بسم الله الرّحمن الرّحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده فیزیک

جداسازی فواره گلئونی و بررسی رویدادهای سه‌فواره‌ای ناشی از نابودی زوج الکترون و پوزیترون به روش‌های خوشه‌ای و وو- زوبرنیگ اصلاح‌شده

پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک

بهزاد خواجوی

استاد راهنما

دکتر محمد حسن علامت‌ساز

۱۳۸۷

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده فیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک آقای بهزاد خواجوی

تحت عنوان

جداسازی فواره گلئونی و بررسی رویدادهای سه‌فواره‌ای ناشی از نابودی زوج الکترون و پوزیترون به روش‌های خوشه‌ای و وو- زوبرنیگ اصلاح‌شده

در تاریخ ۱۳۸۷/۱۰/۴ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر **محمد حسن علامت‌ساز**
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر **بهروز میرزا**
۳- استاد داور	دکتر **منصور حقیقت**
۴- استاد داور	دکتر **سیدظفرالله کلانتری**
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر **سیدظفرالله کلانتری**

سپاس برای خداوند یکتا که هر چه داریم از اوست و هر چه به‌دست می‌آوریم همه از مهر اوست. خوشحالم که بعد از تلاشهای مستمر به لطف یزدان و راهنمایی استاد گران‌قدر این پایان‌نامه انجام شد. لازم می‌دانم از زحمات فراوان استاد راهنمای عزیزم جناب آقای **دکتر علامت‌ساز** تشکر کنم.

راهنمایی‌های استاد مشاور دلسوزم، جناب آقای **دکتر میرزا** را ارج می‌نهم و از ایشان سپاسگزارم. از جناب آقای **دکتر کلانتری** که هم به عنوان مسئول تحصیلات تکمیلی و هم داور این پایان‌نامه همکاری نمودند، تشکر می‌کنم. همچنین از استاد عزیز، جناب آقای **دکتر حقیقت** که به عنوان استاد ممتحن اینجانب را راهنمایی فرمودند قدردانی می‌کنم. امیدوارم این عزیزان در تمامی مراحل زندگی موفق باشند.

همچنین از خانواده‌ام که از همهٔ جهات مرا حمایت کردند و تمامی دوستانم که در تمام مدت مرا یاری نمودند، صمیمانه متشکرم. امیدوارم همیشه شاد و پیروز باشند.

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

تقدیم به

خانواده عزیزم که در تمام مدت گرچه از آنها دور بودم اما همیشه مرا حمایت می‌کردند.

و تقدیم به همه کسانی که برای علایق خویش تلاش می‌کنند.

فهر ست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱- چگونه ذرات بنیادی را تولید کنیم؟ ۳

۱-۲- ذرات بنیادی را چگونه آشکار کنیم؟ ۴

۱-۳- تولید هادرون در پراکندگی e^+e^- ۴

فصل دوم: آشنایی با مبانی ذرات بنیادی

۲-۱- ذرات بنیادی و برخی خصوصیات آنها ۹

۲-۲- فرمیونها و بوزونها ۱۱

۲-۳- ذرات و پاد ذرات ۱۱

۲-۴- کوارکها و لپتونها

۲-۴-۱- کوارکها ۱۲

۲-۴-۲- لپتونها ۱۴

۲-۵- دینامیک کوانتومی رنگ

۲-۵-۱- رنگ ۱۵

۲-۵-۲- رنگ به عنوان بار در برهم‌کنش قوی ۱۷

۲-۶- گروه تقارنی SU_3 ..... ۲۰

۲-۷- استتار و آزادی مجانبی ۲۱

۲-۸- واحدها در فیزیک انرژیهای بالا ۲۴

۲-۹- نابودی زوج الکترون- پوزیترون و تولید هادرونها ۲۵

فصل سوم: شتابدهنده‌ها و آشکارسازها

۳-۱- شتابدهنده‌ها ۳۱

۳-۱-۱- شتابدهنده‌های خطی(لیناک) ۳۲

۳-۱-۲- شتابدهنده‌های چرخه‌ای ۳۲

۳-۱-۳- شتابدهنده‌های چرخه‌ای (سینکروترون) ۳۳

۳-۱-۴- متمرکزسازی و پایداری باریکه ۳۴

۳-۱-۵- سینکروترونهای الکترونی ۳۵

۳-۲- آشکارسازها ۳۷

۳-۳- آشکارساز ای-ام-وای (AMY) ۳۹

۳-۳-۱- سیستم ردنگاری ذرات باردار ۴۰

۳-۳-۲- شمارشگر آبشار الکترومغناطیسی (SHC) ۴۰

۳-۳-۳- آهنربای ابررسانایی ۴۱

۳-۳-۴- سیستم شناسایی میون ۴۱

۳-۳-۵- آشکارسازهای پایان حفره ۴۲

۳-۴- نگاهی به آزمایش برخورددهندهٔ بزرگ ذرا ت یا LHC ۴۲

۳-۴-۱- طراحی LHC ۴۲

۳-۴-۲- آشکارسازهای LHC ۴۴

۳-۴-۳- برخی اهداف LHC ۴۶

فصل چهارم: روشهای تحلیل رویدادها

۴-۱- تعاریف

۴-۱-۱- تانسور تکانه ۴۸

۴-۱-۲- کرویت ۴۹

۴-۱-۳- پیشران ۵۳

۴-۲- روشهای جداسازی..... ۵۴

۴-۲-۱- روش وو- زوبرنیگ ۵۵

۴-۲-۲- روش برانت- دامن ۵۹

۴-۲-۳- روشهای اصلاح‌شده (ترکیبی) ۶۰

۴-۲-۳-الف- روش برانت- دامن اصلاح‌شده ۶۰

۴-۲-۴- روش الیس- کارلینر ۶۱

۴-۲-۵- روش شار انرژی ۶۲

۴-۲-۶- روش خوشه‌ای ۶۳

۴-۲-۶-الف- مفاهیم پایه در شناسایی الگو ۶۳

۴-۲-۶-ب- رده‌بندها ۶۴

۴-۲-۶-ج- توابع تصمیم ۶۵

۴-۲-۶-د- رده‌بندهای کمترین فاصله ۶۵

۴-۲-۶-ه- تعریف الگوریتم خوشه‌ای ۶۶

۴-۲-۷- روش اصلاح‌شده وو- زوبرنیگ ۶۹

فصل پنجم: نتایج و نمودارها

۵-۱- انرژی رویداد ۷۲

۵-۲- چندگانگی ۷۳
۵-۳- کرویت و پیشران ۷۴
۵-۴- جداسازی رویدادهای دوجتی و سه‌جتی ۷۶
۵-۵- توزیع جمعی رویدادها بر حسب کرویت ۷۹
۵-۶- اسپین کوارک ۸۴
۵-۶-۱- استفاده از نمودار دالیتز و محور کرویت برای پیش‌بینی اسپین کوارک ۸۴
۵-۶-۲- استفاده از روش خوشه‌ای و محور کرویت برای پیش‌بینی اسپین کوارک ۸۶
۵-۶-۳- استفاده از نمودار دالیتز و محور پیشران برای پیش‌بینی اسپین کوارک ۸۷
۵-۶-۴- استفاده از روش خوشه‌ای و محور پیشران برای پیش‌بینی اسپین کوارک ۸۷
۵-۷- اسپین گلئون ۸۸
۵-۷-۱- تخمین اسپین گلئون به روش اول ۹۰
۵-۷-۲- تخمین اسپین گلئون به روش دوم ۹۲
۵-۷-۳- تخمین اسپین گلئون به روش سوم ۹۳
۵-۷-۴- تخمین اسپین گلئون به روش چهارم ۹۴
نتیجه‌گیری ۹۷
پیشنهادات ۹۸
فهرست منابع ۹۹

چکیده

از برخورد و نابودی زوج الکترون و پوزیترون در شتابدهنده‌های پرانرژی، هادرونها تشکیل می‌شوند. الکترونها و پوزیترونها در دسته‌هایی به هم برخورد داده می‌شوند و ذرات خروجی در مخروطهایی از محل برخورد خارج می‌شوند. به هر دسته از هادرونها که در یک مخروط حرکت می‌کنند، یک فواره هادرونی گفته می‌شود. در هر رویداد ممکن است دو، سه یا چند فواره هادرونی (جت) تشکیل شود. هادرونهای خروجی که به صورت ذراتی باردار یا خنثی هستند در آشکارسازها، آشکار می‌شوند. کمیتهایی چون تکانه، جرم، بار و انرژی آنها در آشکارسازها اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. این داده‌ها در اختیار محققان قرار می‌گیرد و آنان این داده‌ها را تحلیل می‌کنند.

داده‌هایی که در این پایان‌نامه تحلیل شده‌اند، داده‌های شتابدهنده KEK ژاپن هستند. این داده‌ها شامل تکانه ذرات خروجی و بار آنها در هر رویداد می‌باشند. در این داده‌ها، اطلاعات ۳۴۱ رویداد ناشی از برخورد باریکه‌های الکترون و پوزیترون هر کدام با انرژی ۳۰ GeV، ذخیره شده است. تحلیل داده‌ها و بررسی رویدادهای دو و سه‌فواره‌ای می‌تواند آزمون‌هایی را برای نظریه برهم‌کنش‌های قوی (QCD) فراهم کند. در این پایان‌نامه، داده‌ها توسط برنامه‌هایی که به زبان فرترن و متمتیکا نوشته شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفتند. از دو روش برای تحلیل رویدادها و جداسازی فواره‌های هادرونی استفاده شده است. روش اول روش خوشه‌ای است. در این روش برنامه فرترن نوشته شده، با استفاده از الگوریتم شناخت الگو، برای هر رویداد، تعداد فواره‌ها و محور آنها را تعیین می‌کند و فواره‌ها بر حسب انرژی آنها مرتب می‌شوند. در روش دوم ابتدا توسط نمودار دالیتز، رویدادهای دوجتی و سه جتی از کل رویدادها جدا می‌شوند. جداسازی رویدادها در نمودار دالیتز با یک برنامه فرترن و قرار دادن برشهایی بر روی مؤلفه‌های این نمودار حاصل می‌شود. با استفاده از محور فواره‌ها در رویدادهای دوجتی که به کمک کمیت کرویت یا پیشران تعیین می‌شود، می‌توان اسپین کوارک را تعیین کرد.

از رویدادهای سه‌جتی نیز می‌توان برای تعیین اسپین گلئون بهره گرفت. به این منظور در این پایان‌نامه اسپین گلئون به چند روش برآورد شده است. در یک روش رویدادهای سه‌جتی به‌دست آمده از روش خوشه‌ای که محور آنها تعیین شده است، برای تعیین اسپین گلئون به کار برده شده‌اند. در روش دیگر رویدادهایی که سه‌جتی بودن آنها از طریق نمودار دالیتز تعیین شده است، بررسی شده‌اند. برای تعیین محور فواره‌های این رویدادها از روش وو-زوبرنیگ اصلاح‌شده استفاده شده است. بدین منظور یک برنامه فرترن و یک برنامه متمتیکا نوشته شده است که رویدادهای سه‌جتی که توسط نمودار دالیتز جدا شده‌اند را گرفته و برای تعیین محور فواره‌های آنها، روش وو-زوبرنیگ اصلاح‌شده را اجرا می‌کنند. البته به دلیل کم بودن تعداد رویدادها، کمیتهای به‌دست آمده دقت زیادی ندارند و مسلم است هر چه تعداد رویدادها بیشتر باشد، دقت تعیین این کمیتها بالاتر می‌رود.

کلید واژه: نابودی زوج- رویداد- دینامیک کونتومی رنگ - کرویت - پیشران - چندگانگی - فواره هادرونی- اسپین

فصل اول

مقدمه

بشر همواره برای پاسخ دادن به پرسشهایی که در ذهن داشته است، در تلاش و تکاپو بوده است. از بزرگترین سؤالات تاریخ علم بشر این بوده است که، جهان از چه ساخته شده است، چگونه به وجود آمده است و چه قوانینی بر آن حاکم هستند. دانشمندان در دوره‌های مختلف، جوابهای متفاوتی به این گونه سؤالات داده‌اند. آنها بسته به پیشرفتی که علوم تا آن زمان داشته است، پاسخ هایی به این پرسشها داده‌اند. به مرور زمان، که ابزار و وسایل آزمایشگاهی، با دقت بالاتری ساخته می‌شوند، روشهای نوین ابداع می‌شود و ایده‌های جدید به ذهن محققان می‌رسد، آنها توانایی بیشتری در پاسخگویی به این قبیل سؤالات می‌یابند. زمانی دنیا را ساخته شده از بیش از ۱۰۰

عنصر می‌دانستند که این عناصر در جدول تناوبی چیده شده‌اند. اکنون ذرات بنیادی را سنگ بناهای دنیا می‌دانند. ذراتی مانند الکترونها، کوارکها (ذرات تشکیل‌دهنده پروتونها و نوترونها)، نوترینوها، با انجام آزمایشها و محاسبات مختلف طی سالها شناخته شدند. در فصل دوم این پایان‌نامه در مورد ذرات بنیادی و برهم‌کنشهای بین ذرات و نظریات توصیف کننده این برهم‌کنشها بیشتر توضیح خواهیم داد.

۱-۱. چگونه ذرات بنیادی را تولید کنیم؟

برای تولید الکترونها و پروتونها مشکل چندانی نداریم چون اجزای پایدار مواد هستند. برای تولید الکترون کافی است که یک تکه فلز را گرم کنیم، الکترون از آن خارج می‌شود. اگر باریکه‌ای از الکترونها بخواهیم، صفحه‌ای با بار مثبت را نزدیک فلز قرار می‌دهیم تا الکترونها را جذب کند. اگر سوراخی در حفره قرار داده شود، الکترونهایی که از سوراخ عبور می‌کنند تشکیل باریکه می‌دهند. برای به‌دست آوردن پروتون نیز می‌توانیم هیدروژن را یونیزه کنیم.

برای تولید ذرات بنیادی سه منبع عمده وجود دارد: پرتوهای کیهانی، راکتورهای هسته‌ای و شتابدهنده‌های ذرات

پرتوهای کیهانی؛ زمین همواره توسط ذرات پرانرژی فضای بیرون جو بمباران می‌شود. منشأ این ذرات یک معماست. وقتی ذرات در بالای جو به اتمها برخورد می‌کنند رگباری از ذرات ثانویه را تولید می‌کنند. اکثر این ذرات ثانویه که به سطح زمین می‌رسند میون هستند. پرتوهای کیهانی دو ویژگی دارند: مجانی هستند و می‌توانند انرژی زیادی داشته باشند (انرژیی بیش از آنچه در آزمایشگاه می‌توان تولید کرد). اما دو عیب عمده نیز دارند: آهنگ برخورد آنها به هر آشکارسازی با اندازهٔ معقول، بسیار کم است و دیگر اینکه غیر قابل کنترل هستند. از این رو آزمایش با پرتوهای کیهانی صبر و بخت می‌خواهد.

راکتورهای هسته‌ای؛ وقتی که هسته‌ای پرتوزا تجزیه می‌شود، انواع ذرات از آن گسیل می‌گردد- نوترون، نوترینو، پرتوهای آلفا، پرتوهای بتا و گاما.

شتابدهنده‌های ذرات؛ الکترونها و پروتونها را شتاب می‌دهیم تا انرژی آنها بالا رود و بعد آنها را به یک هدف برخورد می‌دهیم. با استقرار ماهرانه جذب‌کننده‌ها و آهنرباها می‌توانیم از ذرات به‌دست آمده آنچه را که مورد نظر است بررسی و گزینش کنیم. امروزه با این روش می‌توان باریکه‌های ثانویه پر شدت از پوزیترون، پایون، میون، کائون و پادپروتون تولید کرد. حتی می‌توان آنها را به حلقه‌های ذخیره غول‌پیکر فرستاد و با هدایت آهنرباهای قوی بارها گردش داد و در زمان لازم خارج کرد و برخورد داد. در فصل ۳ با انواع شتابدهنده‌ها و نحوه کار آنها بیشتر

آشنا می‌شویم. به‌خصوص در پایان این فصل کمی در مورد آزمایش LHC که در آن پرانرژی‌ترین برخوردها اتفاق می‌افتد توضیح خواهیم داد.

۱-۲. ذرات بنیادی را چگونه آشکار کنیم؟

انواع گوناگون آشکارسازهای ذرات بنیادی وجود دارد؛ شمارشگر گایگر، اتاقک ابری، اتاقک حباب، اتاقک جرقه، امولسیون عکاسی، شمارشگرهای چرنکوف، سوسوزنها، تقویت‌کننده‌های نوری و . . .

در عمل یک آشکارساز نوین دارای یک آرایه کامل از این وسایل است که به رایانه وصل هستند. این ابزار ذرات را دنبال می‌کنند و مسیر حرکت انها را روی صفحه نمایشگر نشان می‌دهند. سازوکار بیشتر آشکارسازها بر این واقعیت استوار است که وقتی ذرات باردار پرانرژی از ماده عبور می‌کنند اتمهای بین راه را یونیزه می‌کنند، یونها نیز به عنوان هسته تشکیل قطره‌ای کوچک (اتاقک ابری) یا حباب (اتاقک حباب) یا جرقه (اتاقک جرقه) بسته به مورد، عمل می‌کنند. اما ذرات خنثی یونش به وجود نمی‌آورند و مسیری بر جای نمی‌گذارند. در فصل ۳ پایان‌نامه در مورد آشکارسازها و نحوه آشکارسازی ذرات در آنها بیشتر توضیح می‌دهیم. همچنین در مورد آشکارساز AMY توضیحاتی می‌دهیم. داده‌هایی که در این پایان‌نامه از آنها استفاده شده است مربوط به این آشکارساز است که در حلقهٔ ذخیره Tristan در آزمایشگاه KEK ژاپن قرار دارد.

۱-۳. تولید هادرون در پراکندگی e^+e^-

الکترونها و پوزیترونها در برهم‌کنشهای قوی شرکت نمی‌کنند. یکی از راههایی که در صورت داشتن انرژی کافی برخورد e^+e^- می‌تواند ذراتی با برهم‌کنش قوی تولید کند، تولید فوتون مجازی است که این فرایند در رابطه (۱-۱) آورده شده است.

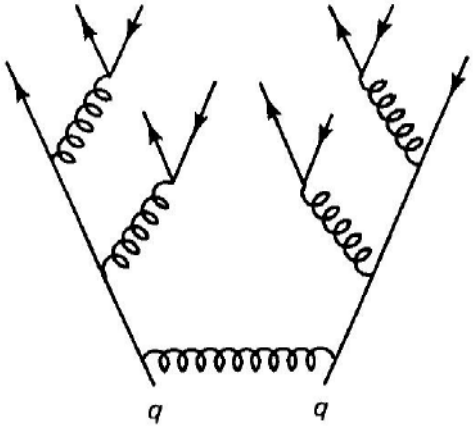
$$e^+ + e^- \longrightarrow \gamma \longrightarrow q + \bar{q} \qquad (۱-۱)$$

اگر انرژی به حد کافی بالا باشد ذرهٔ مجازی Z^o نیز می‌تواند تولید شود که سازوکار آن در رابطه (۱-۲) نشان داده شده است.

$$e^+ + e^- \longrightarrow Z^o \longrightarrow q + \bar{q} \qquad (۱-۲)$$

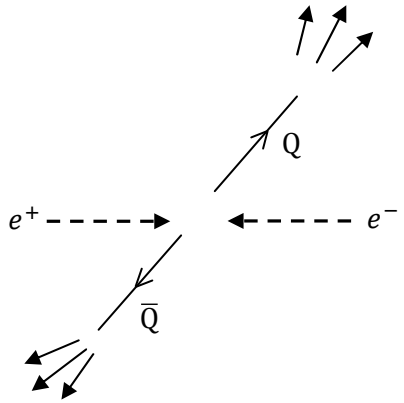
برای لحظه‌ای کوتاه کوارکها همانند ذرات آزاد حرکت می‌کنند، اما هنگامی که به فاصله حدود $۱۰^{-۱۵}$ متر (قطر یک هادرون) از هم می‌رسند برهم‌کنش قوی بین آنها آنقدر زیاد می‌شود که جفت جدید کوارک-پادکوارک تولید می‌شود. این زنجیره طوری ادامه می‌یابد که این کوارکها و پادکوارکهای تولیدشده، در هزاران ترکیب جهت

ساختن مزونها و باریونها شرکت می‌کنند و در آشکارسازها، آشکار می‌گردند. در شکل (۱-۱) این فرایند زنجیره‌ای نشان داده شده است [۱].



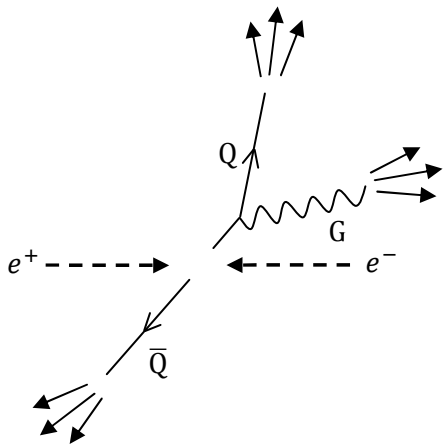
شکل ۱-۱: زنجیره تولید هادرونها در نابودی زوج الکترون و پوزیترون

در انرژی برخورد حدود GeV ۴۰- ۱۵ برای نابودی زوج الکترون و پوزیترون، در فرایند تولید هادرونها پدیده غالب به شکل فرایندی است که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.



شکل ۱-۲: رویداد دوفواره‌ای برای تولید هادرون در نابودی زوج الکترون و پوزیترون

در انرژی‌های بالا فرایند غالب، شکل‌گیری دو فواره پشت‌به‌پشت است. اما انتظار داریم گاهی قبل از پدیده ترکش کوارکها به هادرونها، یک گلئون با تکانه بالا در زاویه‌ای بزرگ نسبت به کوارک یا پادکوارک گسیل شود. این اتفاق منجر به شکل‌گیری پدیده سه‌فواره‌ای می‌شود که در شکل (۱-۳) نشان داده شده است. چنین پدیده‌هایی گواه محکمی بر این موضوع می‌توانند باشند که گلئون ذره‌ای با اسپین ۱ است [۲].



شکل ۱-۳: رویداد سه‌فواره‌ای برای تولید هادرون در نابودی زوج الکترون و پوزیترون

از تجزیه و تحلیل رویدادهای دوفواره‌ای و سه‌فواره‌ای می‌توان کمیاتی فیزیکی چون اسپین کوارک و گلئون را تخمین زد. برای تحلیل این رویدادها گروههای مختلفی در آزمایشگاهها مشغول به کارند. برای نمونه در شتابدهنده PETRA[۱] در حوالی دهه ۹۰ میلادی برخوردهایی با بیشترین انرژی برابر GeV ۴۳ انجام شده است. پنج آزمایش در چهار سالن مختلف در این آزمایش انجام شده است که عبارتند از: CELLO، PLUTO، JADE، MARK J و TASSO. این گروهها هر کدام داده‌های PETRA را تحلیل کرده‌اند.

برای تحلیل رویدادها کمیاتی تعریف کرده‌اند و روشهای مختلفی را برای جداسازی رویدادهای دوفواره‌ای و سه‌فواره‌ای و تعیین محور فواره‌ها به کار برده‌اند. در بخش ۴ این پایان‌نامه با این کمیات تعریف شده و روشها بیشتر آشنا می‌شویم و در مورد دو روشی که ما از میان این روشها انتخاب و داده‌ها را تحلیل کردیم، توضیحات بیشتری می‌دهیم. ما برای تحلیل داده‌ها از زبان برنامه‌نویسی فرترن و نرم‌افزارهایی مانند متمتیکا و آریجین استفاده کردیم.

در فصل پنجم نتایج و نمودارها و به طور مختصر الگوریتم استفاده شده برای تحلیل داده‌ها آورده شده‌اند. برای آشنایی بیشتر با رویدادهای مورد بحث، انرژی و چندگانگی رویدادها را رسم کردیم و کمیاتی چون اسپین کوارک و اسپین گلئون از چند طریق محاسبه شد که توضیحات بیشتر در آن فصل داده شده است.

۱. Positron-Electron Tandem Ring Accelerator

فصل دوم

آشنایی با مبانی ذرات بنیادی

مقدمه

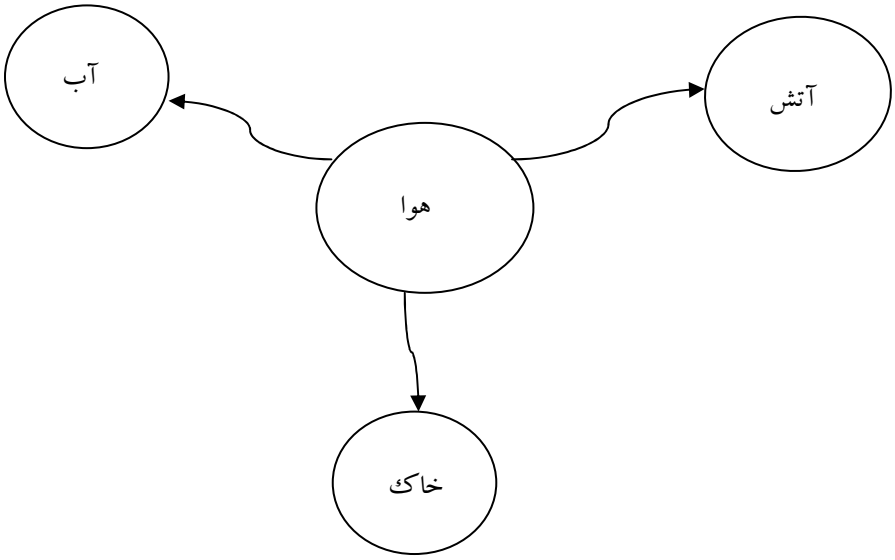
دنیا از چه ساخته شده است؟

تلاش بشر برای پاسخ به این پرسش، در تحقیقات فیزیک ذرات به چشم می‌خورد. شاید ابتدایی‌ترین پاسخ را به این چیستان، امپدوکلس[1] یونانی داد که در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. جوابی نیز توسط مندلیف[2] حدود بیست و پنج قرن بعد آن داده شد که همه با آن آشناییم: جدول تناوبی؛ یک مجموعه که به نسخه‌ای عام‌تر از همان شکل (۲-۱) شبیه است، که حاوی بیش از یکصد عنصر شیمیایی است. مسلماً مدل آناکسیمنس برای ساختار بنیادی ماده مفهوم‌تر است چرا که ساده‌تر است و تعداد پایه‌های سازندهٔ آن کمتر می‌باشد.

---

۱. Empedocles

۲. Mandeleev



شکل ۲- ۱: همه مواد جهان از چهار عنصر هوا، آب، آتش و خاک ساخته شده‌اند.

مدل امپدوکلس فقط یک مشکل بزرگ دارد: اشتباه است. جواب مندلیف صحیح است اما برای اینکه بخواهد جواب پایه و نهایی را نشان دهد، خیلی پیچیده است. ازدیاد عناصر شیمیایی در ساختمان جدول تناوبی، به شدت وجود یک زیرساخت را گوش‌زد می‌کند.

ما اکنون می‌دانیم که عناصر جدول مندلیف از الکترونها و هسته‌ها که بنیادی‌ترند، تشکیل شده‌اند. جواب حال حاضر ما به پرسشی که در ابتدای مقدمه مطرح شد، جدول (۲ – ۱) است. که مرحله به مرحله از مجموعه آزمایشاتی در زمینه‌های اتمی، هسته‌ای، اشعه کیهانی و فیزیک انرژیهای بالا، استخراج شده است. این آزمایشات که در اواخر قرن بیستم انجام شد، ما را به دنیای کوارکها، لپتونها و بوزونهای پیمانه‌ای رهنمون ساخت[۱]. در جدول (۲-۱) فقط نام ذراتی آورده شده است که با آنها بیشتر سر و کار داریم. ذرات دیگری نیز غیر از این ذرات در دنیای ما وجود دارند که در این جدول نیامده است.

اصولاً فیزیک انرژیهای بالا[۱] به مطالعهٔ محتویات بی‌انتهای ماده و ماهیت برهم‌کنش‌های بین آنها می‌پردازد. تحقیقات آزمایشگاهی در این زمینه از علم، توسط شتابدهنده‌های بزرگ ذرات و ابزار آشکارسازی کنار آنها انجام می‌گیرد. به دو دلیل انرژیهای بالا مورد نیاز است؛ اولاً برای آنکه بتوان فواصل بسیار کوچک را بررسی کرد، احتیاج به طول موج کوتاه و انرژی بالا داریم. دلیل دوم اینکه بسیاری از ذرات بنیادی جرم زیادی دارند و برای تولید و مطالعهٔ آنها به انرژیهای بالا نیازمندیم.

۱. high energy physics

جدول ۲ - ۱: سنگ بناهای ذرات بنیادی و بعضی اعداد کوانتومی آنها

نام	اسپین	عدد باریونی B	عدد لپتونی L	بارالکتریکی Q
کوارکها				
u (بالا)	۱/۲	۱/۳	صفر	+۲/۳
d (پایین)	۱/۲	۱/۳	صفر	−۱/۳
لپتونها				
e (الکترون)	۱/۲	صفر	۱	−۱
ν (نوترینو)	۱/۲	صفر	۱	صفر
بوزونهای پیمانه‌ای				
γ (فوتون)	۱	صفر	صفر	صفر
z, $w^{\pm}$ (ضعیف)	۱	صفر	صفر	۱±، صفر
$g_i(i = 1, \dots, 8)$ (گلئونها)	۱	صفر	صفر	صفر

۲-۱. ذرات بنیادی و برخی خصوصیات آنها

بیش از پنجاه سال پیش فقط تعداد کمی ذرات بنیادی شناخته شده بودند. این ذرات شامل پروتون، نوترون، الکترون، نوترینو و کوانتوم میدان الکترومغناطیسی(فوتون) می‌شدند. آن‌طور که اکنون به نظر می‌رسد، جهان تقریباً از این ذرات تشکیل شده است. اما تلاش برای فهم جزئیات نیروی هسته‌ای بین پروتونها و نوترونها، منجر به ساخت شتابدهنده‌های بزرگتر و مشاهدهٔ صدها حالت ناپایدار از ذراتی شده است که مجموعاً هادرون نامیده می‌شوند. از این ازدحام تصویر تقریباً ساده‌ای بیرون می‌آید:

۱. همهٔ مواد از ذرات بنیادی با اسپین $\frac{۱}{۲}$ تشکیل شده‌اند. این ذرات شامل کوارکهایی با بار کسری $\frac{۲}{۳}$ الکترون و $-\frac{۱}{۳}$ الکترون و لپتونهایی مانند الکترون و نوترینو می‌باشند که بارشان به ترتیب یک و صفر است.

۲. این ذرات تشکیل دهنده می‌توانند با مبادلهٔ چند بوزون بنیادی با هم برهم‌کنش کنند که کوانتوم چهار نوع برهم‌کنش بنیادی یا میدان هستند.

این چهار برهم‌کنش بنیادی بدین شرح هستند؛ گرانش که برای همه آشناست، در مقیاس‌های جرم و فاصلهٔ مطرح در فیزیک ذرات، کم اهمیت‌ترین برهم‌کنش در بین چهار برهم‌کنش است. بعد از گرانش، برهم‌کنش الکترومغناطیسی برای بیشتر پدیده‌های فرا هسته‌ای در فیزیک به حساب می‌آید (زیرا نیروهای الکترومغناطیسی بلندترین برد را دارند) که منجر به حالات مقید اتمها و مولکولها می‌شوند. برهم‌کنشهای ضعیف نیز وجود دارند که فرایندهای بسیار کند واپاشی βزای هسته‌ها از نمونه‌های آنها می‌باشند. برهم‌کنشهای قوی کوارکهای داخل پروتون

را کنار هم نگه می‌دارند و اثرات باقیماندهٔ نیروهای بین آنها، عهده‌دار برهم‌کنش بین نوترونها و پروتونها به حساب می‌آید[۳].

در تصویری که برای ذرات تشکیل دهندهٔ دنیا ساخته شد، جنبه‌های غیر معمولی نیز به چشم می‌خورد. تا کنون کوارکها به شکل ذرات آزاد مشاهده نشده‌اند و به نظر می‌رسد که همیشه به شکل ذراتی که هادرون نامیده می‌شوند، محبوس شده‌اند. کوارکها در چندین نوع مختلف یا طعم[۱] وجود دارند (تا کنون شش نوع کوارک شناخته شده است)، مشابه با کوارکها، شش نوع لپتون نیز وجود دارد (سه نوع باردار و سه نوع بدون بار). ما نه مکانیسم محبوس شدن را می‌دانیم و نه دلیل واقعی این مطلب که لپتونها و کوارکها رونوشتی از همدیگرند، در حالی که جهان به طور پایه فقط از دو نوع کوارک و یک لپتون باردار و یک لپتون بی‌بار ساخته شده است[۳،۲].

چندگانگی طعم‌های کوارکی و لپتونی مشابه وجود چند نوع برهم‌کنش بنیادی است. در بعضی زمینه‌های مناسب فرض می‌کنند که بعضی یا شاید تمام برهم‌کنشها وحدت یابند. یعنی برهم‌کنشهای موجود، وجوه گوناگونی از یک برهم‌کنش هستند. به نظر می‌رسد برهم‌کنشهای الکترومغناطیسی و ضعیف دارای جفتیدگی یکسانی بین ذرات برهم‌کنش کننده و ذره واسطه‌ای می‌باشند. این دو برهم‌کنش وجوه مختلف برهم‌کنش الکتروضعیف[۲] هستند.

برهم‌کنشهای ضعیف در مقایسه با برهم‌کنشهای الکترومغناطیسی، ضعیف‌ترند. برهم‌کنش الکترومغناطیسی با میدان فوتونی بی‌جرم و با برد نامتناهی احاطه شده است در صورتی که برهم‌کنش ضعیف به طور طبیعی برد کوتاهی دارد و توسط سه ذره که جرمهایی حدود ۱۰۰ برابر پروتون دارند، احاطه می‌شود و این دلیل ضعیف بودن آن نسبت به برهم‌کنش الکترومغناطیسی است. در انرژیها و انتقال تکانه‌های بالای این مقیاس جرمی، برهم‌کنش ضعیف و الکترومغناطیسی باید قدرت برابری داشته باشند.

مطالعهٔ فیزیک ذرات با تحولات جهان بسیار مرتبط است. برخی دانشمندان معتقدند که جهان از یک حباب پرانرژی گسترش یافته است که همه ذرات-کوارکها، لپتونها، کوانتوم‌ها- از آن خلق شده‌اند. در حال حاضر ما با جهان گسترده و سرد شده‌ای بعد از مهبانگ[۳] روبه‌رو هستیم. بنابراین جستجو در انرژیهای بالاتر در واقع نگاهی به زمان گذشته است، یعنی مراحل اولیهٔ خلقت که خصوصیات آغازین جهان امروز ما را وصف می‌کند. بد نیست در اینجا به انواع ذرات در دسته‌بندی های مختلف نگاهی داشته باشیم. ذرات از نظر اندازهٔ اسپین، به دو دسته فرمیون و بوزون تقسیم می‌شوند. در دسته‌بندی دیگر ذرات به دو دستهٔ ذره و پادذره تقسیم می‌شوند. در ادامه به توضیح مختصری در مورد این دو دسته‌بندی می‌پردازیم [۴،۳].

---

۱. flavor

۲. electroweak

۳. bigbang