به نام خداوند مهربان

معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی
مدیریت تحصیلات تکمیلی

بسمه تعالی

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

شماره :

تاریخ :

با تلاوت آیاتی چند ازکلام ا... مجید جلسه دفاع از پایان نامه خانم مریم سادات دهقانیان دانشجوی رشته فیزیک گرایش ذرات بنیادی با عنوان اثر پارامترهای غیراستاندارد لاگرانژی روی جرم‌ها و ثابت‌های جفت‌شدگی در نظریه ابرتقارن حداقلی، در ساعت روز مورخ در محل دانشکده‌ی علوم پایه، کلاس.....تشکیل گردید. پس از استماع گزارش ارائه شده توسط دانشجو و استاد راهنما، هیأت داوران و حاضران سئوالاتی را مطرح و خانم مریم سادات دهقانیان به دفاع از موضوع پرداخت و به سئوالات آنها پاسخ گفت.

سپس پایان‌نامه توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و نمره برابر درجه برای آن تعیین گردید. به این ترتیب ضمن تصویب پایان‌نامهa مزبور، از این تاریخ خانم مریم سادات دهقانیان به عنوان کارشناس ارشد در رشته فیزیک گرایش ذرات بنیادی شناخته می‌شود.

ردیف	نام و نام خانوادگی	سمت	امضا
		استاد راهنما استاد مشاور استاد داور استاد داور نماینده تحصیلات تکمیلی	

نام، نام خانوادگی و امضای مدیر گروه

رونوشت

۱ـ معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه جهت اطلاع

۲ـ معاونت پژوهشی دانشگاه جهت اطلاع

۳ـ آموزش دانشکده جهت درج در پرونده دانشجو

۴ـ دانشجو

سوگند نامه دانش آموختگان دانشگاه تربیت معلم سبزوار

به نام خداوند جان و خرد کزین برتر اندیشه بر نگذرد

اینك که به خواست آفریدگار پاك ، کوشش خویش و بهره گیری از دانش استادان و سرمایه های مادی و معنوی این مرز و بوم، توشه ای از دانش و خرد گردآورده ام، در پیشگاه خداوند بزرگ سوگند یاد می کنم که در به کارگیری دانش خویش، همواره بر راه راست ودرست گام بردارم. خداوند بزرگ، شما شاهدان، دانشجویان و دیگر حاضران را به عنوان داورانی امین گواه می گیرم که ازهمه دانش و توان خود برای گسترش مرزهای دانش بهره گیرم و از هیچ کوششی برای تبدیل جهان به جایی بهتر برای زیستن، دریغ نورزم. پیمان می بندم که همواره کرامت انسانی را در نظر داشته باشم و همنوعان خود را در هر زمان و مکان تا سر حد امکان یاری دهم. سوگند می خورم که در به کارگیری دانش خویش به کاری که با راه و رسم انسانی، آیین پرهیزگاری، شرافت و اصول اخلاقی برخاسته از ادیان بزرگ الهی، به ویژه دین مبین اسلام، مباینت دارد دست نیازم. همچنین در سایه اصول جهان شمول انسانی و اسلامی، پیمان می بندم از هیچ کوششی برای آبادانی و سرافرازی میهن و هم میهنانم فروگذاری نکنم و خداوند بزرگ را به یاری طلبم تا همواره در پیشگاه او و در برابر وجدان بیدار خویش و ملت سرافراز ، بر این پیمان تا ابد استوار بمانم.

نام و نام خانوادگی دانشجو: مریم سادات دهقانیان

دانشگاه تربیت معلم سبزوار

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد فیزیک در گرایش ذرات بنیادی

عنوان:

اثر پارامترهای غیراستاندارد لاگرانژی روی جرم‌ها و ثابت‌های جفت‌شدگی در نظریه ابرتقارن حداقلی

استاد راهنما :

دکتر احمد فرزانه کرد

استاد مشاور:

دکتر بهنام آزادگان

نگارش :

مریم سادات دهقانیان

اسفند ۱۳۹۰

اثری کوچک است، خیلی کوچک و شاید هیچ

اما به یاد عهد قدیم و رسم ادب

تقدیم می کنم به:

مهربان فرشتگانی که تمام لحظه های زیبای زندگیم مدیون حضور شفاف آنهاست

پدر و مادرم.

و به همسر عزیزم

به پاس عشق و امید.

با تشکر از:

- استاد بزرگوارم، جناب آقای دکتر احمد فرزانه که در تمام مراحل این مطالعه از راهنمایی بی دریغ ایشان بهره‌مند بوده‌ام و شاگردی ایشان سراسر غرور بود و افتخار.
- جناب آقای دکتر بهنام آزادگان که در سمت استاد مشاور و مدیر گروه فیزیک مرا از کمک‌های مستمرشان بهره‌مند ساختند.
- خانواده‌ی عزیز و همسر مهربانم که همواره همدلی‌شان راه را بر من هموار کرده و حمایت‌های بی‌دریغ مادی و معنوی‌شان دل‌گرمم ساخته است.

فرم چکیده‌ی پایان‌نامه‌ی دوره‌ی تحصیلات تکمیلی
دفتر مدیریت تحصیلات تکمیلی

نام خانوادگی دانشجو: دهقانیان	**نام**: مریم سادات	**ش دانشجویی**: **۸۸۲۳۷۳۱۰۱۵**
استاد راهنما: دکتر احمد فرزانه کرد	**استاد مشاور**: دکتر بهنام آزادگان	
دانشکده: علوم پایه	**رشته**: فیزیک	**گرایش**: ذرات بنیادی
مقطع: کارشناسی ارشد	**تاریخ دفاع**:	**تعداد صفحات**: ۹۵

عنوان پایان‌نامه: اثر پارامترهای غیراستاندارد لاگرانژی روی جرم‌ها و ثابت‌های جفت‌شدگی در نظریه ابرتقارن حداقلی

کلیدواژه‌ها: مدل استاندارد، ابرتقارن، ابرتقارن حداقلی

چکیده

در این پژوهش، به محاسبه‌ی جرم ذرات ابرتقارنی در مدل استاندارد ابرتقارن حداقلی و تحت تأثیر پارامترهای غیر استاندارد شکست در مرتبه‌ی اول و دوم پرداخته‌ایم. جرم ذرات و ثابت‌های جفت‌شدگی از طریق دسته معادلات گروه باز بهنجارش قابل محاسبه است. شرایط مرزی در حد انرژی‌های بالا برای این معادلات بر پایه‌ی قیدهای فیزیکی شکست ابرتقارن تعیین می‌شود؛ که در این پژوهش از مدل ابرگرانش کمینه استفاده کرده‌ایم. همچنین داده‌های آزمایشگاهی مربوط به جرم ذره‌ی Z نیز به عنوان شرایط مرزی در انرژی پایین اعمال می‌شود.

لاگرانژی مورد استفاده نسبت به لاگرانژی متعارفی که تا به حال در نظریه‌ی ایرتقارن حداقلی استفاده می‌شد، کلی‌تر بوده و جملات غیر استاندارد شکست را نیز در بر می‌گیرد. این جملات که هم شامل عبارات ناقض بقای پاریته‌ی R و هم شامل عبارات حافظ بقای پاریته‌ی R است، سبب تغییر در دسته معادلات گروه بازبهنجارش و در نتیجه تغییر در جرم ذرات ابرتقارنی نسبت به حالت ابرتقارن حداقلی بدون وجود جملات غیراستاندارد شکست، می‌شود.

با در نظرگرفتن لاگرانژی مذکور، جرم ذرات ابرتقارنی در مرتبه‌ی اول و سپس مرتبه‌ی دوم توابع بتا محاسبه گردید. نتایج برای مقادیر متفاوت پارامترهای غیراستاندارد شکست به‌صورت کمی در جدول ها و سپس به‌صورت کیفی و تحلیل در نمودارها ارائه شده‌اند. در برنامه‌های نوشته شده برای محاسبه‌ی طیف جرم ذارت ابرتقارنی، با اعمال تصحیحات تابشی مربوط به ذرات، جرم با دقت هشت ر قم بعد از اعشار محاسبه شده‌است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ۱

۱ مدل استاندارد ۳

۱-۱ مقدمه‌ای برمدل استاندارد ٤

۱-۱-۱ هیگز ٦

۱-۱-۲ میدان‌های موجود در مدل استاندارد ۷

۱-۲ گروه تقارنی در مدل استاندارد ۹

۱-۳ لاگرانژی مدل استاندارد ۱۰

۲ ابرتقارن ۱٤

۲-۱ جبر ابرتقارن و نمایش آن ۱۵

۲-۲ تبدیلات ابرتقارنی ۱٦

۲-۲-۱ ابر فضا و ابرمیدان ۱۷

۲-۳ لاگرانژی ابرتقارن ۲۰

۲-۳-۱ ابرپتانسیل ۲۱

۲-۴ شکست ابرتقارن ۲۲

۲-۴-۱ کلیات شکست ۲۲

۲-۴-۲ لاگرانژی شکست نرم ۲۳

۲-۵ مدل استاندارد ابرتقارن حداقلی ۲٤

۲-۵-۱ لاگرانژی مدل استاندارد ابرتقارن حداقلی ۲٦

۲-۵-۲ (R–پاریته) ۲۷

۲-۶ ابرگرانش کمینه ۲۹

۲-۶-۱ معادلات گروه بازبهنجارش ۳۰

۳ محاسبه‌ی جرم ذرات تا تقریب مرتبه اول ۳۱

۳-۱ طیف جرم ذرات ابرتقارنی ۳۲

۳-۱-۱ کلیات محاسبه جرم ۳۲

۳-۲ جملات غیراستاندارد شکست نرم ابرتقارن ۳۳

۳-۲-۱ لاگرانژی غیر استاندارد شکست نرم..... ۳۳

۳-۲-۲ جملات غیر استاندارد شکست با حفظ بقای پاریته R..... ۳٤

۳-۲-۳ جملات غیر استاندارد شکست با نقض بقای پاریته R..... ۳۵

۳-۳ محاسبه‌ی جرم ذرات با استفاده از زبان برنامه نویسی MAPLE..... ۳۷

۳-۴ تحلیل نتایج..... ٤۱

۳-۴-۱ تحلیل تأثیر پارامترهای غیر استاندارد و ناقض پاریته‌ی R ٤۲

۳-۴-۱-۱ تأثیر پارامتر $R1$ بر طیف جرم..... ٤۲

۳-۴-۱-۲ تأثیر پارامتر $R2$ بر طیف جرم..... ٤۲

۳-۴-۱-۳ تأثیر پارامتر $R3$ بر طیف جرم..... ٤۳

۳-۴-۱-۴ تأثیر پارامتر $R4$بر طیف جرم ٤٤

۳-۴-۲ تحلیل تأثیر پارامترهای غیر استاندارد و حافظ پاریته‌ی R ٤۵

۳-۴-۲-۱ تأثیر پارامتر $R5$ بر طیف جرم..... ٤۵

۳-۴-۲-۲ تأثیر پارامتر $R7$ بر طیف جرم..... ٤٦

۳-۴-۲-۳ تأثیر پارامتر $R9$ بر طیف جرم..... ٤۷

۴ محاسبه‌ی جرم ذرات تا تقریب مرتبه دوم..... ۵۵

۴-۱ محاسبه‌ی توابع بتای جملات غیراستاندارد شکست در مرتبه‌ی دوم ۵٦

۴-۱-۱ روش محاسبه..... ۵٦

۴-۱-۱-۱ مثالی از بدست آوردن تابع بتا در مرتبه‌ی اول..... ۵۹

۴-۲ تحلیل نتایج..... ٦۰

۴-۲-۱ تأثیر پارامتر $R2$ بر طیف جرم ۶۱
۴-۲-۲ تأثیر پارامتر $R7$ بر طیف جرم ۶۳
۵ نتایج و پیشنهادها ۶۸
۵-۱ نتیجه‌گیری کلی ۶۹
۵-۲ پیشنهادها ۷۰
پیوست‌ها ۷۱
فهرست منابع ۷۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱–۱ میدان‌های موجود در نظریه‌ی مدل استاندارد.....۸
جدول ۲–۱ میدان‌های موجود در نظریه‌ی ابرتقارن حداقلی..... ۲۴
جدول ۳–۱ تغیرات طیف جرمی ذرات ابرتقارنی با افزایش پارامتر $R1$ در مرتبه‌ی اول..... ۴۸
جدول ۳–۲ تغیرات طیف جرمی ذرات ابرتقارنی با افزایش پارامتر $R2$ در مرتبه‌ی اول..... ۴۹
جدول ۳–۳ تغیرات طیف جرمی ذرات ابرتقارنی با افزایش پارامتر $R3$ در مرتبه‌ی اول..... ۵۰
جدول ۳–۴ تغیرات طیف جرمی ذرات ابرتقارنی با افزایش پارامتر $R4$ در مرتبه‌ی اول..... ۵۱
جدول ۳–۵ تغیرات طیف جرمی ذرات ابرتقارنی با افزایش پارامتر $R5$ در مرتبه‌ی اول..... ۵۲
جدول ۳–۶ تغیرات طیف جرمی ذرات ابرتقارنی با افزایش پارامتر $R7$ در مرتبه‌ی اول..... ۵۳
جدول ۳–۷ تغیرات طیف جرمی ذرات ابرتقارنی با افزایش پارامتر $R9$ در مرتبه‌ی اول..... ۵۴
جدول ۴–۱ تغیرات طیف جرمی ذرات ابرتقارنی با افزایش پارامتر $R2$ در مرتبه‌ی دوم ۶۴
جدول ۴–۲ تغیرات طیف جرمی ذرات ابرتقارنی با افزایش پارامتر $R7$ در مرتبه‌ی دوم ۶۶
جدول ۴–۳ مقایسه‌ی تغیرات جرمی ذرات ابرتقارنی تحت تأثیر پارامتر $R2$ (...).....۶۷
جدول ۴–۴ مقایسه‌ی تغیرات جرمی ذرات ابرتقارنی تحت تأثیر پارامتر $R7$ (...).....۶۷
جدول ۵–۱ بیشینه‌ی تغییرات جرم ذرات ابر تقارنی تحت تأثیر عبارات غیر استاندارد (...) ۷۰

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱–۱ ذرات مدل استاندارد ۴

شکل ۳–۱ تغییرات جرم ذرات ابرتقارنی با افزایش R1 ..... ۴۲

شکل ۳–۲ تغییرات جرم ذرات ابرتقارنی با افزایش R2 ..... ۴۳

شکل ۳–۳ تغییرات جرم ذرات ابرتقارنی با افزایش R3 ..... ۴۴

شکل ۳–۴ تغییرات جرم ذرات ابرتقارنی با افزایش R4 ..... ۴۵

شکل ۳–۵ تغییرات جرم ذرات ابرتقارنی با افزایش R5 ..... ۴۵

شکل ۳–۶ تغییرات جرم ذرات ابرتقارنی با افزایش R7 ..... ۴۶

شکل ۳–۷ تغییرات جرم ذرات ابرتقارنی با افزایش R9 ..... ۴۷

شکل ۴–۱ تغییرات جرم ذرات ابرتقارنی با افزایش R2 ..... ۶۲

شکل ۴–۲ تغییرات جرم ذره‌ی ابرتقارنی لپتون تاو در مرتبه‌ی اول و دوم با افزایش R2 ..... ۶۲

شکل ۴–۳ اختلاف جرم ذره‌ی ابرتقارنی لپتون تاو در مرتبه‌ی اول و دوم با افزایش R2 ..... ۶۳

شکل ۴–۴ تغییرات جرم ذره‌ی ابرتقارنی لپتون تاو سبک در مرتبه‌ی اول و دوم با افزایش R7 ... ۶۴

شکل ۴–۵ تغییرات جرم ذره‌ی ابرتقارنی لپتون تاو سنگین در مرتبه‌ی اول و دوم با افزایش R7 ۶۵

شکل ۴–۶ اختلاف جرم ذره‌ی ابرتقارنی لپتون تاو سبک در مرتبه‌ی اول و دوم با افزایش R7 ..... ۶۵

شکل ۴–۷ اختلاف جرم ذره‌ی ابرتقارنی لپتون تاو سنگین در مرتبه‌ی اول و دوم با افزایش R7. ۶۶

پیش‌گفتار

واضح است که شناخت فیزیک در مقیاس ذرات زیر اتمی، بشر را در درک هرچه بهتر طبیعت و پدیده‌شناسی هدایت می‌نماید. اما شناخت این ذرات زیر اتمی و یا به عبارتی بنیادی، بدون آگاهی از ویژگی های فیزیکی این ذرات از قبیل جرم، اسپین، اعداد کوانتومی و مدهای واپاشی، ممکن نخواهد بود. در این پایان‌نامه به محاسبه‌ی جرم این ذرات در نظریه‌ی ابرتقارن حداقلی می‌پردازیم. برای محاسبات، جملات غیر استاندارد شکست ابر تقارن را که در فصل سه معرفی خواهند شد، به نظریه اضافه کرده و تأثیر آن‌ها را روی طیف جرم ذرات بررسی می‌کنیم.

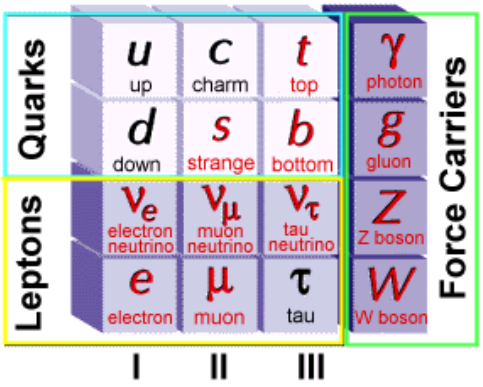
در فصل اول به معرفی مختصر مدل استاندارد ذرات بنیادی، موفقیت‌ها و کاستی های این مدل و دلایلی که بسط جدید این مدل را ملزم می‌دارند، می‌پردازیم. در فصل دوم با کلیات و مبانی ریاضیاتی ابرتقارن آشنا شده و آن‌چه به عنوان پیش نیاز برای درک محاسبات نیاز است را می‌آموزیم. فصل سوم و چهارم در حقیقت تنه‌ی اصلی این پایان‌نامه محسوب می‌شوند و تحلیل‌های محاسباتی، روش کار و نتایج کمی در این فصول ارائه شده‌اند، سپس به تحلیل نتایج پرداخته شده‌است. در فصل آخر نیز به نتیجه‌گیری و تحلیل کلی پرداخته‌ایم.

۱

مدل استاندارد

۱-۱ مقدمه‌ای برمدل استاندارد

مدل استاندارد فیزیك ذرات در مرحله‌ی مهمی از تاریخچه خود قرار دارد؛ هم در اوج موفقیت و هم در مرز تحول. این نظریه در دهه‌ی ۱۹۷۰ فرمول‌بندی شد و در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ آزمایشات به طور نسبی درستی آن را تایید کردند. بر اساس این مدل، ماده حداقل از ۶۱ ذره‌ی بنیادی تشکیل شده است که این ذرات در سه دسته با نام‌های لپتون‌ها، کوارک‌ها و واسطه‌ها قرار می‌گیرند [۷].



شکل ۱-۱ ذرات مدل استاندارد

نظریه‌ی مدل استاندارد سه برهم‌کنش از چهار بر هم‌کنش شناخته شده در طبیعت را توصیف می‌کند. برهم‌کنش‌های قوی، ضعیف و الکترومغناطیسی که هر سه با ذرات اسپین یک یعنی بوزون‌های پیمانه‌ای توصیف می شوند. دراین مدل بر هم‌کنش‌های الکترومغناطیسی و ضعیف در انرژی حدود ۱۰۰ گیگا الکترون ولت با هم متحد می‌شوند، و الکتروضعیف نام می‌گیرند. اما در حقیقت بر هم‌کنش چهارم، یعنی گرانش در این مدل جایی ندارد [۲۸].

البته موفقیت‌های مدل استاندارد بسیار شایان توجه است. همان‌طور که اشاره شد پیش‌بینی‌های مدل استاندارد در بسیاری از آزمایشات محک خورده و نتایج تا حد بسیار زیادی دقیق بوده‌است. تمامی ذرات موجود در این مدل، به جز بوزون هیگز[۱]، به طور تجربی در طبیعت پیدا شده‌اند. اما اگر کارکرد مدل استاندارد چنین عالی است، چرا باید آن را بسط داد؟ از دلایل مهم لزوم بسط مدل استاندارد، می‌توان به پدیده‌هایی اشاره کرد که این مدل قادر به تشریح آن‌ها نمی‌باشد و حتی گاهی اصلاً با آن‌ها سازگار نیست، به عنوان مثال می‌توان به این موارد اشاره کرد [۸]:

---

[۱] higgs boson.

- جهان باید حتی درخالی‌ترین مناطق آن شامل تراکم شدید انرژی باشد. اثرات گرانشی این پدیده که آن را انرژی خلأ می‌نامند، یا می‌بایست جهان را مدت ها پیش در هم تنیده باشد و یا باعث گسترش آن به مقداری بسیار بیش از اندازه‌ی کنونی شده باشد. مدل استاندارد نمی تواند برای درک این مسئله که ثابت کیهان‌شناسی نامیده می‌شود کمکی کند.

- اگر جهان با انفجار بزرگ آغاز شده باشد، باید سهم ماده و پاد ماده[۲] در آن مساوی می‌بود (تقارنCP) اما اینطور نیست.

- حدود یک چهارم جهان، ماده‌ی تاریک سرد و غیر قابل مشاهده‌ای است که خارج از قلمرو ذرات مدل استاندارد قرار دارد.

-تصحیحات کوانتومی به وضوح برای بوزون هیگز جرم بزرگی را محاسبه می‌کند که نتیجه آن جرم بسیار زیاد برای همه ذرات است(مسئله سلسله مراتب)[۳].

در توضیح این مسائل لازم به ذکر است، وقتی که می‌گوییم مدل استاندارد نمی‌تواند پدیده‌ای را توجیه کند، منظور این نیست که نظریه تاکنون نتوانسته است آن را توجیه کند ولی روزی خواهد توانست؛ بلکه مدل استاندارد بسیار مقید است و هرگز نخواهد توانست پدیده‌های فهرست شده بالا را توضیح دهد. یکی از دلایلی که توسعه به نظریه‌ی ابرتقارن[۴] را برای بسیاری از فیزیکدان‌ها جذاب می‌کند، این است که این نظریه می‌تواند توضیحی را برای موارد بالا ارائه دهد. این‌که مدل استاندارد نمی‌تواند به سئوالاتی جواب بدهد، چندان عجیب نیست. هر نظریه‌ی موفقی در علم، تعداد پاسخ به پرسش‌ها را افزایش می دهد ولی هنوز سئوالات بدون پاسخی هم وجود دارند. گذشته از این، بالا رفتن آگاهی سئوالات جدیدی پدید می‌آورد که قبلاً قابل بیان نبودند، اما تعداد پرسش‌های بنیادی پاسخ داده نشده کاهش می‌یابد. بنابراین روشن است که پاسخ این مشکلات، در فیزیک فراسوی مدل استاندارد قرار دارد و ابرتقارن یکی از نظریه‌هایی است که به عنوان بسطی از نظریه‌ی مدل استاندارد، می‌تواند راه حلی مناسب برای این مسائل باشد.

---

۲. Antimatter
۳. Hierarchy problem
۴. Supersymmetry (Susy)

۱-۱-۱ هیگز

فیزیکدان‌ها به شدت روی مدل‌های فراتر از مدل استاندارد کار می‌کنند تا پاسخ این معماها را بیابند، اما یك مسئله اساسی از خود مدل استاندارد هنوز حل نشده باقی مانده‌است. این نظریه برای جرم‌دار کردن لپتون‌ها، کوارك‌ها و بوزون‌های W و Z به میدان هیگز وابسته است، در حالی‌که ذره‌ی هیگز هنوز به‌طور مستقیم دیده نشده است. هیگز اساساً شبیه میدان‌های دیگر نیست. برای فهم این موضوع، میدان الکترومغناطیس را در نظر بگیرید. می‌دانیم که بارهای الکتریکی باعث میدان‌های الکترومغناطیس می‌شوند، چنین میدان‌های الکترومغناطیسی‌ای در اطراف ما وجود دارند. (کافی است رادیو را روشن کنید تا وجود آنها را احساس کنید) هر ناحیه‌ای از فضا وقتی که میدان الکترومغناطیسی در آن صفر باشد کمترین مقدار انرژی خود را داراست. میدان صفر در غیاب ذرات باردار حالت طبیعی است. اما شگفت‌آور آن است که مدل استاندارد ایجاب می‌کند حالت کمترین انرژی وقتی اتفاق بیفتد که میدان هیگز مقدار غیرصفر داشته باشد. در نتیجه، میدان غیرصفر هیگز دنیا را پر کرده‌است و ذرات همیشه هنگام عبور از آن با آن برهم‌کنش می‌کنند، گذر ذرات از درون این میدان مانند حرکت انسان درون آب است؛ برهم‌کنش با هیگز به ذرات جرم و اینرسی می‌دهد.

بوزون هیگز به موضوع میدان هیگز مربوط می‌شود. در مدل استاندارد، از روی اصول اولیه نمی‌توان جرم ذرات و از جمله جرم خود بوزون هیگز را پیش‌بینی کرد. با وجود این، با اندازه‌گیری متغیرهای دیگر می‌توان جرم این ذرات را اندازه گرفت، همچنان که جرم بوزون‌های W و Z و کوارك بالا[۵] را به این روش به‌دست آوردند. با بدست آوردن این جرم‌ها، پیش‌بینی‌های مدل استاندارد تائید شدند و اطمینان به وجود ذره هیگز را افزایش دادند.

آزمایشگرها در برخورددهنده LEP حدود بیست کمیت را که توسط مدل استاندارد به هم مربوط می‌شوند، اندازه گرفته‌اند. هم‌اکنون همه‌ی مقادیر مورد نیاز برای محاسبه‌ی پیش‌بینی آن کمیت‌ها اندازه‌گیری شده‌اند، به جز جرم بوزون هیگز.

---

[۵]. Top quark

بنابراین می‌توان روند مخالف را طی کرد و از روی اطلاعات به دست آمده پرسید که چه جرمی برای هیگز بیشترین سازگاری را با این بیست کمیت دارد. جواب این است: جرم هیگز کمتر از ۲۰۰ گیگا الکترون ولت است. جرم پروتون حدود ۹ گیگا الکترون ولت و کوارك بالا ۱۷۴ گیگا الکترون ولت است که خود دلیل قاطعی برای وجود هیگز است. اطمینان ما وقتی بیشتر می‌شود که بدانیم رهیافت مشابهی برای پیش‌بینی دقیق جرم کوارك بالا قبل از مشاهده‌ی مستقیم آن طی شده‌است. LEP به طور مستقیم در پی ذرات هیگز هم هست، اما حداکثر جرم قابل مشاهده در آن ۱۱۵ گیگا الکترون ولت است. در بالاترین حدی که LEP به آن می‌رسد، آزمایش‌های اندکی شامل ذراتی که شبیه بوزون هیگز رفتار می‌کنند اتفاق می‌افتند، اما اطلاعات به دست آمده برای اطمینان از کشف واقعی ذره هیگز کافی نیست. نتایج به دست آمده جرمی بین ۱۱۵ تا ۲۰۰ گیگا الکترون ولت را برای هیگز پیشنهاد می‌کنند.

۱-۱-۲ میدان‌های موجود در مدل استاندارد

در نظریه مدل استاندارد سه نوع میدان وجود دارد [۸]:

۱) میدان‌های پیمانه‌ای (بوزونی) که حامل بر هم‌کنش ها بوده و اسپین ۱ دارند و به سه نوع میدان مختلف تقسیم می شوند:

- میدان‌های گلوئونی: واسطه برهم‌کنش‌های قوی بین کوارک‌ها
- بوزون‌های پیمانه‌ای ضعیف: واسطه برهم‌کنش‌های ضعیف
- میدان فوتون: واسطه برهم‌کنش‌های الکترومغناطیسی

۲) میدان‌های ماده (فرمیونی): این میدان‌ها به دو گروه کوارک‌ها ولپتون‌ها تقسیم می شوند و از آنجا که فرمیون‌ها به دو دسته‌ی راستگرد و چپگرد با اعداد کوانتومی متفاوت تقسیم می‌شوند، لپتون‌ها و کوارک‌ها به دو صورت جفت و منفرد بیان می‌شوند.

۳) میدان هیگز: طبق نظریه گلاسو ـ سلام واینبرگ، در مدل استاندارد حداقل یک جفت میدان اسکالر هیگز پیش‌بینی می‌شود. دلیل وجود این میدان مربوط به جرم ذرات است؛ در نگاه اول نمی‌توان ارتباط چندانی میان مدل استاندارد و مفهوم جرم پیدا کرد. اما زمانی که دو نیرو از چهار نیروی این مدل، یعنی نیروی الکترومغناطیس و هسته‌ای ضعیف، در هم ادغام می‌شوند و نیروی الکتروضعیف را تشکیل می‌دهند، اوضاع عوض می‌شود. این دو نیرو در انرژی‌های پایین به طور

مستقل عمل می‌کنند اما در انرژی حدود ۱۰۰ گیگا الکترون ولت، یکی می‌شوند و نیروی الکتروضعیف را تشکیل می‌دهند. این‌طور به نظر می‌رسد که این دو نیرو زمانی کوتاه پس از انفجار بزرگ[۶] که دمای عالم بسیار بالا بوده است، به شکل یک نیروی واحد عمل کرده‌اند. نکته این‌جاست که برای قابل قبول بودن این نظریه و معادلات مربوط به آن، لازم است تمامی ذرات بنیادی فاقد جرم در نظر گرفته شوند. برای حل این پارادوکس، مکانیسمی پیشنهاد شد که اگر به معادله‌ی اولیه اضافه شود، می‌تواند به ذرات اجازه دهد جرم داشته باشند. این مکانیسم امروزه به مکانیسم هیگز معروف است. اضافه کردن این مکانیسم به مدل استاندارد به محققان در پیش‌بینی مقادیر متفاوت جرم کمک می‌کند. بر اساس این مکانیسم، میدان هیگز که همیشه و همه‌جا در فضا موجود است مانند یک میانجی عمل می‌کند و ذرات در بر هم‌کنش با آن جرم پیدا خواهند کرد. این مکانیسم به وجود ذره‌ی کشف نشده ای نیازمند است که ما آن را به عنوان بوزون هیگز می‌شناسیم. همان‌طور که فوتون‌ها اجزای اصلی تشکیل دهنده‌ی نور هستند، این ذره نیز بخش بنیادی ذره‌ی هیگز به شمار می رود و تنها پیش‌بینی مدل استاندراد است که هنوز توسط آزمایش‌های تجربی کشف نشده‌است.

جدول ۱-۱ میدان‌های موجود در نظریه‌ی مدل استاندارد

میدان	بوزون	فرمیون	$SU(3)$	$SU_L(2)$	$U_Y(1)$
G^k	گلئون		8	1	0
V^A	$w(w^+,w^-),Z$		1	3	0
V'	ابربار $B(\gamma)$		1	1	0
L_i		جفت لپتون $L_i=(\nu,e)_L$	1	2	-1
E_i		لپتون منفرد $E_i^c=e_R^\dagger$	1	1	2
Q_i		جفت کوارک $Q_i=(u,d)_L$	3	2	1/3
U_i		کوارک منفرد $U_i^c=u_R^\dagger$	3	1	-4/3
D_i		کوارک منفرد $D_i^c=d_R^\dagger$	3	1	2/3
H	دوگانه هیگز (h^0,h^-)		1	1	-1

[۶] Bigbang.