



دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک، گرایش ذرات بنیادی

عنوان پایان نامه:

مقایسه‌ی برهمکنش‌های الکترون - پوزیترون با برهمکنش‌های هادرونی و داده‌های مونت کارلو

استاد راهنما:

دکتر محمد ابراهیم زمردیان

نگارش :

ریحانه صالح مقدم

تابستان ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به نام عالم بی همتا

((بسم الله الرحمن الرحيم)). به نام او که زینت زبانها و یادگار جانها نام او، به نام او که آسایش دلها و آرایش کارها به نام او، به نام او که روح روحها و مفتاح فتوحها نام او، به نام او که فرمانها روان و حالها بر نظام از نام او.

ای کریمی که بخشنده عطایی و ای حکیمی که پوشنده ی خطائی و ای صمدی که از ادراک خلق جدائی و ای احدی که ذات و صفات بی همتایی و ای خالقی که راهنمایی و ای قادری که خدایی را سزایی. جان ما را صفای خود ده و دل ما را هوای خود ده و چشم ما را ضیای خود ده و ما را آن ده که ما را آن به و مگذار ما را به که و مه.

الهی علمی را که خود افراشتی، نگونسار مکن.

الهی دانایی ده تا از راه نیفتیم و بینایی ده تا در چاه نیفتیم. دست گیر که دست آویزی نداریم.

جهان را بلندی و پستی تویی ندانم که ای هر چه هستی، تویی

پس از حمد و ثنای پروردگار، بر محمد مصطفی درود که در درگاه ربوبیت از آن بزرگوارتر نیست و از دور آدم تا منتهای عالم بیرون از وی، کس را این منزلت ندادند و این مرتبت ننهادند.

بدان که علم شریفترین وسیلتی است قربت حق را، و صفت حق است، و به وسیلت علم به درجات علی

می توان رسید.

علم بر سر تاجست و جهل بر گردن غل.

این پایان نامه تنها ذره ای از گستره ی بیکران علم است. که تقدیم می شود به همه ی دست اندرکاران علم و دانش که همواره راه را برای گسترش علم و دانش هموار نمودند. و همه ی کسانی که در طول دوران تحصیل از کمک و مساعدت آن ها بهره مند شدم. به خصوص **استاد ارجمند جناب آقای دکتر زمردیان** که با راهنمایی های ارزنده و مفید خود با بردباری در امر پژوهش مرا یاری نمودند. ضمن ادای سپاس از عنایات بیدریغ ایشان، از استادان گرامی جناب آقایان دکتر سربیشه ای و دکتر جاویدان و سرکار خانم دکتر اسلامی نیز که در جلسه دفاع حضور بهم رسانیدند و با رهنمود های خود مرا یاری رسانیدند، کمال تشکر را دارم. همچنین در اینجا، لازم است از زحمات و فداکاری های **پدر و مادر عزیزم** که با لطف و مهربانی خود مرا در تمام طول زندگی یاری رسانیدند و همچنین **خواهر و برادر عزیزم** نیز تشکر و قدردانی کنم.

فهرست :

چکیده

فهرست تصاویر و نمودارها

فصل اول: مقدمه‌ای بر ذرات بنیادی

- پیشگفتار: ۲
- ۱-۱ مقدمه‌ی ذرات: ۳
- ۲-۱ یاد ذرات: ۵
- ۳-۱ ذرات شگفت: ۵
- ۴-۱ قوانین بقا: ۶
- ۵-۱ مدل استاندارد: ۷
- ۱-۵-۱ نقض CP: ۹
- ۲-۵-۱ بوزون هیگز: ۱۱
- ۶-۱ پدیده‌ی حبس: ۱۲
- ۷-۱ آزادی مجانبی: ۱۲
- ۸-۱ مدل‌ها و نظریه‌ها در QCD: ۱۴
- ۹-۱ برهمکنش QCD، کوارک‌ها و گلوئون‌ها: ۱۵
- ۱۰-۱ سه پدیده برای توجیه عدد کوانتومی رنگ: ۱۸
- ۱۱-۱ انواع پراکندگی‌ها: ۲۱
- ۱-۱۱-۱ پراکندگی الاستیک (کشسان): ۲۱
- ۲-۱۱-۱ پراکندگی غیر الاستیک (ناکشسان): ۲۲

- ۳-۱۱-۱ پراکندگی غیر الاستیک عمیق (DIS): ۲۳.....
- ۱۲-۱ آشکارسازها و نحوه‌ی عملکرد آشکارساز AMY: ۲۴.....
- ۱-۱۲-۱ اصول کار دستگاه‌های آشکارساز: ۲۵.....
- ۲-۱۲-۱ آشکارساز AMY: ۲۵.....
- ۱-۲ اتاقک حباب: ۲۵.....
- ۲-۲ اتاقک جرقه: ۲۶.....
- ۳-۱۲-۱ ناحیه‌ی اندرکنش (لوله باریکه پرتو): ۳۱.....
- ۴-۱۲-۱ سیستم ردیابی ذرات باردار: ۳۲.....
- ۵-۱۲-۱ شمارنده‌ی بارش الکترومغناطیسی: ۳۳.....
- ۶-۱۲-۱ سیم پیچ سیملوله‌ای ابر رسانا: ۳۴.....
- ۷-۱۲-۱ آشکارسازهای پایانه: ۳۴.....
- ۸-۱۲-۱ جمع آوری و ثبت داده‌ها: ۳۵.....
- ۹-۱۲-۱ شرایط انتخاب رویداد: ۳۶.....

فصل دوم: QCD و جت

- پیشگفتار ۳۸.....
- ۱-۲: دو مزیت اساسی فرآیندهای نابودی e^+e^- : ۳۹.....
- ۲-۲: فرآیندهای ممکن در نابودی e^+e^- : ۴۰.....
- ۳-۲: محدودیت‌های برهمکنش‌های e^+e^- : ۴۲.....
- ۴-۲: تعریف جت: ۴۴.....
- ۵-۲: الگوریتم‌های یابنده‌ی جت: ۴۶.....
- ۱-۵-۲: اساس رایج ترین الگوریتم‌های خوشه‌ای: ۴۶.....

۴۷.....	۲-۵-۲ : الگوریتم JADE:
۴۸.....	۶-۲ : تعیین محور جت :
۴۹.....	۱-۶-۲ : تراست:
۴۹.....	۲-۶-۲: اسفرسیستی:
۵۰.....	۳-۶-۲ چند مزیت تراست بر اسفرسیستی :
۵۱.....	۷-۲ مقایسه‌ی برهمکنش‌های e^+e^- با برهمکنش‌های هادرونی:

فصل سوم: تجزیه و تحلیل فیزیکی

۵۹.....	پیشگفتار
۶۳.....	۱-۳ نتایج فیزیکی :
۷۹.....	۲-۳ مقایسه با داده‌های هادرونی :
۸۵.....	۳-۳ توزیع تراست برای رویدادهای دو جتی و سه جتی :
۱۰۸.....	بحث و نتیجه گیری :

پیوست:

۱۱۰.....	برنامه های کامپیوتری:
۱۱۰.....	برنامه تراست:
۱۱۵.....	برنامه جت:
۱۲۴.....	برنامه اسفرسیستی:
۱۳۰.....	مراجع:

چکیده :

در این پایان نامه داده‌های e^+e^- را با برهمکنش‌های هادرونی مقایسه می‌کنیم. $\langle 1 - T \rangle$ که در آن T ، تراس است به همراه $\langle P_T \rangle$ و $\langle P_L \rangle$ نسبت به محور تراس برای داده‌های AMY و همچنین برای داده‌های مونت کارلو (شامل داده‌های الکترون-پوزیترون و داده‌های هادرونی) تا انرژی مرکز جرم 200 GeV محاسبه شده است. P_T مؤلفه‌ی تکانه‌ی عرضی عمود بر جهت حرکت هادرون‌ها است و P_L مؤلفه‌ی تکانه‌ی ذرات در جهت محور جت (تراست) میباشد. مشاهده می‌شود مقادیر $\langle 1 - T \rangle$ ، $\langle P_T \rangle$ و $\langle P_L \rangle$ برای داده‌های AMY با مقادیر متناظر برای داده‌های هادرونی مطابقت دارد. توزیع تراس در انرژی مرکز جرم 60 GeV برای رویدادهای دو جتی، داده‌های واقعی الکترون-پوزیترون و داده‌های هادرونی در T های بالا با یکدیگر سازگار است، اما داده‌های AMY در مقادیر پایین T تراکم بیشتری را نسبت به بقیه‌ی داده‌ها از خود نشان می‌دهد. این احتمالاً از این واقعیت ناشی می‌شود که احتمال تولید یک کوارک سنگین یا تابش گلوئون برای داده‌های الکترون-پوزیترون بیشتر است. این تفاوت می‌تواند ناشی از روشی باشد که انرژی جت تعریف می‌شود.

در حالت کلی تشابهات قابل ملاحظه‌ای بین این دو نوع رویداد برقرار است. از اینرو نتیجه می‌گیریم مثل پراکندگی سخت (برهمکنش‌های هادرونی) و رویدادهای جت‌هایی که در انواع رویدادهای مختلف الکترون-پوزیترون مشاهده می‌شوند، از مکانیسم یکسانی برای هادرونی شدن تبعیت می‌کنند. یعنی برای تمام آنها هادرونی شدن از طریق پارتون‌های محبوس (ناحیه‌ی غیر اختلالی) صورت می‌گیرد.

فهرست تصاویر و نمودارها :

فصل اول :

- شکل ۱-۱. طبقه بندی فرمیون‌ها..... ۴
- شکل ۲-۱. طبقه بندی ذرات بنیادی..... ۶
- شکل ۳-۱. وحدت نیروها در مدل استاندارد..... ۸
- شکل ۴-۱. دسته بندی ذرات بنیادی در سه گروه..... ۸
- شکل ۵-۱. نمایی از انفجار بزرگ و تولید ذرات بنیادی..... ۱۲
- شکل ۶-۱. تولید مزون‌های جدید با افزایش فاصله کوارک‌ها..... ۱۴
- شکل ۷-۱. دور شدن کوارک‌ها و گلوئون‌ها از یکدیگر و هادرونی شدن..... ۱۴
- شکل ۸-۱. انواع کوارک‌ها..... ۱۵
- شکل ۹-۱. واپاشی دو کوارک به ذرات بنیادی..... ۱۶
- شکل ۱۰-۱. برهمکنش پروتون با نوترون..... ۱۷
- شکل ۱۱-۱. تفاوت مقدار α در QCD و QED..... ۱۸
- شکل ۱۲-۱. پیکر بندی ذره ی Δ^{++} نسبت به مبادله‌ی دو کوارک..... ۱۹
- شکل ۱۳-۱. اتصال کوارک‌ها از طریق مبادله گلوئون..... ۲۱
- شکل ۱۴-۱. نمایی از اتاقک حباب..... ۲۶
- شکل ۱۵-۱. دو نمای از اتاقک جرقه..... ۲۷
- شکل ۱۶-۱. شتابدهنده‌ی TRISTAN..... ۲۸
- شکل ۱۷-۱ و ۱۸. آشکارساز AMY..... ۲۹
- شکل ۱۹-۱. نمونه‌ای از رویداد اوّل..... ۳۰
- شکل ۲۰-۱. نمونه‌ای از رویداد دوم..... ۳۱

فصل دوم :

- شکل ۱-۲. برهمکنش الکترومغناطیسی الکترون-پوزیترون..... ۴۰
- شکل ۲-۲. واپاشی نوترون..... ۴۱
- شکل ۳-۲. نمودارهای فاینمن موجود در برهمکنش‌های ضعیف..... ۴۱
- شکل ۴-۲. تولید لپتون‌های سبک تر از لپتون سنگین و تغییر طعم..... ۴۲
- شکل ۵-۲. انواع برهمکنش‌ها و ذرات واسطه‌ی آنها..... ۴۲
- شکل ۶-۲. فرآیند هادرونی شدن و تولید رگباری از هادرون‌ها..... ۴۳
- شکل ۷-۲. واپاشی الکترون - پوزیترون به کوارک‌ها..... ۴۴
- شکل ۸-۲. حضور حداقل چهار جت در فرآیند واپاشی..... ۴۴
- شکل ۹-۲. فرآیند دو جتی..... ۴۵
- شکل ۱۰-۲. فرآیند سه جتی..... ۴۵
- شکل ۱۱-۲. فرآیند چهار جتی با تولید دو گلوئون..... ۴۶
- شکل‌های ۱۲-۲. ردهای ذرات باردار در یک جت کوارک و پادکوارک و تشکیل رویدادهای دو جتی و سه جتی..... ۴۸

نمودارها :

- شکل ۱۳-۲. نمودار اسفریسیتی در انرژی‌های ۱۰، ۱۶ و 110 GeV ۵۲
- شکل ۱۴-۲. نمودار توزیع تراست در انرژی‌های ۱۰، ۱۶ و 110 GeV ۵۳
- شکل ۱۵-۲. نمودارهای میانگین اسفریسیتی و تراست..... ۵۴
- شکل ۱۶-۲. نمودار میانگین‌های تکانه‌های طولی و عرضی..... ۵۵
- شکل ۱۷-۲. نمودار $\langle T-1 \rangle$ برای داده‌های AMY و مونت کارلو..... ۵۶
- شکل ۱۸-۲. نمودارهای میانگین تکانه‌های طولی و عرضی..... ۵۷

فصل سوم :

- شکل ۳-۱. یک فرآیند پراکندگی سخت..... ۶۱
- شکل ۳-۲. ساختار دو جتی ($e^+e^- \rightarrow qq^-$)..... ۶۱
- شکل ۳-۳. ساختار سه جتی ($e^+e^- \rightarrow qqg^-$)..... ۶۱

نمودارها :

- شکل ۳-۴. نمودار فراوانی برای داده‌های مونت کارلو و AMY..... ۶۳
- شکل ۳-۵. توزیع فراوانی چندگانگی رویدادهای الکترون پوزیترون در LEP..... ۶۴
- شکل ۳-۶. توزیع فراوانی چندگانگی رویدادهای الکترون-پوزیترون در مقایسه با نتایج مونت کارلو PYTHIA..... ۶۵
- شکل های ۳-۷ و ۳-۸. نمودار تراست برای انرژی های ۶۰ GeV و ۹۱ GeV..... ۶۶
- شکل های ۳-۹ و ۳-۱۰. نمودار تراست برای انرژی های ۱۳۳ GeV و ۱۶۱ GeV..... ۶۷
- شکل های ۳-۱۱ و ۳-۱۲. نمودار تراست برای انرژی های ۱۸۳ GeV و ۲۰۰ GeV..... ۶۸
- شکل ۳-۱۳. نمودار فراوانی تراست در انرژی های مختلف مونت کارلو..... ۶۹
- شکل ۳-۱۴. نمودار اسفیریسیتی برای داده های AMY در انرژی ۶۰ GeV..... ۷۰
- شکل ۳-۱۵. نمودار اسفیریسیتی برای داده مونت کارلو در انرژی ۶۰ GeV..... ۷۰
- شکل ۳-۱۶. نمودار فراوانی ۱-T برای داده های AMY..... ۷۱
- شکل ۳-۱۷. نمودار فراوانی ۱-T برای داده های مونت کارلو..... ۷۱
- شکل ۳-۱۸. نمودار $\langle 1-T \rangle$ برای داده های AMY و مونت کارلو..... ۷۲
- شکل ۳-۱۹. نمودار تکانه های طولی و عرضی در انرژی ۶۰ GeV..... ۷۳
- شکل ۳-۲۰. نمودار تکانه های طولی و عرضی در انرژی ۹۱ GeV..... ۷۴
- شکل ۳-۲۱. نمودار تکانه های طولی و عرضی در انرژی ۱۳۳ GeV..... ۷۵
- شکل ۳-۲۲. نمودار تکانه های طولی و عرضی در انرژی ۱۶۱ GeV..... ۷۶
- شکل ۳-۲۳. نمودار تکانه های طولی و عرضی در انرژی ۱۸۳ GeV..... ۷۷
- شکل ۳-۲۴. نمودار تکانه های طولی و عرضی در انرژی ۲۰۰ GeV..... ۷۸

- شکل ۳-۲۵. نمودار میانگین تکانه‌ی طولی نسبت به محور جت ۷۹
- شکل ۳-۲۶. نمودار میانگین تکانه‌ی عرضی نسبت به محور جت ۸۰
- شکل ۳-۲۷. نمودار $\langle PT \rangle$ و $\langle PL \rangle$ نسبت به محور تراست ۸۱
- شکل ۳-۲۸. نمودار $\langle PT \rangle$ و $\langle PL \rangle$ برای داده‌های AMY و مونت کارلو e^+e^- ۸۲
- و پروتون - پروتون ۸۲
- شکل ۳-۲۹. نمودار تراست برای پروتون - پروتون در انرژی 60 GeV ۸۳
- شکل ۳-۳۰. نمودار تکانه‌ی طولی پروتون - پروتون در انرژی 60 GeV ۸۴
- شکل ۳-۳۱. نمودار تکانه‌ی عرضی پروتون - پروتون در انرژی 60 GeV ۸۴
- شکل ۳-۳۲. نمودار تفکیک جت‌ها در Y_{cut} های مختلف ۸۵
- شکل ۳-۳۳. نمودار تراست دو جتی و سه جتی برای داده‌های AMY ۸۶
- شکل ۳-۳۴. نمودار تراست برای داده‌های AMY کامل، دو جتی و سه جتی ۸۷
- شکل ۳-۳۵. نمودار تراست دو جتی و سه جتی در $Y = 0/0.2$ ۸۸
- شکل ۳-۳۶. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی در $Y = 0/0.2$ ۸۸
- شکل ۳-۳۷. نمودار تراست دو جتی و سه جتی در $Y = 0/0.3$ ۸۹
- شکل ۳-۳۸. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی در $Y = 0/0.3$ ۸۹
- شکل ۳-۳۹. نمودار تراست دو جتی و سه جتی در $Y = 0/0.4$ ۹۰
- شکل ۳-۴۰. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی در $Y = 0/0.4$ ۹۰
- شکل ۳-۴۱. نمودار تراست دو جتی و سه جتی در $Y = 0/0.1$ ۹۱
- شکل ۳-۴۲. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی در $Y = 0/0.1$ ۹۲
- شکل ۳-۴۳. نمودار تراست دو جتی و سه جتیدر $Y = 0/0.2$ ۹۳
- شکل ۳-۴۴. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی در $Y = 0/0.2$ ۹۳
- شکل ۳-۴۵. نمودار تراست دو جتی و سه جتیدر $Y = 0/0.3$ ۹۴
- شکل ۳-۴۶. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی در $Y = 0/0.3$ ۹۴
- شکل ۳-۴۷. نمودار تراست دو جتی و سه جتی در $Y = 0/0.4$ ۹۵
- شکل ۳-۴۸. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی در $Y = 0/0.4$ ۹۵
- شکل ۳-۴۹. نمودار تراست دو جتی و سه جتی در $Y = 0/0.1$ در انرژی مرکز جرم 91 GeV ۹۶
- شکل ۳-۵۰. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی در $Y = 0/0.1$ در انرژی مرکز جرم 91 GeV ۹۷
- شکل ۳-۵۱. نمودار تراست دو جتی و سه جتی در $Y = 0/0.2$ در انرژی مرکز جرم 91 GeV ۹۸

- شکل ۳-۵۲. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی در $Y=0/02$ در انرژی مرکز جرم 91 GeV ۹۸
- شکل ۳-۵۳. نمودار تراست دو جتی و سه جتی در $Y=0/03$ در انرژی مرکز جرم 91 GeV ۹۹
- شکل ۳-۵۴. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی در $Y=0/03$ در انرژی مرکز جرم 91 GeV ۹۹
- شکل ۳-۵۵. نمودار تراست دو جتی و سه جتی در $Y=0/04$ در انرژی مرکز جرم 91 GeV ۱۰۰
- شکل ۳-۵۶. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی در $Y=0/04$ در انرژی مرکز جرم 91 GeV ۱۰۰
- شکل ۳-۵۷. نمودار تراست دو جتی و سه جتی پروتون- پروتون در $Y=0/01$ ۱۰۱
- شکل ۳-۵۸. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی پروتون- پروتون در $Y=0/01$ ۱۰۲
- شکل ۳-۵۹. نمودار تراست دو جتی و سه جتی پروتون- پروتون در $Y=0/02$ ۱۰۳
- شکل ۳-۶۰. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی پروتون- پروتون در $Y=0/02$ ۱۰۳
- شکل ۳-۶۱. نمودار تراست دو جتی و سه جتی پروتون- پروتون در $Y=0/03$ ۱۰۴
- شکل ۳-۶۲. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی پروتون- پروتون در $Y=0/03$ ۱۰۴
- شکل ۳-۶۳. نمودار تراست دو جتی و سه جتی پروتون- پروتون در $Y=0/04$ ۱۰۵
- شکل ۳-۶۴. نمودار تراست کامل، دو و سه جتی پروتون- پروتون در $Y=0/04$ ۱۰۵
- شکل ۳-۶۵. نمودار توزیع‌های تراست نسبت به محور جت ۱۰۶
- شکل ۳-۶۶. نمودار توزیع تراست برای رویدادهای کامل، دو جتی AMY ۱۰۷
- و رویدادهای هادرونی ۱۰۷

فصل اوّل

مقدمه ای بر ذرات بنیادی

پیشگفتار :

در ابتدا تصوّر می‌شد جهان از چهار عنصر اولیّه‌ی آب، خاک، آتش و باد به عنوان ذرات بنیادی عالم تشکیل شده است. با ایجاد جدول مندلیف و تحقیقات بعدی که به کشف الکترون، پروتون و نوترون و همچنین پوزیترون انجامید، این فرضیه نقض شد. اکنون به این نتیجه رسیده‌اند که این جهان بزرگ از کوچکترین جزء تا بزرگترین کوه‌ها و همینطور کل منظومه‌ی شمسی و ماورای آن از ذرات بنیادی تشکیل شده‌اند، که این ذرات به دو گروه لپتون‌ها و هادرون‌ها طبقه بندی می‌شوند. همچنین بعد از انفجار بزرگ با ایجاد ذرات بنیادی، پاد ذرات نیز بوجود آمده‌اند، ولی بطور عمده جهان از ذرات تشکیل شده است. در این فصل ذرات و پاد ذرات و همچنین مدل استاندارد که بیان کننده‌ی چگونگی ترکیب این ذرات و برهمکنش‌های بین آنها می‌باشد، بیان می‌شود.

۱-۱ مقدمه‌ی ذرات :

عالم از چه ساخته شده است و زیر بنای اصلی هر ماده و جهان چیست؟ اینگونه موارد در شاخه‌ای تخصصی به نام فیزیک انرژی‌های بالا یا ذرات بنیادی که مستلزم استفاده از روشهای پیچیده‌ی ریاضی و ابزارهای سنجش آزمایشگاهی پیشرفته امروزی است، قرار می‌گیرد. در ابتدا مردم تصور می‌کردند که جهان از چهار عنصر اولیه‌ی آب، خاک، آتش و باد تشکیل شده است. اما با کارهای مندلیف و شناخت او از عناصر و ایجاد جدول مندلیف تصور قبلی از بین رفت و معلوم شد که این چهار عنصر هم از ذرات کوچکتری تشکیل شده‌اند. در جدول مندلیف هم مشخص می‌شود که این عناصر را چون دارای خواص مشترکی هستند می‌توان در ستون‌ها و گروه‌هایی طبقه بندی کرد و این طبقه بندی ها، خود باعث می‌شود که پی برد، این عناصر به تنهایی ذره بنیادی نیستند بلکه دارای ساختار می‌باشند و از ذرات بنیادی تری تشکیل شده اند.

نخستین ذره‌ی بنیادی کشف شده، الکترون است که در حدود یک قرن پیش توسط تامسون کشف شد. اما به تدریج ذرات دیگری چون پروتون دیراک و همینطور ذره‌ی نوترون که خنثی الکتریکی است و توسط چادویک کشف شده است و مزون یوکاوا و نوترینوی پاؤلی کشف شدند که باعث رشد فیزیک ذرات و ایجاد ایده‌هایی نو در این زمینه شدند. یوکاوا در محاسبات خود به این نتیجه رسید که جرم ذره واسطه، سنگین و باید جرمی بین الکترون و پروتون داشته باشد بنابراین آن را مزون (ذره میانی) نامید. ولی این ذرات هم خود از ذرات بنیادی تری تشکیل شده‌اند که شامل کوارک‌ها و لپتون‌ها هستند. [۱]

هر چیز در اطراف ما از کهکشان‌ها تا کوه‌ها از کوارک‌ها و لپتون‌ها تشکیل شده اند. معروفترین و سبکترین لپتون، الکترون است و شناخته شده ترین ذره حامل نیرو، فوتون است که ذره واسطه در برهمکنش‌های الکترومغناطیسی است و دارای جرم صفر است. یک موضوع مهم در برخورد ذرات بنیادی، درک روشی است که توسط آن کوارک‌ها و گلوئون‌ها از برهمکنشهای اصلی به صورت هادرون‌های قابل مشاهده (فرآیند هادرونی شدن) ظاهر می‌شوند.

پس از کشف الکترون، در سال ۱۹۳۱ کشف پوزیترون توسط اندرسون، تئوری دیراک مبنی بر وجود پاد ذرات را تأیید کرد. که با شتاب دادن الکترون و پوزیترون توسط شتاب دهنده‌ها برخورد

آنها با یکدیگر می‌توان بسیاری از نظریات QCD را توجیه کرد که بهترین تئوری برای بررسی برهمکنش‌های قوی می‌باشد.

فرمیون‌ها			matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2,...		
Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$< 7 \times 10^{-9}$	0	u up	0.005	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.01	-1/3
ν_μ muon neutrino	< 0.0003	0	c charm	1.5	2/3
μ muon	0.106	-1	s strange	0.2	-1/3
ν_τ tau neutrino	< 0.03	0	t top (initial evidence)	170	2/3
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.7	-1/3

شکل ۱-۱. طبقه بندی فرمیون‌ها

با افزایش ذرات بنیادی، کل ذرات را به دو دسته هادرون‌ها (که متشکل از کوارک‌ها هستند) و لپتون‌ها تقسیم کردند. همچنین هادرون‌ها خود به دو دسته باریون‌ها و مزون‌ها طبقه بندی می‌شوند که تفاوت آن‌ها در نوع ترکیب و اسپین آن‌ها می‌باشد. مزون‌ها دارای اسپین صحیح بوده در نتیجه بوزون هستند. مزون‌ها از یک کوارک و پاد کوارک تشکیل شده‌اند در نتیجه ناپایدارند و سریع واپاشی کرده و از بین می‌روند و تنها از ذرات واپاشی شده‌ی آن‌ها می‌توان به وجود آن‌ها پی برد. در حالیکه باریون‌ها از سه کوارک تشکیل شده‌اند و دارای اسپین نیمه صحیح می‌باشند و فرمیون هستند، برخی باریون‌ها عبارتند از: Λ (Λ^+ , Λ^-)، ذرات سیگما Σ (Σ^+ , Σ^0 , Σ^-)، ذرات کسی Ξ (Ξ^+ , Ξ^0 , Ξ^-) و ذرات Δ (Δ^+ , Δ^0 , Δ^- , Δ^{++}). از طرف دیگر لپتون‌ها شامل الکترون، میوآن، ذره τ و پاد ذره آن‌ها (که یک پاد ذره تمام خصوصیات ذره اعم از جرم و اسپین را دارد به استثنای برخی اعداد کوانتومی جمع پذیر که علامت مخالف ذره را دارد) و نوترینوهای مربوط به این ذرات (ν_e, ν_μ, ν_τ) می‌باشد و نهایتاً به الکترون، پوزیترون و نوترینو که سبکتر هستند، واپاشی می‌کنند. این ذرات خیلی سبک هستند و به همین خاطر آنها را لپتون (سبک و ریز) نامیده‌اند. در حالیکه جرم τ سنگین تر و حدود دو برابر جرم پروتون است و همواره به لپتون‌های سبک تر واپاشی می‌کند، در حالیکه الکترون و ν_e, ν_μ, ν_τ ذراتی پایدارند و واپاشی نمی‌کنند. لپتون‌ها ذراتی منزوی هستند، یعنی برخلاف کوارک‌ها که ترکیبی هستند به تنهایی مشاهده می‌شوند و ذراتی نقطه ای اند و ساختار داخلی

ندارند. لپتونهای باردار هم در برهمکنش‌های الکترومغناطیسی و هم در برهمکنش‌های ضعیف شرکت می‌کنند اما لپتونهای خنثی فقط در برهمکنش‌های ضعیف شرکت می‌کنند.

۲-۱ یاد ذرات :

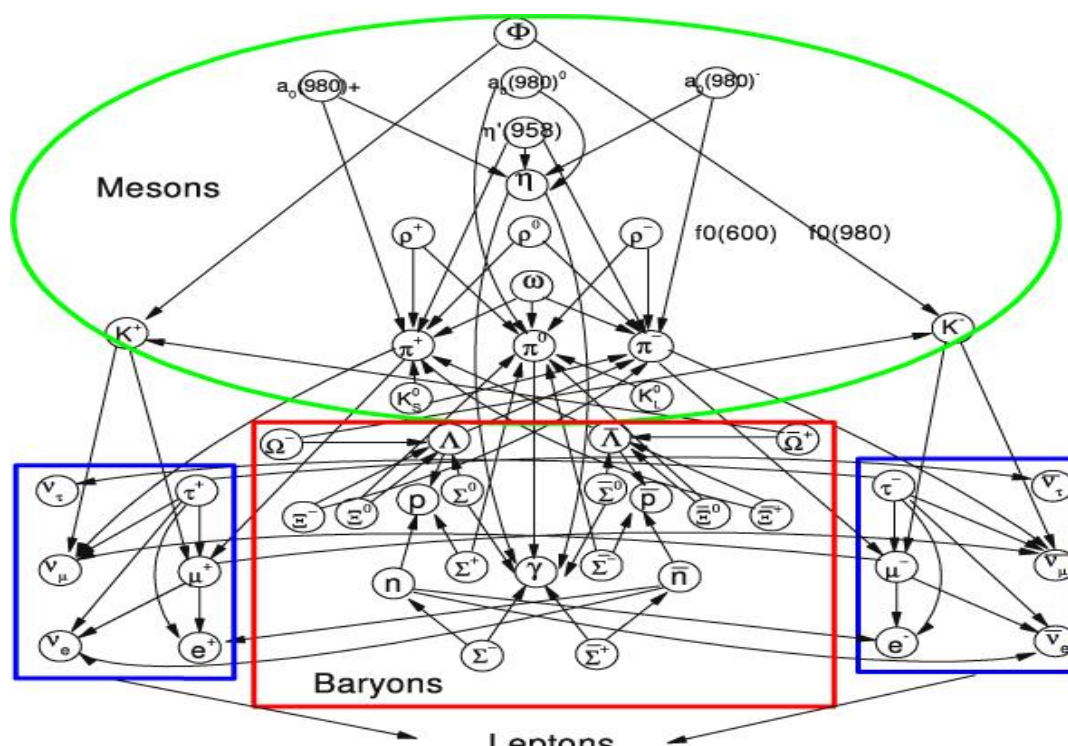
برای توصیف الکترون‌های آزاد از معادله دیراک استفاده می‌کنیم که انرژی آن از فرمول $E^2 - P^2 = M^2 C^4$ بدست می‌آید. اما این فرمول یک ویژگی در دسرساز دارد و آن، این است که برای هر جواب مثبت انرژی، یک جواب منفی هم وجود خواهد داشت. بدین معنا که با توجه به تمایل طبیعی هر سیستمی که به سمت انرژی‌های پایین تر سو دارد ولی الکترون باید به سمت انرژی منفی تر حرکت کند و مقدار انرژی ساطع شده در فرآیند بینهایت باشد. دیراک برای نجات از این مشکل فرض کرده بود که ترازهای انرژی منفی فعلی با یک دریای بینهایت از الکترون پر شده اند. از اینرو بدین صورت تصور می‌کردند که یک حفره در دریا همچون یک ذره معمولی با انرژی مثبت عمل می‌کرد و جرم آن نیز نظیر جرم خود الکترون باید باشد. اما در اواخر سال ۱۹۳۱ با کشف e^+ توسط اندرسون، این ذره‌ی مجهول دیراک کشف شد. سپس در فرمول فاینمن-استوکلبرگ، جواب‌های منفی انرژی را بصورت ترازهای انرژی مثبت ذره‌ی دیگر (e^+) بیان کردند. به همین ترتیب در سال ۱۹۵۵ در آزمایشگاه برکلی، آنتی پروتون و سال بعد نیز آنتی نوترون با بار خنثی کشف شدند.

۳-۱ ذرات شگفت^۱ :

در سال ۱۹۴۷ با مشاهده‌ی عکس‌های گرفته شده توسط اتاقک ابری، متوجه شدند که ذرات پرتوهای کیهانی وارد شده به یک صفحه‌ی سربی برخورد می‌کنند و یک ذره خنثی تولید می‌شود که خود آن نیز با واپاشی به دو ذره دیگر به وجودش پی برده اند. تحلیل‌های بعدی نشان دادند که این ذرات باردار π^+ و π^- هستند. در نتیجه ذره‌ی خنثی با جرم دو برابر جرم پایون وجود داشت، که آن را کائون نامیدند. ($k^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$) و واپاشی کائون باردار توسط پاؤل صورت گرفت: $k^- \rightarrow \pi^+ + \pi^-$. کائون‌ها از بعضی جهات همچون پایون‌های سنگین عمل می‌کنند و از این رو در خانواده‌ی مزون‌ها قرار گرفته‌اند و مزون‌ها را گسترش دادند. در این بین مزون‌های بیشتری همچون ρ, ω, Φ و... کشف شدند. در سال ۱۹۵۰ ذره‌ی دیگری که از پروتون سنگین تر بود، کشف شد و آن را لاندا Λ نامیدند.

^۱ -Strange

$(\Lambda \rightarrow p^+ + \bar{\pi}^-)$ لاندای برای بقای عدد باریونی همراه با پروتون و نوترون در خانواده باریون‌ها جای دارد. و همانطور که در مقدمه اشاره کردیم در سال‌های بعد باریون‌های سنگین تری چون Σ ، Ξ ، Δ ، Λ ، Ξ ، Σ و... کشف شدند و این ذرات را چون سنگین هستند ولی طول عمر طولانی دارند، ذرات شگفت نامیدند. از طرفی می‌دانیم که این ذرات شگفت از کوارکی به نام کوارک s (شگفت) تشکیل شده‌اند. این ذرات توسط نیروی قوی ایجاد ولی بوسیله نیروی ضعیف نابود می‌شوند. همچنین فرضیه‌ی pais نشان می‌دهد که ذرات شگفت بصورت زوجی تولید می‌شوند. گلن و نیشیجیما ویژگی‌ای را به ذرات نسبت دادند که عدد شگفتی است و در واکنش‌های قوی بقا دارد در صورتیکه در واکنش‌های ضعیف بقا ندارد.



شکل ۱-۲. طبقه بندی ذرات بنیادی

۴-۱ قوانین بقا در واپاشی‌ها :

۱- قانون بقای عدد لپتونی :

واپاشی لپتونی در صورتی انجام می‌شود که عدد لپتونی حفظ شود. به هر خانواده لپتونی، یک عدد لپتونی نسبت می‌دهند.

$$e \text{ و } \nu_e : L_e = +1 \text{ و } L_\mu = L_\tau = 0$$

$$\mu \text{ و } \nu_\mu : L_\mu = +1 \text{ و } L_e = L_\tau = 0 \quad (1-1)$$

$$\tau \text{ و } \nu_\tau : L_\tau = +1 \text{ و } L_\mu = L_e = 0$$

۲- قانون بقای عدد باریونی :

همانند تعریف بالا واپاشی باریونی وقتی صورت می‌گیرد که عدد باریونی در دو طرف رابطه حفظ شود.

به هر باریون مثل پروتون و نوترون عدد باریونی $+1$ را و به پاد باریون‌های آن‌ها عدد -1 را و به بقیه‌ی ذرات (مزون‌ها و لپتون‌ها) عدد صفر را نسبت می‌دهند.

بهترین راه برای مشاهده‌ی ساختار ریز، انجام آزمایش‌های پراکندگی است که فیزیک ذرات بنیادی بدین وسیله به بررسی ساختار ماده در کوچکترین مقیاس می‌پردازد و این مقیاس با افزایش انرژی پرتو ذرات، کوچکتر می‌شود. برای این دلیل است که رشد و تکامل شتاب دهنده‌ها باعث می‌شود که اتم به هسته و الکترون‌ها، هسته به پروتون‌ها و نوترون‌ها و سرانجام این هادرون‌ها به کوارک‌ها تجزیه شوند. که فرآیند $e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}$ ساده ترین فرآیند تولید چند ذره‌ای است.

۱-۵ مدل استاندارد :

مدل استاندارد شالوده اساسی فهم ما از دانش ذرات بنیادی است که اساسی ترین مدلی است که برهمکنش اساسی درون عالم را توضیح می‌دهد. فهم دقیق و مطلوب از فیزیک ذرات بنیادی در گروهی درک مدل استاندارد است. سه نیروی الکترومغناطیسی، نیروی ضعیف و قوی در این مدل جای می‌گیرند ولی چون نیروی گرانش هیچگونه توصیفی از نظریه میدان کوانتومی ندارد و قدرت آن در این مقیاس، ضعیف است را در نظر نمی‌گیرند.

اولین گام در مدل استاندارد را گلاشو^۱ در سال ۱۹۶۰ با تئوری وحدت نیروها در مدل استاندارد که بین دو نیروی الکترومغناطیسی و ضعیف، وحدت ایجاد می‌کند و تحت عنوان نظریه الکتروضعیف شناخته می‌شود، برداشت و نظریه جداگانه‌ای که دینامیک کوانتومی رنگ (QCD)^۲ را توضیح می‌دهد، بیان می‌کند که نیروی قوی است.

^۱-Glashow

^۲-Quantum Chromo dynamics