بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

آلیس در جستجوی سوپ کوارک گلوئن

تهیه و تالیف :

حامی فرید یوسفی

هدی قوامی نیا

انتشارات ارسطو

(سازمان چاپ و نشر ایران – ۱۴۰۲)

نسخه الکترونیکی این اثر در سایت سازمان چاپ و نشر ایران و اپلیکیشن کتاب رسان موجود می باشد

chaponashr.ir

سرشناسه : فریدیوسفی، حامی، ۱۳۵۷-
عنوان و نام پدیدآور : آلیس در جستجوی سوپ کوارک گلوین/ تهیه و تالیف حامی فریدیوسفی، هدی قوامی‌نیا.
مشخصات نشر : ارسطو (سامانه اطلاع رسانی چاپ و نشر ایران) ،۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری : [۱۲۵]ص.؛۱۴/۵×۲۱/۵س‌م.
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۳۳۹-۱۹۲-۷
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : کتابنامه:ص.۱۲۳-[۱۲۵].
موضوع : پلاسمای کوارک-گلوان Quark-gluon plasma
برهم‌کنش کوارک و گلوئون Quark-gluon interactions
شناسه افزوده : قوامی‌نیا، هدی، ۱۳۶۱-
رده بندی کنگره : QCv۹۳/۵
رده بندی دیویی : ۵۳۹/۷۲۱۶۷
شماره کتابشناسی ملی : ۹۲۹۷۵۲۳
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

نام کتاب : آلیس در جستجوی سوپ کوارک گلوئن
تهیه و تالیف : حامی فرید یوسفی - هدی قوامی نیا
ناشر : ارسطو (سامانه اطلاع رسانی چاپ و نشر ایران)
صفحه آرایی، تنظیم و طرح جلد: پروانه مهاجر
تیراژ : ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ : اول - ۱۴۰۲
چاپ : زبرجد
قیمت : ۱۰۰۰۰۰ تومان
فروش نسخه الکترونیکی - کتاب‌رسان :
https://chaponashr.ir/ketabresan
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۳۳۹-۱۹۲-۷
تلفن مرکز پخش : ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵
www. chaponashr. ir

انتشارات ارسطو
چاپ و نشر ایران
Chaponashr.ir

فهرست مطالب

مقدمه	۷
فصل اول:مدل استاندارد	۱۳
فصل دوم:شگفت، افسون، زیبا	۱۹
فصل سوم: پسر عموهای الکترون	۲۵
فصل چهارم: نیروهای طبیعت و ذرات نیرو	۳۵
فصل پنجم: فراتر از مدل استاندارد	۵۱
فصل ششم: نیروی پنجم	۵۷
فصل هفتم: نیروی رنگ	۷۱
فصل هشتم: سوپ کوارک و گلوئن	۸۳
فصل نهم: آلیس در جستجوی سوپ کوارک-گلوئن	۹۷
منابع و مآخذ	۱۲۳

مقدمه

برنامه‌ی تحقیقاتی در سرن موضوعاتی از ساختار اصلی ماده تا پرتوهای کیهانی و از مدل استاندارد تا ابر تقارن را پوشش می‌دهد. تمرکز اصلی سرن فیزیک ذرات و مطالعه‌ی اجزای اساسی ماده است اما برنامه فیزیک در آزمایشگاه از فیزیک هسته‌ای گرفته تا فیزیک با انرژی بالا، از مطالعات پادماده تا اثرات احتمالی پرتوهای کیهانی روی ابرها گسترش یافته است.

از دهه‌ی ۱۹۷۰، فیزیک دانان ذرات ساختار بنیادی ماده را با استفاده از یک سری معادلات ظریف به نام مدل استاندارد توصیف کردند. این مدل توضیح می‌دهد که چگونه همه اجزای قابل مشاهده در جهان از بلوک‌های اساسی به نام ذرات بنیادی ساخته شده‌اند و توسط چهار نیرو اداره می شود. فیزیکدانان سرن از قوی‌ترین شتاب دهنده‌ها و آشکارسازهای ذرات جهان برای آزمایش پیش‌بینی‌ها و محدودیت‌های مدل استاندارد استفاده می‌کنند.این مدل در طول سال‌ها نتایج تجربی بسیاری را توضیح داده و طیف وسیعی از پدیده‌ها را دقیقاً پیش‌بینی کرده است،

به‌طوری که امروزه به عنوان یک نظریه‌ی فیزیک به خوبی آزمایش شده در نظرگرفته می‌شود. اما این مدل تنها ٤ درصد از جهان شناخته شده را توصیف می‌کند و سؤالات بسیاری باقی می‌ماند.آیا ما شاهد اتحاد نیروها در انرژی‌های بالا و در آزمایشهای برخورددهنده‌ی بزرگ هادرونی خواهیم بود؟ چرا جاذبه این‌قدر ضعیف است؟ چرا ماده بیش از پادماده در جهان وجود دارد؟ آیا فیزیک عجیب و غریب بیشتری وجود دارد که منتظر کشف در انرژی‌های بالاتر باشیم؟ آیا شواهدی برای نظریه‌ای به نام ابرتقارن در برخورد دهنده‌ی هادرونی بزرگ کشف خواهیم کرد؟ آیا بوزون هیگز را که به ذرات جرم می‌دهد، درک خواهیم کرد. فیزیک‌دانان سرن به دنبال پاسخی برای این سؤالات و موارد دیگر هستند. تمام مواد موجود در جهان ۱۳,۷ میلیارد سال پیش در یک انفجار بزرگ شکل گرفت در سال ۱۹۲۹، ستاره شناس آمریکایی، ادوین هابل، کشف کرد که فاصله‌ی کهکشان‌های دور با جابجایی به سرخ آنها متناسب است. انتقال به سرخ زمانی اتفاق می‌افتد که منبع نور از ناظر خود دور می‌شود. طول‌موج ظاهری نور از طریق اثر داپلر به سمت قسمت سرخ طیف کشیده می‌شود. مشاهدات هابل حاکی از این بود که کهکشان‌های دور از ما دور می‌شوند، زیرا دورترین کهکشان‌ها سریع‌ترین سرعت ظاهری را دارند. هابل استدلال می‌کند که اگر کهکشان‌ها از ما دور می‌شوند، در زمانی در گذشته،

آنها باید در نزدیکی یکدیگر خوشه‌بندی شده باشند. کشف هابل اولین پشتوانه رصدی نظریه مهبانگ جهان ژرژ لماتر بود که در سال ۱۹۲۷ ارائه شد.

جهان از یک حالت بسیار متراکم و داغ به طور انفجاری منبسط شده است و امروز نیز به گسترش خود ادامه می‌دهد. محاسبات بعدی زمان این انفجار بزرگ را حدود ۱۳,۷ میلیارد سال قبل نشان می‌دهند.در سال ۱۹۹۸ دو تیم از ستاره شناسان که به‌طور مستقل در برکلی کالیفرنیا کار می‌کردند مشاهده کردند که ابرنواخترها ستارگان در حال انفجار با سرعتی فزاینده از زمین دور می‌شوند. این امر باعث شد تا در سال ۲۰۱۱ جایزه نوبل فیزیک را به‌دست آورند. فیزیک‌دانان فرض کرده بودند که ماده در جهان سرعت انبساط آن را کاهش می‌دهد. گرانش در نهایت باعث می‌شود که کیهان دوباره در مرکز خود بیفتد. اگرچه نظریه بیگ بنگ نمی‌تواند شرایط را در همان ابتدای جهان توصیف کند، اما می‌تواند به فیزیک دانان کمک کند تا اولین لحظات پس از شروع انبساط را توصیف کنند. در اولین لحظات پس از انفجار بزرگ، جهان به شدت داغ و متراکم بود. با سرد شدن جهان، شرایط برای به وجود آمدن بلوک‌های سازنده ماده یعنی کوارک‌ها و الکترون‌هایی که همه‌ی ما از آنها ساخته شده‌ایم مهیا شد. چند میلیونم ثانیه بعد، کوارک‌ها برای تولید پروتون و نوترون جمع شدند. در عرض چند دقیقه،

این پروتون‌ها و نوترون‌ها به هسته‌ها تبدیل شدند. با ادامه‌ی انبساط و سرد شدن جهان، رخداد اتفاقات آهسته‌تر شد. ۳۸۰۰۰۰ سال طول کشید تا الکترون‌ها در مدارهای اطراف هسته به دام افتادند و اولین اتم‌ها را تشکیل دادند. اینها عمدتاً هلیوم و هیدروژن بودند که هنوز هم فراوان ترین عناصر در جهان هستند. مشاهدات کنونی نشان می‌دهد که اولین ستاره‌ها از ابرهای گازی در حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلیون سال پس از انفجار بزرگ تشکیل شده‌اند. اتم‌های سنگین‌تر مانند کربن، اکسیژن و آهن به‌طور مداوم در قلب ستارگان تولید می‌شوند و در سراسر جهان در انفجارهای ستاره‌ای تماشایی به نام ابرنواختر منجنیق می‌شوند. محاسبات نجومی نشان می‌دهد که جهان مرئی تنها مقدار ناچیزی (٤٪) از چیزی است که در واقع جهان از آن ساخته شده است. بخش بسیار بزرگی از کیهان، درواقع ٢٦ درصد، از نوع ناشناخته‌ای از ماده به نام ماده تاریک ساخته شده است. برخلاف ستاره‌ها و کهکشان‌ها، ماده تاریک هیچ‌گونه نور یا تشعشع الکترومغناطیسی ساطع نمی‌کند، و تشخیص آن فقط از طریق اثرات گرانشی امکان‌پذیر است. حدود ۷۰ درصد از محتوای جرم و انرژی جهان را شکل اسرارآمیزتری از انرژی به نام انرژی تاریک تشکیل می‌دهد که کمتر از ماده تاریک شناخته شده است و ناشی از این ایده است که همه‌ی کهکشان‌ها با سرعتی فزاینده از

یکدیگر دور می‌شوند که به این معنی است که مقداری انرژی اضافی نامرئی در کار است.

فصل اول

مدل استاندارد

انسان‌ها همیشه به دنبال درک ماهیت دنیای اطراف خود بوده‌اند. تمدن‌های باستانی معتقد بودند همه چیز از اجزای اساسی مانند زمین، هوا، آب و آتش تشکیل شده است. در دهه‌ی ۱۸۰۰، این عناصر کلاسیک جای خود را به رکوردی دقیق از بیش از صد عنصر شیمیایی دادند که امروزه به عنوان جدول تناوبی مدرن شناخته می‌شود. کشف الکترون در سال ۱۸۹۷ عصر جدیدی را آغاز کرد، زیرا دانشمندان دریافتند که اجزای سازنده‌ی واقعی طبیعت حتی کوچکتر از آن چیزی است که فکر می‌کردند. از آن زمان، تعداد زیادی ذرات زیراتمی کشف شده و در نظریه‌ای به نام

مدل استاندارد سازماندهی شده است، که به طرز چشمگیری خواص و رفتار مادهی اطراف ما را در یک معادله ریاضی منفرد، هرچند سنگین، توصیف میکند. دان لینکلن، فیزیکدان آزمایشگاه شتاب دهندهی ملی فرمی در وزارت انرژی ایالات متحده میگوید که مدل استاندارد بهترین حدس دانشمندان برای توضیح جهان است. از زمان فرمول بندی آن در اوایل دههی ۱۹۷۰، مدل استاندارد نتیجهی آزمایش های بیشماری را در فیزیک ذرات با دقت قابل توجهی پیشبینی کرده است. در سال ۲۰۱۲ ، بوزون هیگز ، این مدل را با آشکارکردن روش به دست آوردن جرم ذرات زیراتمی کامل کرد. مدل استاندارد فیزیک ذرات یکی از مهمترین دستاوردهای علمی قرن بیستم است. بنابراین میتوان نام الهامبخشتری همچون الکترودینامیک کوانتومی یا تئوری تداعیکننده «بیگ بنگ» کیهانشناسی را بر آن گذاشت. موفقیت این مدل در توصیف برهمکنشهای ماده موجب مقبولیت گسترده آن در بین فیزیکدانان ذرات شده است. معادلهی نظریهی میدان کوانتومی مدل خاصی است که برای توصیف مجموعهای از ماده و نیرو استفاده میشود. ماده و نیروها در این مدل با معادلاتی نشان داده شدهاند.در این مدل، اصطلاحاتی همچون فرمیونها که دارای اسپین کوانتومی ذاتی یک دوم هستند برای ماده ، بوزونها که دارای اسپین عدد کامل هستند (مثلاً فوتونها دارای اسپین یک هستند)

برای نیروها و اصطلاحاتی که نشان دهنده تعاملات بین ماده و ذرات نیرو است به کار گرفته شده است. نوزده ثابت فیزیکی وجود دارد که باید از داده‌های تجربی اندازه‌گیری شوند، و اینها ویژگی‌هایی مانند جرم ذرات و قدرت نیروها را تعیین می‌کنند. دانشمندان در سرن در حال تلاش برای یافتن کوچکترین اجزای سازنده‌ی ماده هستند. تمام مواد به جز ماده تاریک از مولکول‌هایی ساخته شده‌اند که خود از اتم‌ها ساخته شده‌اند. در داخل اتم‌ها، الکترون‌هایی وجود دارند که به دور هسته می‌چرخند. خود هسته از پروتون‌ها و نوترون‌ها ساخته شده است، در داخل پروتون‌ها و نوترون‌ها، کوارک‌ها وجود دارند که به نظر مانند الکترون‌ها غیرقابل تقسیم هستند. کوارک‌ها و الکترون‌ها برخی از ذرات بنیادی هستند که در سرن و آزمایشگاه های دیگر مطالعه می‌شوند. فیزیکدانان تعداد زیادی از این ذرات بنیادی را در آزمایش‌های مختلف یافته‌اند.

امروزه، ایده‌ی بسیار خوبی از اینکه ماده از چه چیزی ساخته شده است، چگونه این ذرات در کنار هم قرار گرفته‌اند و چگونه این ذرات با یکدیگر تعامل دارند، وجود دارد. مدل استاندارد توضیح می‌دهد که چگونه بلوک‌های سازنده‌ی اصلی ماده با چهار نیروی اساسی برهم‌کنش می‌کنند. تئوری‌ها و اکتشافات هزاران فیزیکدان از ذرات بنیادی به بینش عمیقی در مورد ساختار بنیادی

ماده منجر شده است. همه چیز در جهان از چند بلوک ساختمانی اساسی به نام ذرات بنیادی ساخته شده است که توسط چهار نیروکنترل می‌شوند. چگونگی ارتباط این ذرات و نیروها به یکدیگر در مدل استاندارد فیزیک ذرات گنجانده شده است.

این مدل در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ توسعه یافت و تقریباً تمام نتایج تجربی را با موفقیت توضیح داد و طیف گسترده‌ای از پدیده‌ها را دقیقاً پیش‌بینی کرد. با گذشت زمان و از طریق آزمایش‌های فراوان، مدل استاندارد به عنوان یک نظریه‌ی فیزیک به خوبی آزمایش شده تثبیت شد. مدل استاندارد بهترین توصیف از دنیای زیراتمی است. در طول سال‌ها ذرات گوناگون در آزمایش‌های پراکندگی با استفاده از شتاب‌دهنده‌های ذرات پیشرفته پیدا شدند. این مجموعه از ذرات ، باغ وحش ذرات نامیده شدند و هر ماه یک ذره‌ی جدید پیدا شد. تعداد زیادی از این ذرات ترکیبی از تعداد نسبتاً کمی از ذرات بنیادی بودند. سپس مدل‌هایی توسعه یافتند که با موفقیت ویژگی‌های هسته‌های اتمی را بر حسب ذرات بنیادی و نیروهای حاکم بر برهم‌کنش‌های آن‌ها توضیح می‌دادند. این مشاهدات و تئوری‌ها به طور کامل مورد آزمایش قرار گرفته و در آنچه اکنون به عنوان مدل استاندارد شناخته می‌شود، ترکیب شده‌اند. در اواسط قرن بیستم، فیزیکدانان برای درک ساختار بنیادی ماده به نظریه‌ای برای درک ذرات کیهان، فعل و انفعالات بین آنها

و نیروهای حاکم بر آن فعل و انفعالات و پیش‌بینی طیف گسترده‌ای از پدیده‌هاو مواجهه با چالش‌های تجربی مختلف نیاز داشتند. مدل استاندارد، نمی توانست همه چیز را از جمله گرانش را توضیح دهد. اگرچه مدل استاندارد ناقص به نظر می رسد، اما در توصیف کیهان شناخته شده موفق عمل کرده است. فیزیکدانان پیوسته در پی داده‌های جدید جهت اثبات یا رد محدودیت‌های مدل استاندارد، هستند. این مدل نتیجه‌ی یافته‌های فیزیکدانان در مورد ذرات بنیادی می باشد. در این مدل، ذرات بنیادی به ذرات ماده یعنی کوارک ها و لپتون ها و ذرات حامل نیرو یعنی بوزون ها، دسته‌بندی می‌شوند. کوارک‌ها و لپتون ها به صورت سه مجموعه، خانواده یا نسل مجزا وجود دارند.

فصل دوم

شگفت، افسون، زیبا

مطمئنا بدون دانستن پاسخ سؤال "کوارک چیست؟" نیز می توانیم زندگی نسبتاً لذت‌بخش، سودآور و معناداری داشته باشیم. با این حال، اگر به وجود خود فکر کنید، ناخواسته وارد یکی از بزرگترین سفرهای فکری، فلسفی و علمی می‌شوید. از دیرباز، سؤالاتی چون "ما از چه ساخته شده‌ایم؟" دغدغه ذهنی فیلسوفان بوده است. اولین تلاش برای یافتن پاسخ را می‌توان در تیمائوس افلاطون یافت. در تئوری افلاطون، زمین از مکعب‌های روی هم چیده شده تشکیل شده بود. رادرفورد با آزمایش ذرات آلفای خود ، هسته اتم

را کشف کرد. اما سوال این بود که توده جرم در مرکز اتم از چه چیزی تشکیل شده بود؟ در سال ۱۹۳۲، جیمز چادویک (۱۸۹۱-۱۹۷٤) یک سری آزمایش انجام داد که وجود یک ذره خنثی جدید با جرم کمی بزرگتر از پروتون را تأیید کرد. اودر سال ۱۹۳۵ جایزه نوبل فیزیک را برای کشف نوترون دریافت کرد. مدل اتم اکنون کامل شده بود: یک هسته‌ی کوچک از پروتون های دارای بار مثبت و نوترون های بدون بار (که در مجموع به عنوان نوکلئون شناخته می‌شوند) توسط الکترون‌های که در مدار قرار گرفته‌اند. این الکترون‌ها می‌توانند با تبادل فوتون‌ها، تکه‌های کوانتیزه‌شده نور انیشتین، بین مدارها بپرند یا اتم را به طور کامل ترک کنند. اگر چشمان خود را ببندید و به نظریهی کوانتومی بور و همکارانش اعتقاد داشته باشید، می‌توانید از این مدل تقریبا برای توضیح کل شیمی استفاده کنید و با شیمی، می‌توانید مولکول‌هایی مانند آمینو اسیدهای مورد نیاز برای دی ان آ و تمام شگفتی‌های جهان بسازید.

پس چرا به چیزی بیش از پروتون، نوترون، الکترون و فوتون نیاز دارید؟ چرا فیزیک ذرات باید فراتر از اجزای اصلی اتم باشد؟ دلیل آن است که ذرات بنیادی بلوک‌های اساسی سازنده‌ی کیهان هستند. برای مثال کوارک‌ها و الکترون‌ها ذرات بنیادی هستند. اگرچه هر دو ذرات بنیادی هستند، اما الکترون‌ها و کوارک‌ها در بسیاری از جنبه‌ها با هم تفاوت دارند. درحالی که کوارک‌ها با هم