

ذره‌ای به نام هیگز

یاسمن فرزنان*

چکیده

مدل استاندارد عنوان نظریه‌ای است که ویژگی‌ها و برهمکنش‌های ذرات بنیادی را توصیف می‌کند. سازگاری این نظریه و توصیف صحیح جرم‌های ذرات بنیادی در این مدل ایجاب می‌کند که ذره‌ای سنگین با بار الکتریکی و اسپین صفر در طبیعت وجود داشته باشد. این ذره که هیگز خوانده می‌شود ناپایدار است و بلافاصله بعد از به وجود آمدن واپاشی می‌کند. واپاشی این ذره از طریق نیروی جدیدی انجام می‌گیرد که تنها در فرآیندهایی که ذره‌ی هیگز در آنها دخیل است ظاهر می‌شود. تا قبل از چهاردهم تیرماه سال جاری، تمام ذرات بنیادی موجود در نظریه‌ی مدل استاندارد به جز ذره‌ی هیگز کشف شده بود. اخیراً آزمایشگران آزمایش بین‌المللی ال-ایچ-سی اعلام کرده‌اند که ذره‌ای با ویژگی‌های مورد انتظار ذره‌ی هیگز مدل استاندارد ذرات بنیادی کشف نموده‌اند. یافتن این ذره به معنای یافتن آخرین قطعه در معمای مدل استاندارد ذرات بنیادی است که شکل‌گیری آن حدود یک قرن زمان برده است. در این مقاله، ما به زبان ساده، نقش و اهمیت ذره‌ی هیگز را تحلیل می‌نماییم.

واژگان کلیدی: ذره‌ی هیگز، مکانیزم شکست تقارن، برهمکنش ضعیف، الکتروضعیف، شتاب‌دهنده، راه‌های واپاشی.

* دانشیار، تلفن: ۲۲۲۸۰۶۹۲ (+۹۸۲۱)، دورنگار: ۲۲۲۸۰۴۱۵ (+۹۸۲۱)، نشانی الکترونیکی: yasaman@theory.ipm.ac.ir
۱. پژوهشکده فیزیک پژوهشگاه دانش‌های بنیادی.

مقدمه

ذرات بنیادی اجزای تشکیل‌دهنده گیتی هستند که خود به ذرات کوچک‌تر تجزیه نمی‌شوند. از جمله آشناترین این ذرات می‌توان از الکترون و فوتون (همان کوانتم نور) نام برد. پروتون و نوترون که هسته اتم‌ها را تشکیل می‌دهند ذره‌ی بنیادی نیستند چرا که می‌توانند به ذرات ریزتر (کوارک‌ها و گلئون‌ها) تجزیه شوند. ذرات بر اساس اسپین آنها طبقه‌بندی می‌شوند. ذراتی را که اسپین صحیح دارند بوزون و ذراتی را که اسپین نیمه‌صحیح دارند، فرمیون می‌نامند. فوتون و گلئون، بوزون با اسپین یک و کوارک‌ها و الکترون فرمیون با اسپین یک دوم هستند.

برای توصیف ذرات بنیادی، نظریه‌ای ساخته و پرداخته شده است که به مدل استاندارد ذرات بنیادی معروف است. در تکوین این نظریه، در طول قرن گذشته، پژوهشگران برجسته بسیاری نقش داشته‌اند که از آن میان می‌توان از دانشمندان برجسته‌ای چون فرمی، واینبرگ، سلام، گلشو، هیگز، هوفت و... نام برد. پیش‌بینی‌های این مدل با دقت بسیار زیاد در آزمایشگاه‌ها آزموده شده‌اند. این مدل به زبان فرمول‌بندی ریاضی نظریه‌ی میدان‌های پیمانه‌ای نوشته شده‌است. سازگاری نظری این مدل ایجاب می‌کند که ذره‌ای در طبیعت با اسپین صفر وجود داشته باشد. در چارچوب این نظریه، ذره‌ی مزبور که هیگز نام دارد ویژگی‌های مشخصی دارد. به تازگی آزمایش ال-ایچ-سی [۱] اعلام کرد که بوزونی جدید یافته است. ویژگی‌های بوزون جدید با این پیش‌بینی‌ها همخوانی دارد. این کشف نتیجه سه دهه تلاش مستمر هزاران پژوهشگر در گروه‌های آزمایشی مختلف است.

در این مقاله، ابتدا به طور گذرا مدل استاندارد ذرات بنیادی را توصیف می‌کنیم و جایگاه ذره هیگز را در آن شرح می‌دهیم. سپس به برخی از مهمترین پیش‌بینی‌های مدل استاندارد اشاره می‌کنیم. آنگاه آزمایش ال-ایچ-سی را به طور اجمالی شرح می‌دهیم. سپس به نحوه‌ی کشف هیگز می‌پردازیم.

در رسانه‌های علمی برخی تصورات اشتباه در مورد ذره هیگز ترویج می‌شود. در این مقاله به برخی از آنها اشاره می‌کنم و دلیل نادرستی آنها را بیان می‌نمایم. به طور اجمالی، ویژگی‌های ذره هیگز را برمی‌شماریم و آن را با ویژگی‌های سایر ذرات بنیادی مقایسه می‌کنیم. در انتها، نتایج را جمع‌بندی می‌کنیم و به قدم‌های بعدی در این عرصه از پژوهش اشاره کوتاهی می‌نمایم.

تکوین مدل استاندارد ذرات بنیادی

چنان که می‌دانید در طبیعت چهار گونه نیروی بنیادی شناخته شده‌اند: نیروی گرانش، نیروی الکترومغناطیسی، نیروی هسته‌ای ضعیف و نیروی هسته‌ای قوی. نیروی گرانش ملموس‌ترین نیرو در طبیعت است. این نیرو در قرن ۱۷ میلادی توسط نیوتن فرمول‌بندی شده است. چنان که می‌دانید نیروی الکتریکی و نیروی مغناطیسی نیز از دیرباز توسط بشر شناخته شده بودند. در قرن‌های هجدهم و نوزدهم

پژوهشگران متعددی روی این دو نیرو پژوهش کرده‌اند و تلاش نموده‌اند تا رفتار این دو نیرو را در قالب فرمول‌بندی ریاضی توصیف کنند. حاصل این تلاش‌ها تئوری زیبای الکترومغناطیسی است. از جمله کسانی که در تکوین نهایی این تئوری نقش کلیدی داشته‌است ماکسول است. ماکسول فرمول‌بندی‌ای که امروزه به نام او شناخته می‌شود در سال ۱۸۶۱ ارائه داد. در اواخر قرن نوزدهم بشر با دو نیروی جدید آشنا شد. این نیروها تنها در ابعاد هسته‌ای (یعنی حدود 10^{-13} سانتی‌متر) ظاهر می‌شوند. در اصطلاح گفته می‌شود که این نیروها کوتاه‌بُرد هستند. از این رو به این نیروها، نیروهای هسته‌ای گفته می‌شود. نیروهای هسته‌ای خود بر دو نوع هستند: نیروهای هسته‌ای ضعیف و نیروهای هسته‌ای قوی. فرآیندهایی که در اثر نیروی هسته‌ای قوی اتفاق می‌افتد بسیار سریع هستند. به طور مثال، واپاشی‌ای که نیروی هسته‌ای قوی عامل آن است در زمانی حدود 10^{-23} ثانیه اتفاق می‌افتد. این در حالی است که واپاشی‌هایی که عامل آن نیروی هسته‌ای ضعیف هستند زمانی بیش از حدود 10^{-8} ثانیه لازم دارند.

تحول عظیم دیگر که در اواخر قرن ۱۹ در این شاخه از علم اتفاق افتاد کشف ذره‌ی الکترون بود [۲]. به واقع شناسایی الکترون سرآغاز تولد فیزیک ذرات بنیادی است. اگر نیک بنگریم می‌بینیم که شناسایی این ذره تحول شگرفی در فهم ما از طبیعت ایجاد کرده است. نکته در اینجا است هرچند که مواد گوناگون در سراسر گیتی ویژگی‌های متنوعی دارند اما همگی حاوی ذره‌ای بنیادی به نام الکترون می‌باشند. به طور مثال، الکترونی که در ماده مذاب درون زمین موجود است با الکترون آب آشامیدنی یا الکترون در کپک‌کشانی دور دست از یک جنس می‌باشد.

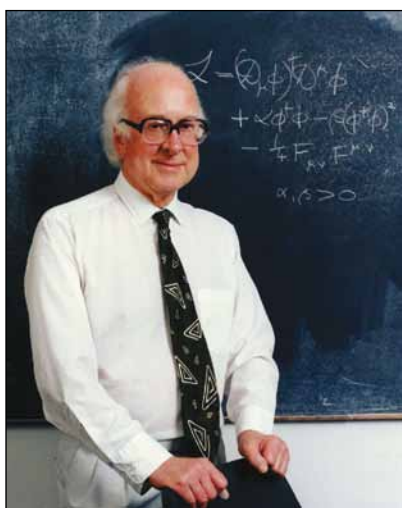
از منظر علم فیزیک، وقتی پدیده‌ای فهمیده شده است که بتوانیم آن را در قالب یک فرمول‌بندی ریاضی توصیف کنیم و بر اساس این فرمول‌بندی بتوانیم برای مشاهدات آزمایشگاهی پیش‌بینی نماییم. به این معنی فرمول‌بندی معادلات ماکسول منجر به فهم نیروی الکترومغناطیس شده است. برای فهم برهمکنش ضعیف نیز، فیزیکدان بزرگ ایتالیایی، انریکو فرمی، فرمولی نگاشت که به جمله برهمکنش فرمی معروف است. البته شکل اولیه فرمول با آن چه که امروز می‌شناسیم و توصیف‌گر برهمکنش ضعیف در انرژی‌های پایین است تفاوت داشت. بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی لازم آمد که در این فرمول اصلاحاتی صورت بگیرد. جمله برهمکنش فرمی، حتی در شکل اصلاح شده اش کاستی‌ها و مشکلاتی دارد.

هرچند این فرمول بندی توصیف‌گر پدیده‌ها در انرژی‌های نسبتاً پایین (در حدود همان انرژی‌های هسته‌ای) هست اما اگر بخواهیم بر اساس این فرمول بندی آهنگ فرآیندها را در انرژی‌های بسیار بالاتر توصیف کنیم به نتایج نادرستی می‌رسیم. با توجه به این معضل، فرضیه‌ای ارائه شد که در آن مبادله ذره واسط مجازی باردار نقش اساسی ایفا می‌کند. این ذره دابلیو (W) نام دارد. بر اساس فرمول‌بندی

نوترون است. در برهمکنش‌های ضعیف که تا آن زمان مشاهده شده بود «جنس» ذرات بنیادی تغییر می‌کرد. به طور مثال، در واپاشی نوترون که توسط برهمکنش ضعیف صورت می‌گیرد نوترون از بین می‌رود و به جای آن، پروتون، الکترون و یک نوترینو به وجود می‌آید. چنان که پیشتر اشاره شد این برهمکنش از طریق تبادل بوزونی باردار به نام دابلیو انجام می‌گیرد.

پیش‌بینی مدل مبتنی بر $U(1) \times SU(2)$ این بود که علاوه بر این بوزون واسط باردار، بوزون خنثی نیز وجود دارد که تبادل آن به طور مجازی، منجر به برهمکنش نوترینو با دیگر ذرات می‌شود بدون آن که نوترینو از بین برود. این بوزون جدید ذره «زد» (Z) نامگذاری شد. در اوایل دهه هفتاد میلادی با تاباندن باریکه نوترینو بر یک هدف در آزمایش «گارگامل» این پیش‌بینی آزموده و اثبات شد (<http://public.web.cern.ch/public/en/About/History73-en.html>).

به دنبال این کشف بزرگ جایزه نوبل به نظریه پردازان گلشو، سلام و واینبرگ به طور مشترک اعطا گردید.



تصویر هیگز .

پیتر هیگز در سال ۱۹۲۹ در انگلستان متولد شد. به خاطر شغل پدری و وقوع جنگ جهانی دوره اولیه‌ی تحصیلات وی در منزل صورت گرفت. تحصیلات دانشگاهی وی در کالج کینگ^۱ واقع در لندن بود. قسمت عمده‌ی کار پژوهشی هیگز در دانشگاه ادینبورگ بود. در سال ۱۹۹۶ هیگز بازنشسته شد و از آن پس به عنوان عضو پیشکسوت^۲ با این دانشگاه همکاری می‌کند.

در نظریه برهمکنش‌های پیمانه‌ای، بوزون پیمانه‌ای باید بدون جرم

نظریه میدان‌های کوانتومی می‌توان نشان داد که بُرد نیرو با معکوس جرم ذره‌ی واسط متناسب است. با توجه به برد بسیار کوتاه نیروی هسته‌ای ضعیف، جرم این ذره واسط باید بزرگ باشد. امروزه می‌دانیم جرم آن حدود هشتاد برابر جرم پروتون است. هرچند معرفی ذره دابلیو مشکلی را که در بالا به آن اشاره شد حل می‌کند اما هنوز تئوری ناسازگار می‌ماند به طوری که تصحیحات مراتب بالا در محاسبات بینهایت بزرگ می‌شود.

در دهه پنجاه میلادی، فیزیکدان بزرگ چینی، ینگ، به همراه میلز فرضیه برهمکنش‌های پیمانه‌ای را ارائه دادند [۳]. این فرضیه بر اساس تقارن‌های پیوسته‌ای است که پارامتر آنها تابع فضا-زمان است. در واقع در این فرضیه ناگزیر از معرفی بوزون‌های واسط با اسپین یک هستیم تا تقارن به طور موضعی برقرار بماند. در چارچوب این فرضیه مشکلات تئوریک از آن دست که در بالا به آن اشاره شد وجود ندارد. برهمکنش الکترومغناطیسی در واقع خود یک برهمکنش پیمانه‌ای است و بوزون واسط آن همان ذره فوتون است. گروه تقارن مزبور، در این مورد گروه آبلی $U(1)$ است [۱].

بعد از موفقیت چشمگیر در توصیف نیروی الکترومغناطیسی توسط تقارن‌های پیمانه‌ای، تلاش‌های بسیار صورت گرفت که نیروهای قوی و ضعیف را نیز بر پایه برهمکنش پیمانه‌ای توصیف نمایند. این کوشش‌ها به ثمر نشست. امروزه این نیروها در چارچوب مدلی که به مدل استاندارد ذرات بنیادی معروف است فرمول بندی شده است. پیش‌بینی مدل استاندارد با تقریب چشمگیری با مشاهدات همخوانی دارد. در طول دهه‌های شصت و هفتاد میلادی برای توصیف برهمکنش ضعیف گروه‌های تقارن متعددی به کار گرفته شد. گروه تقارنی که از بوته آزمایش سربلند بیرون آمد تقارن $U(1) \times SU(2)$ است که توسط واینبرگ، سلام و گلشو ارائه شد. این گروه تقارن از مفاهیم کلیدی در مدل استاندارد ذرات بنیادی است. در چارچوب برهمکنش پیمانه‌ای مبتنی بر این گروه تقارن، نیروی الکترومغناطیسی و نیروی هسته‌ای ضعیف با هم تلفیق می‌شوند. برهمکنش حاصل، برهمکنش الکتروضعیف است.

توجه داشته باشید که پژوهشگران آن دوره، گروه‌های تقارن متعددی را برای توصیف این دو نوع برهمکنش آزمودند. آن چه که در نهایت پذیرفته شد گروه تقارنی بود که درستی آن توسط آزمایش اثبات شد. در تثبیت این نظریه ذرات بنیادی موسوم به نوترینو نقش کلیدی داشتند. نوترینوها جزو ذرات بنیادی هستند که از نظر الکتریکی خنثی هستند و در نتیجه برهمکنش الکترومغناطیسی ندارند. با وجود تشابه اسمی این ذرات با نوترون که از اجزای تشکیل دهنده هسته اتم‌ها هستند بسیار متفاوت هستند. جرم نوترینوها کمتر از یک میلیارد برابر جرم

1. King's College
2. Emeritus Professor

زیاد به سوی یکدیگر شلیک می‌شوند. پروتون‌ها در یک مسیر به شکل دایره که محیط آن ۲۷ کیلومتر است حرکت می‌کنند. در محلی که آشکارسازها نصب شده‌اند این دو باریکه با یکدیگر برخورد می‌کنند.

آشکارسازها ذرات به وجود آمده در برخورد را ثبت می‌نمایند. لوله‌ای که پروتون‌ها در آن می‌چرخند حدود ۱۰۰ متر زیر زمین قرار دارد. علت نصب آن در زیر زمین آن است که ذرات پرنرژی حاصل قبل از رسیدن به سطح زمین انرژی خود را از دست بدهند و در نتیجه از نظر ایمنی و سلامت (راديو اکتیو کردن فلزات) خطری ایجاد ننمایند. آشکارسازهای متعددی برای اندازه‌گیری در این آزمایش نصب شده است که در میان آنها، دو مورد یعنی آشکارساز سی-ام-اس^۲ و آشکارساز اطلس^۳ در کشف ذره هیگز نقش اصلی را بازی کرده‌اند. هر یک از این دو آشکارساز توسط دو گروه بزرگ پژوهشی مستقل (هر کدام متشکل از بیش از هزار نفر) اداره می‌شود.

روش‌های به کار رفته در دو آشکارساز متفاوت هستند. در واقع دو گروه به نوعی با هم رقابت دارند. علت طرح ریزی به این صورت پایین آوردن احتمال خطای آزمایشگاهی است. در واقع، این دو گروه درستی نتایج آزمایشگاهی یکدیگر را می‌آزمایند. نتایج دو گروه در مورد کشف بوزون جدید با یکدیگر همخوانی دارد.^۴ در شکل ۱، تصویر کلی آزمایشگاه دیده می‌شود. شکل ۲ و ۳ آشکارسازهای سی-ام-اس و اطلس را نشان می‌دهد.

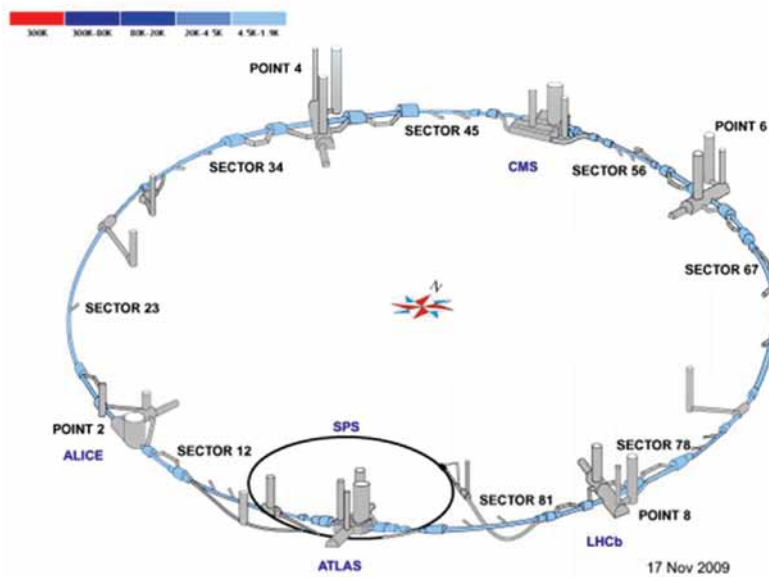
باشد؛ در غیر این صورت، تقارن پیمانه‌ای نمی‌تواند برقرار بماند. بوزون پیمانه‌ای برهمکنش الکترومغناطیس، یعنی فوتون، به واقع بی‌جرم است. اما بوزون‌های W و Z باید جرم سنگین داشته باشند و گرنه برهمکنش ضعیف بلند-برد می‌شود.

این مکانیزم جدید می‌بایست تقارن $(1)U \times (2)SU$ الکتروضعیف را به گونه‌ای به تقارن $(1)U$ الکترودینامیک بشکند تا خواص مطلوب تئوری تقارن پیمانه‌ای (از بین رفتن بی‌نهایت‌ها در محاسبات) برقرار بماند اما بوزون‌های واسط جرم دار شوند. از این رو، نیاز به افزودن مکانیزمی جدید، بر مدل استاندارد بود. چنین مکانیزمی توسط فیزیکدانان برجسته‌ای چون انگلرت، پروت و هیگز تکوین یافت. اساس این مکانیزم افزودن میدان بوزونی با اسپین صفر (میدان اسکالر) است. پتانسیل این میدان جدید به گونه‌ای است که مینیمم به ازای مقدار غیر صفر میدان حاصل می‌شود. در اصطلاح گفته می‌شود که میدان اسکالر مقدار انتظاری غیر صفر می‌گیرد. این مکانیزم به مکانیزم هیگز معروف است. به میدان اسکالر این مکانیزم نیز میدان هیگز گفته می‌شود. این بخش از مدل استاندارد نیز پیش‌بینی‌هایی دارد که در بخش بعد به آن می‌پردازیم.

برخی از پیش‌بینی‌های مدل استاندارد آزمایش ال-ایچ-سی^۱

در شتابدهنده‌ی ال-ایچ-سی، دو باریکه‌ی پروتون با انرژی‌های بسیار

شکل ۱) شمای کلی آزمایش ال-ایچ-سی



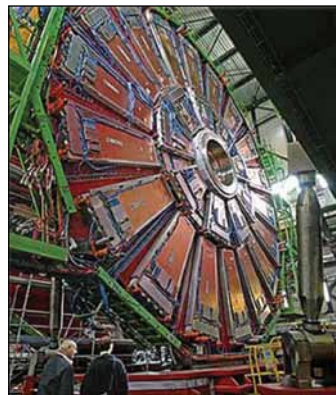
1. LHC
2. CMS
3. ATLAS

۴. لازم به ذکر است ال-ایچ-سی، سی-ام-اس و اطلس هر سه مخفف چند

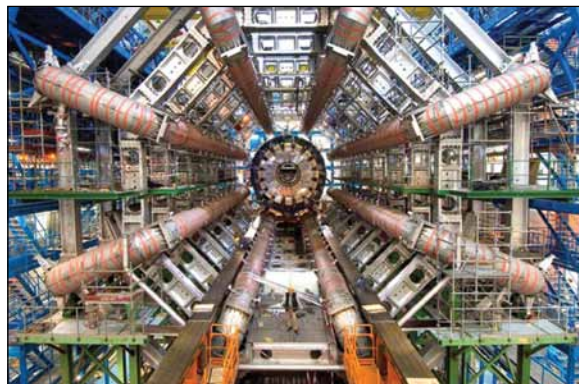
کلمه هستند:

LHC=Large Hadron Collider, CMS=Compact Muon Solenoid , ATLAS= A Toroidal LHC Apparatus.

شکل ۲) آشکارساز سی-ام-اس



شکل ۳) آشکارساز اطلس



درواقع انتظار داریم که در اغلب موارد هیگز به کوآرک بی و پادذره آن واپاشی کند. کوآرک بی، ذره بنیادی است که جرم آن حدود چهار برابر جرم پروتون می‌باشد. علاوه بر آن طبق مدل استاندارد ذرات بنیادی هیگز می‌تواند به چهار فرمیون، به ذره تائو-پادتائو و به زوج فوتون واپاشی کند. هرکدام از این موارد ممکن را یک راه^۱ واپاشی می‌نامند. آهنگ واپاشی به کوآرک بی و پادکوآرک بی حدود ۵۰۰ مرتبه بیش از آهنگ واپاشی به دو فوتون است [۴].

با این حال، تشخیص و ثبت مواردی که هیگز به دو فوتون واپاشی کرده است در عمل ساده تر است. علت آن است که زوج کوآرک بی و پادکوآرک آن با روش‌های دیگری نیز می‌توانند تولید شوند. در اصطلاح گفته می‌شود پیش‌زمینه این راه واپاشی بسیار بزرگ است. در واقع، تعداد پیش‌بینی شده زوج کوآرک و پادکوآرک ناشی از واپاشی هیگز از افت و خیز آماری پیش‌زمینه کمتر است. به عبارت ساده‌تر این تعداد در میان پیش‌زمینه گم می‌شود. این نکته آشکارسازی ذره هیگز را دشوار می‌کند.

ناگزیر به سراغ راه‌های واپاشی نظیر واپاشی به زوج فوتون یا واپاشی به چهار فرمیون می‌رویم که بسیار نادرتر هستند. به همین دلیل، هرچند انرژی آزمایش تواترون به اندازه‌ی تولید بوزون جدید بالا بود اما داده این آزمایش برای کشف قطعی این بوزون ناکافی بود. در آزمایش ال-ایچ-سی با بررسی راه واپاشی به زوج فوتون و همچنین راه واپاشی به چهار-فرمیون توانستند این ذره را کشف نمایند.

تصورات نادرست در جامعه در مورد هیگز

در دو دهه‌ی اخیر، رسانه‌های ارتباط جمعی گوناگونی در سراسر دنیا به ذره هیگز پرداخته‌اند. کتاب و مقالات بسیاری در جهت شناساندن این ذره به زبان ساده و بدون کمک گرفتن از فرمول‌بندی منتشر شده‌اند. در اثر این کوشش‌ها، این ذره در جامعه علاقه‌مند به دانش فیزیک کمابیش شناخته شده‌است. اما در این میان سهل‌انگاری - و حتی سودجویی عده‌ای باعث شده است که تصوراتی نادرست در مورد ذره و مکانیزم هیگز شکل بگیرد. در این بخش، به دو مورد از این تصورات نادرست پرداخته می‌شود. مورد اول، نامگذاری این ذره است. همان‌گونه که در قبل اشاره شد مکانیزم شکست تقارن الکتروضعیف توسط هیگز، بروت و آنگلرت^۲ معرفی شده است. در جمع پژوهشگران فیزیک ذرات بنیادی و انرژی‌های بالا، اغلب به مکانیزم و ذره مزبور، هیگز اطلاق می‌شود. گاهی هم به آن، مکانیزم آنگلرت-بروت-هیگز اطلاق می‌شود.

نامگذاری‌ای جز این، بین پژوهشگران این رشته مرسوم نیست. مکانیزم مزبور مبتنی بر فرمول‌بندی ریاضی نظریه میدان‌های کوانتمی

نحوه آشکارسازی هیگز و راه‌های واپاشی این ذره

ذره‌ی هیگز، ذره‌ی ناپایداری است که بلافاصله پس از تولید (به طور دقیق‌تر، پس از مدت کمتر از 10^{-22} ثانیه) واپاشی می‌کند. در این مدت کوتاه این ذره نمی‌تواند به آشکارسازها برسد. آن چه که در آشکارسازها دیده می‌شود ذرات حاصل از واپاشی است که یا پایدار هستند و یا نیمه‌عمری نسبتاً طولانی دارند.

در چارچوب مدل استاندارد ذرات بنیادی، ضریب جفت‌شدگی ذره هیگز به ذرات دیگر پیش‌بینی می‌شود. به طورمثال، ضریب جفت‌شدگی هیگز به فرمیون‌های باردار بنیادی (نظیر الکترون، میون و کوآرک‌ها) با جرم آنها متناسب است. مشاهدات ال-ایچ-سی نشان داد که جرم هیگز حدود ۱۲۵ برابر جرم پروتون است. در چارچوب مدل استاندارد می‌توان پیش‌بینی کرد که ذره هیگز با چه آهنگی (rate) به چه ذراتی واپاشی می‌کند.

1. MODE
2. Higgs, Brout and Englert

است. هرچند جرم کوارک‌های سازنده پروتون و نوترون به میدان هیگز وابسته است اما جرم کوارک‌ها تنها بخش کوچکی (حدود یک درصد) از جرم پروتون و نوترون را تشکیل می‌دهد. بقیه جرم پروتون و نوترون از انرژی جنبشی کوارک‌ها و دیگر ذرات موجود (گلوئون‌ها) در داخل پروتون حاصل می‌شود.

مقایسه ویژگی‌های ذره‌ی هیگز با ذرات دیگر

همان طوری که در قبل گفته شد جرم ذره کشف شده حدود ۱۲۵ برابر جرم پروتون است. در میان ذرات بنیادی ذره هیگز دومین ذره سنگین است. لازم به اشاره است که جرم کوارک تاپ از جرم هیگز نیز بیشتر است و حدود ۱۷۰ برابر جرم پروتون می‌باشد. بین هسته‌های اتم‌ها، جرم هسته ید با ۵۳ پروتون و ۷۳ نوترون تقریباً برابر با جرم هیگز است. هیگز تنها ذره بنیادی است که اسپین صفر دارد.

ذرات با اسپین صفر دیگر که تا کنون کشف شده اند همگی مرکب از ذرات ریزترند. میدانی که مانند میدان منسوب به ذره هیگز که منجر به شکست خودبه‌خود تقارن شود نمی‌تواند اسپین غیر صفر داشته باشد. چون در غیر این صورت تقارن دورانی نیز می‌شکند و این در حالی است که انتظار داریم طبیعت تقارن دورانی داشته باشد. همین‌طور، میدانی که منجر به شکست تقارن شود نمی‌تواند بار الکتریکی داشته باشد چون در صورت باردار بودن، بار الکتریکی پایسته (ثابت) باقی نمی‌ماند.

البته در چارچوب برخی مدل‌های و رای مدل استاندارد، ذره هیگز باردار هم وجود دارد. اما باید توجه داشت که چنین میدانی منجر به شکست تقارن نمی‌شود. به این منظور به همراه این ذره باردار میدان اسکالر دیگری که از نظر الکتریکی خنثی است باید وجود داشته باشد تا منجر به شکست تقارن الکتروضعیف گردد.

همان گونه که گفته شد ذره هیگز ناپایدار است. نیمه عمر آن بسیار کمتر از نیمه عمر ذراتی مانند میون است که از طریق برهمکنش ضعیف واپاشی می‌کنند. از لحاظ مرتبه بزرگی نیمه‌عمر ذره هیگز هم مرتبه با نیمه‌عمر ذراتی است که از طریق برهمکنش قوی واپاشی می‌کنند. با این همه درست نیست که بگوییم که واپاشی ذره هیگز از طریق برهمکنش قوی است.

در واقع برهمکنشی که در این واپاشی دخیل است برهمکنشی جدید (برهمکنش یوکاوا) می‌باشد که از جنس برهمکنش‌های پیمان‌های نیست. این برهمکنش تنها بین دو فرمیون و یک ذره اسکالر می‌تواند وجود داشته باشد.

به طور موثر، نظیر این نیرو بین پایون‌ها (که ذرات با اسپین صفر مرکب از کوارک‌ها هستند) و پروتون‌ها و نوترون‌ها وجود دارد. ولی این اولین بار است که اثر این نیرو را در سطح ذرات بنیادی (غیر مرکب) می‌بینیم. این برهمکنش ضریب جفت‌شدگی خاص خود را دارد که متناسب با جرم فرمیون‌هایی است که در برهمکنش وارد می‌شوند.

است و ذره مورد نظر هم یک ذره‌ی بنیادی همانند دیگر ذرات بنیادی است با این تفاوت که اسپین آن برابر صفر است. بقیه ذرات بنیادی که می‌شناسیم اسپین یک یا نیم دارند.

نکته عمیق اعجاب‌انگیز که در این میان وجود دارد این است که پیش‌بینی مبتنی بر یک فرمول‌بندی دقیق ریاضی، از بومه آزمایش سربلند بیرون می‌آید. به راستی شگفت‌انگیز است که جهان طبیعت چنین نظمی دارد و ذهن انسان قادر است رمز آن را بگشاید و فرمول‌بندی‌ای بسازد که در قالب آن می‌توان برای فیزیک ناشناخته پیش‌بینی نمود و نتیجه‌ای صحیح به دست آورد. البته این شگفتی اختصاص به مکانیزم هیگز ندارد.

درواقع علم فیزیک بر همین پایه استوار است و جلو می‌رود. شاید در جراید و رسانه‌ها اصطلاح عجیب ذره-خدا را شنیده باشید که به همین ذره هیگز اطلاق می‌شود. این اصطلاح در بین پژوهشگران این رشته، جایی ندارد.

خود شخص هیگز از این اصطلاح بیزار است. علت سرزبان افتادن این اصطلاح سودجویی یک ناشر کتاب‌های عامه‌فهم است. وی می‌دانست اگر این عنوان را به کار گیرد کتابش جلب توجه خواهد کرد و بیشتر فروش خواهد رفت. بدیهی است هر گونه نتیجه‌گیری شبه-فلسفی با استناد به این عنوان بی‌مسمی و بی‌ریشه، ارزش منطقی ندارد.

دومین اشتباه مرسوم که نکته‌ای ظریف‌تر است در مورد نقش ذره‌ی هیگز در جرم عالم است. همان طوری که قبلاً دیدیم برای جرم‌دار کردن بوزون‌های « دابلیو » و « زد » نیاز به معرفی میدان هیگز است. همچنین جمله جرم فرمیون‌های باردار بنیادی، بعد از معرفی میدان هیگز و شکست تقارن الکتروضعیف به دست می‌آید. به عنوان مثال، جرم الکترون و همچنین جرم کوارک‌های سازنده پروتون و نوترون در نظریه میدان‌های کوانتمی از جمله برهمکنش با میدان هیگز حاصل می‌شود. با این حال، این ادعا که جرم عالم همگی از هیگز ناشی می‌شود ادعایی نادرست است.

امروزه می‌دانیم که قسمت عمده جرم ماده‌ی دنیا، به صورت ماده تاریک است. ذره‌ای در مدل استاندارد ذرات بنیادی وجود ندارد که بتواند نقش ماده تاریک را بازی کند. ماهیت این ذره هنوز مشخص نیست. اما فرضیه‌ها و مدل‌های متعددی ساخته و پرداخته شده‌اند که ذره‌ای جدید با ویژگی‌های لازم ماده تاریک معرفی می‌نمایند. در اغلب این مدل‌ها جرم ذرات تشکیل دهنده ماده تاریک به وجود ذره هیگز بستگی ندارد. جرم ماده معمولی در عالم حدود یک پنجم جرم ماده تاریک است.

ماده معمولی از پروتون و نوترون و الکترون ساخته شده است. از آنجایی که جهان از نظر الکتریکی خنثی است تعداد پروتون‌ها و الکترون‌ها باید برابر باشند. از طرف دیگر می‌دانیم جرم‌های پروتون و نوترون حدود دو هزار برابر جرم الکترون هستند. بنابراین عمده ماده غیر تاریک به صورت هسته‌های متشکل از نوترون و پروتون

نتیجه‌گیری

هنوز در آغاز راه هستیم. امید است در آینده با بالا بردن انرژی ذرات برخورد کننده و همچنین با بالا بردن تعداد این ذرات در آزمایش‌ها بتوانیم ذرات بنیادی بیشتری کشف نماییم و شناخت خود را از اجزای تشکیل دهنده‌ی گیتی کامل‌تر نماییم.

در چارچوب مدل استاندارد ذرات بنیادی برای توصیف سازگار برهمکنش‌های الکتروضعیف با بُرد کوتاه نیاز به معرفی مکانیزمی موسوم به مکانیزم هیگز هست. این مکانیزم ذره‌ی بنیادی جدیدی معرفی می‌کند که ذره‌ی هیگز خوانده می‌شود.

اسپین و بارالکتریکی ذره هیگز هردو صفر هستند. این ذره ناپایدار است و به چند مجموعه از ذرات می‌تواند واپاشی نماید. در بیشتر موارد، واپاشی به زوج کوارک و پادکوارک بی است. اما این راه واپاشی در مقابل پیش‌زمینه کوچک است و در نتیجه، آشکارسازی از طریق آن دشوار می‌باشد. در آزمایشی همچون ال-ایچ-سی بررسی راه واپاشی به دو فوتون و راه واپاشی به چهار فرمیون بنیادی روش مناسب‌تری برای کشف ذره‌ی هیگز است.

آن چه که به تازگی گروه‌های آزمایشی سی-ام-اس و ال-ایچ-سی در سرن گزارش داده‌اند وجود بوزونی به جرم ۱۲۵ برابر جرم پروتون است که می‌تواند به زوج فوتون و یا به چهار فرمیون واپاشی کند. با استفاده از قانون بقای اندازه حرکت زاویه‌ای و جمع اسپین‌ها می‌توان نشان داد که اسپین این ذره صحیح است.

به عبارت دیگر این ذره بوزون می‌باشد نه فرمیون. در سال‌های ۴۸ و ۵۰ میلادی، لاندائو [۵] و ینگ [۶] در مقالات جداگانه‌ی نشان دادند که چنین ذره‌ای که به دو فوتون در حالت اندازه حرکت زاویه‌ای مداری صفر واپاشی می‌کند نمی‌تواند اسپین برابر یک داشته باشد. اگر با جمع‌آوری داده‌های بیشتر مدهای واپاشی این بوزون جدید به زوج فرمیون کشف شوند، می‌توان نتیجه گرفت که اسپین این ذره نمی‌تواند برابر ۲ باشد.

بنابراین تنها گزینه موجود در صورت صفر بودن تکانه‌ی زاویه‌ای مداری نسبی ذرات گسیل یافته، اسپین صفر است. به این ترتیب می‌توان اطمینان بیشتری حاصل کرد که ذره کشف شده چیزی نیست جز همان هیگز مدل استاندارد که در جست و جوی آن بودیم.

همین‌طور باید بیازماییم که آیا آهنگ واپاشی به مجموعه ذرات گوناگون با پیش‌بینی مدل استاندارد ذرات بنیادی همخوانی دارد یا خیر. بر اساس داده‌های فعلی، آهنگ واپاشی به دو فوتون اندکی بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده است. این افزونی ممکن است به دلیل خطای آزمایشگاهی باشد و یا می‌تواند به علت تاثیرات فیزیک وری مدل استاندارد ذرات بنیادی باشد.

داده‌ها و بررسی‌های بیشتری لازم است تا این نتیجه آزموده شود. با جمع‌آوری داده‌های بیشتر می‌توان توزیع زاویه‌ای ذرات ناشی از واپاشی را به دست آورد. با این اطلاعات می‌توان در مورد دیگر خواص ذره کشف شده از جمله رفتار آن تحت وارونی فضا اطلاعات به دست آورد و با پیش‌بینی مدل استاندارد ذرات بنیادی مقایسه نمود [۷].

کشف این بوزون جدید و بررسی ویژگی‌های آن قدمی اساسی در راه شناخت فیزیک ذرات بنیادی است. اما قدم آخر نباید باشد. ما

- S. (2009). "NNLO Computational Techniques": The Cases $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow gg$. Nucl Phys. Vol B811, pp 182-273
- [5] Landau, L. D. (1948). "Dokl. Akad. Nauk", USSR Vol 60, PP 207-212.
- [6] Yang, C. N. (1950). "Selection rules for the Dematerialization of a Particle Into Two Photons". Phys. Rev. Vol 77, PP 242-245.
- [7] Boughezal, R., LeCompte T. J. and Petriello F. (2012). "Asymmetries for Measuring the Higgs Boson spin and CP Properties", arXiv:1208.4311
- [1] CMS Collaboration (2012). "Observation of a New Boson at a Mass of 125 GeV with the CMS Experiment at the LHC", Phys. Lett. Vol B 716, PP 30-61.
- [2] Thomson, J. J. (1987). "Cathode Rays". Philosophical Magazine, Vol. 44, PP. 293-316.
- [3] Yang, C.N. and Mills, R. (1954). "Conservation of Isotopic Spin and Isotopic Gauge Invariance". Phys. Rev. Vol 94, pp 191-195.
- [4] Actis, S., Passarino, G. , Strum, Ch. And Uccirat