاده می‌شود.

گروههای مختلفی با بکارگیری این روشها و روشهای دیگر، داده‌های تجربی زیادی در انرژیهای مختلف را تحلیل کردند و نتایجی موافق و سازگار با پیش‌بینی QCD بدست‌آوردند. برای نمونه، گروه

---

[۱] multiplicity

MARK II [٤] توزیع ذرات باردار بر حسب کسر اندازه‌حرکت $x_P = \frac{P_i}{E_j}$ ، P_i اندازه‌حرکت ذره باردار و E_j انرژی هر فواره، را مطالعه کرده و همچنین رویداد سه‌فواره‌ای متقارن در ۲۹ GeV را با رویداد دوفواره‌ای ۱۹/۲ GeV مقایسه کرده‌اند. گروه JADE [٥] گزارش دادند که ذرات بیرون آمده از فواره با انرژی کمتر به احتمال زیاد مربوط به فواره گلئون در رویداد سه‌فواره‌ای است و فواره گلئونی اندازه‌حرکت عرضی بزرگتری دارد. گروه AMY [٦] در KEK با شتابدهنده TRISTAN ، بیش از ۲۰۰۰ رویداد با حالت نهایی چند هادرونی تولید شده از نابودی الکترون و پوزیترون در انرژی مرکزجرم بین ۵۲-۵۷GeV را جمع‌آوری کرد و به مطالعه خواص عمومی این رویدادها پرداخت و همچنین داده‌های تجربی را با مدلهای مختلف QCD -ترکش با استفاده از مقادیر پارامترهای به‌دست‌آمده از آزمایشها در انرژی کم، مورد مقایسه قرار دادند.

هدف ما در این تحقیق مطالعه روی داده‌های موجود مربوط به هادرونهای آشکارشده از برهم‌کنش e^-e^+ در شتابدهنده TRISTAN با انرژی $e^-(۳۲\,GeV)+e^+(۳۲\,GeV)$، با استفاده از کمیتهای کرویت و پیش‌ران و سپس جداسازی رویدادهای دوفواره‌ای و سه‌فواره‌ای از یکدیگر است. برای بررسی رویدادهای سه‌فواره‌ای از روش وو-زبرنیگ استفاده خواهیم کرد و سرانجام قادرخواهیم‌بود به عنوان مثال اسپین کوارک و اسپین گلئون و اختلاف بین فواره‌های گلئونی و کوارکی را بررسی‌کنیم.

در فصل دوم، به بررسی خواص شتابدهنده‌ها و دسته‌بندی آنها با توجه به شکل و قدرت شتابدهی آنها می‌پردازیم. در بخش دیگر نحوهٔ تولید و نابودی الکترون و پوزیترون تشریح می‌شود و در ادامه شش نوع کوارک و علت وجود بار رنگی مورد بررسی قرار می‌گیرد و در پایان فصل نیروهایی حاکم بر طبیعت را برمبنای قدرت جفت شدگی طبقه‌بندی می‌کنیم و اشاره کوتاهی در مورد QCD و QED خواهیم داشت. در کل این فصل نیازهای اولیه مربوط به کارمان از فیزیک ذرات بنیادی را در خود گنجانده است.

در فصل سوم مدلهای QCD و پدیده‌شناسی ترکش را بررسی می‌کنیم. در این فصل تعریفی از فواره دوتایی و سه‌تایی داده شده است و در ادامه مدلهای QCD که در مورد فرایند ترکش وجود دارد مطرح می‌شوند.

در فصل چهارم آنالیز دو فواره‌ای و سه‌فواره‌ای صورت می‌گیرد. در این فصل به دلایلی که ذکر می‌شود از کمیت کرویت و پیش‌ران برای آنالیز دوفواره‌ای استفاده می‌شود. نتایجی که از هر دو روش به‌دست می‌آید تقریباً یکسان است. برای معرفی کمیت کرویت از تانسور لختی کمک می‌گیریم و کمیت کرویت را برحسب مقادیر ویژه تانسور لختی می‌نویسیم. نحوهٔ تعیین ویژه مقدار و ویژه بردار تانسور اندازه‌حرکت هم توضیح داده می‌شود. در بخش دیگری از این فصل روشهای آنالیز رویدادهای سه‌فواره‌ای آمده است. پنج روش برای تعیین محور فواره‌ها و بررسی و تشریح فواره‌ها به اختصار آمده

است. در ادامه، یکی از روشها یعنی روش وو- زبرنیگ که در آنالیز سه‌فواره‌ای و برنامه‌نویسی از آن استفاده کردیم به طور کامل بحث می‌شود. در همین فصل خواص گلئون ذکر می‌شود. روش و برشی که گروه TASSO در تعیین اسپین گلئون استفاده کردند را به طور کامل مورد بحث قرار می‌دهیم و بعد اختلاف بین فواره‌های گلئونی و کوارکی از لحاظ ساختار در یک رویداد سه‌فواره‌ای را ذکر می‌کنیم.

فصل پنجم در واقع فصل آخر پایان‌نامه، ابتدا ساختار برنامه رایانه‌ای که برای آنالیز نوشته شده‌است تشریح می‌شود. در بخش دیگر کمیتها و فرمولهایی که در برنامه مورد استفاده قرار گرفتند و همچنین برنامه‌های فرعی که در اجرای برنامه کمک کردند توضیح داده می‌شود. در بخش دیگر نتایجی را که بعد از اجرای برنامه به دست می‌آیند به همراه مقایسه با نتایج دیگران در غالب نمودارها داده می‌شود. در این فصل تعیین نوع اسپین کوارک از دو توزیع زاویه‌ای محورهای کرویت وپیش‌ران بررسی می‌شود و نوع اسپین گلئون را با توزیع زاویه‌ای محور دو فواره $\underline{2}$و$\underline{3}$ در چارچوب مرکزجرم نسبت به فواره $\underline{1}$(انرژی بیشتر) تعیین می‌کنیم و سپس تفاوتهایی که بین فواره‌های گلئونی و کوارکی وجود دارد داده شده است.

فصل‌دوم
شتابدهنده‌ها

مقدمه

هر ذره در طبیعت به غیر از ذرات تابش کیهانی در حالت عادی دارای انرژی کمی می‌باشد. از طرفی برای تولید ذرات و حالتهای جدید و جستجو در ساختار دقیق سیستمهای زیراتمی باید باریکه دارای انرژی‌های بیشتر از چند صد MeV باشد. همچنین تعداد محدودی ذره پایدار در طبیعت وجود دارد، برای گریز از محدودیتهای حاکم برآنچه که در طبیعت وجود دارد و برای خلق حالتهای جدید مانند تولید هادرون احتیاج به شتابدهنده‌ها در رسیدن به این امر مهم می‌باشد. برای مثال داده‌هایی که ما به آنالیزآن پرداختیم از برخورد الکترون و پوزیترون در شتابدهنده TRISTAN در KEK می‌باشد.

قبل از آنالیز داده‌ها ابتدا مختصری از شتابدهنده و انواع آن شرح داده می‌شود. در همین فصل با توجه به اینکه داده‌های ما از برخورد الکترون و پوزیترون نتیجه می‌شود، به نحوهٔ تولید و نابودی الکترون و پوزیترون نیز خواهیم پرداخت. وقتی الکترون و پوزیترون با هم برخورد می‌کنند امکان تولید چندین جفت لپتون و یا تولید هادرونهای مختلف وجود دارد. پس در ادامه اطلاعاتی از لپتونها و ساختار هادرونها یعنی کوارکها و نیز علت وجود بار رنگی در برهم‌کنشهای بین کوارکها با معرفی‌کمیت R، خواهیم‌آورد درنهایت نیروهای موجود در طبیعت و تئوری‌های موجود در برهم‌کنش بین ذرات را دسته‌بندی می‌کنیم.

۲-۱ شتابدهنده‌ها

۲-۱-۱ خواص شتابدهنده‌ها:

منظور از شتابدهی ذرات باردار، گسیل باریکه‌ای ازذرات بخصوص با انرژی خاص به طرف هدف مورد نظر است. انواع مختلفی از روشها برای انجام این امر وجود دارند که در تمام آنها از آرایشهای گوناگون میدانهای الکتریکی و مغناطیسی استفاده می‌شود. طرح شتابدهنده‌ها عمدتاً برحسب منظوری که برای آن طراحی می‌شوند تغییر می‌کنند. در پاره‌ای موارد انرژی زیاد و در مواردی شدت زیاد مدنظر است. برای تولید باریکه یونی یا الکترونی که باید شتاب بگیرد از دستگاه چشمه یونی استفاده می‌کنند. در کل، شتابدهنده عمل تهیه باریکه و برخورد دادن آنها را برعهده دارد و آشکارسازها هم کشف محصول برخورد و تفسیر چگونگی اتفاق را انجام می‌دهند.

از نظر نوع هدف فیزیکی هر شتابدهنده‌ای دارای چهار مشخصه مهم است[۷]:

۱- **نوع ذره در شتابدهنده:** چون شتاب دادن ذرات به کمک میدانهای الکترومغناطیسی کنترل می‌شوند مهم است که چه نوع ذره‌ای برای شتاب دادن انتخاب شود.

چون ذرات باردار مجبور می‌شوند در شتابدهنده‌های غیر خطی در مسیر دایره‌ای حرکت کنند در نتیجه فوتون ساطع می‌کنند و انرژی به هدر می‌رود در ادامه راه از تقویت‌کننده‌های فرکانس رادیویی استفاده می‌کنند. مقدار کاهش انرژی برابراست با:

$$\frac{\Delta E}{2\pi R} = \frac{4\pi e^2 \beta^4 \gamma^4}{3R} \qquad (۱-۲)$$

$$\gamma = \frac{E}{m} \quad , \quad \beta = \frac{v}{c}$$

با توجه به فرمول فوق، واضح است که نسبت کاهش انرژی پروتون به الکترون در یک مسیر دایره‌ای $\left(\frac{m_e}{m_p}\right)^4 = 10^{-13}$ می‌باشد.

۲- **انرژی نهایی:** دستگاههای شتابدهنده باید طوری تنظیم شوند که به انرژی مورد نظر برای انجام آزمایش خاص دست یابند. برای هر نوع آزمایشی یک سطح انرژی خاص لازم می‌باشد. مثلاً برای تولید کوارک t (جرم سکون در حدود ۱۸۰GeV) احتیاج به انرژی مرکزجرم بسیار زیادی است.